

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY VA O‘RTA MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI**

RAXMATOV ABDUGANI DJUMABEKOVICH

ELEKTR ENERGIYASINI UZATISH VA TAQSIMLASH

Oliy o‘quv yurtlari talabalari uchun o‘quv qo‘llanma

5A310201 – ELEKTR TA‘MINOTI
magistratura mutaxassisligi talabalari uchun

Toshkent - 2019 yil

Annotatsiya

O'quv qo'llanmada Respublikamiz elektr energiyasini uzatish va taqsimlash tizimlarida qo'llaniladigan asosiy va yordamchi elektr uskunalari kuch transformatorlari, taqsimlash qurilmalari, yordamchi jihozlar, avtomatlashtirish tizimlari, boshqarish va rele himoyasi vositalari, o'lchov va sinov apparatlarining vazifalari, tuzilishi, ishlash printsiplari va rejimlari, hisoblash usullari ko'rib chiqilgan. Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash tizimlarida rejimlarni boshqarish va optimallashtirish, elektr ta'minot tarmoqlarining texnik iqtisodiy ko'rsatkichlari, elektr energiyasining sifati masalalari ko'rib chiqilgan.

O'quv qo'llanma 5A310201 –Elektr ta'minoti (suv xo'jaligida) magistratura mutaxassisligi talabalari uchun mo'ljallangan .

Аннотация

В учебном пособии рассмотрены вопросы техники и технологии передачи и распределения электрической энергии. Приведены материалы по устройству, принципу действия и схем включения основного (силовые трансформаторы, воздушные и кабельные линии) оборудования и вспомогательных устройств (распределительные устройства, аппаратуры релейной защиты и автоматики) систем электроснабжения. Также рассмотрены вопросы качества электрической энергии, управления и оптимизации режимов электрических сетей, технико – экономические показатели энергетической системы.

Учебное пособие предназначен для магистров по специальности 5A310201 –Электроснабжение (в водном хозяйстве).

Annotation

The tutorial addresses issues of technology and technology of transmission and distribution of electrical energy. The materials on the device, principle of operation and switching on the main (power transformers, overhead and cable lines) equipment and auxiliary devices (switchgear, relay protection and automation equipment) power supply systems are given. The issues of the quality of electrical energy, management and optimization of the modes of electrical networks, technical and economic indicators of the energy system are also considered.

The manual is intended for masters in the specialty 5A310201 - Power supply (in the water industry) and can be useful for bachelors in the direction of 5310200-Power (in the water industry).

Taqrizchilar:

Sulliev A.X. - Tosh TYMII, «Temir yo'llar elektr ta'minoti» kafedrası dotsenti, t.f.n.

Usmanov A.M. - TIQXMMI, «Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqarish» kafedrası dotsenti, t.f.n.

KIRISH

«Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash» kursi «Elektr ta'minoti» mutaxassisligi magistrларini tayyorlashda muhim bilimlar poydevorini qo'yuvchi asosiy kurslardan biri hisoblanadi. Kursni o'rganishdan maqsad elektr sistemalari va tarmoqlarining rejim holatlarini tahlil qilish nazariyasi, hisoblash usullari, ularni loyihalash va ulardan foydalanishda iqtisodiy samaralilik, ishonchlilik hamda sifatlilikni ta'minlash borasida bilimlarni shakllantirishdan iborat.

O'zbekiston Respublikasi prezidentining 01.02.2019 y. PF-5646 sonli O'zbekiston Respublikasi yoqilg'i-energetika tarmog'ini boshqarish tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risidagi farmonida so'nggi yillarda mamlakatda, avvalambor, iqtisodiyotning barcha tarmoqlarini jadal rivojlantirish, investitsiyaviy jozibadorlik va ishbilarmonlik faolligini oshirish, ishlab chiqarish hamda xizmatlar ko'rsatish sohasini kengaytirishga qaratilgan keng ko'lamli islohotlar amalga oshirilayotganligi ta'kidlangan.

Shu bilan birga, energetika tarmog'ida davlat boshqaruvini tashkil etishda qator tizimli muammolar mavjudligi belgilangan. Energetika tarmog'ini samarali boshqarish tizimini joriy qilish va jadal rivojlantirish, uning raqobatbardoshligi va investitsiyaviy jozibadorligini oshirish maqsadida, quyidagilar O'zbekiston Respublikasi yoqilg'i-energetika tarmog'ini yanada rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlari etib belgilandi:

birinchidan, mamlakatning energetika xavfsizligini ta'minlash, iqtisodiyot sohalari va aholining energiya resurslariga tobora o'sib borayotgan ehtiyojini qondirishga qaratilgan yagona energetika siyosatini yuritish;

ikkinchidan, energetika sohasida davlat tomonidan tartibga solish hamda xo'jalik faoliyati funktsiyalarini aniq chegaralash, ijtimoiy va davlat-xususiy sheriklikning huquqiy va institutsional bazasini takomillashtirish, tarif siyosatini amalga oshirishning aniq bozor mexanizmlarini ishlab chiqish va shu asosda sog'lom raqobat muhiti tamoyillarini ilgari surish;

uchinchidan, infratuzilma ob'ektlarini qurishga, shuningdek, tarmoq korxonalarini modernizatsiya qilish, texnik va texnologik qayta jihozlashga investitsiyalarni, avvalo, to'g'ridan-to'g'ri xorijiy investitsiyalarni faol jalb qilish uchun sharoitlar yaratish;

to'rtinchidan, energiya tejamkorlik va iqtisodiyotning energiya sarfini kamaytirish sohasida davlat siyosatini yuritish, iqtisodiyot tarmoqlari va maishiy sektorda resurs va energiya tejovchi ilg'or texnologiyalarni joriy etishni rag'batlantirish, muqobil energiya manbalarini keng rivojlantirish;

beshinchidan, energetika tarmog'i korxonalarida texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning zamonaviy vositalarini, energiya resurslarini qazib olish, yetkazib berish va iste'mol qilish hajmlarini hisobga olish tizimlarini keng tatbiq qilish;

oltinchidan, tarmoq korxonalarini boshqarish tizimini, ularning tuzilmalari va bo'linmalarini maqbullashtirish, ishlarni tashkil qilishning aniq natijalarga erishishga qaratilgan zamonaviy usullari va maqsadli indikatorlarni (sifat menejmenti, indikativ rejalashtirish) joriy etish.

Bu islohotlarni amalga oshirish maqsadida O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi tashkil etildi. Uning asosiy vazifalari etib O'zbekiston Respublikasining energetika xavfsizligini ta'minlash, iqtisodiyot tarmoqlari va mamlakat aholisini yoqilg'i-energetika resurslari bilan barqaror ta'minlash, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini keng targ'ib qilish va rivojlantirishga qaratilgan yoqilg'i-energetika tarmog'ida yagona davlat siyosatini ishlab chiqish va amalga oshirish; elektr va issiqlik energiyasi, ko'mirni ishlab chiqarish, yetkazib berish, taqsimlash va iste'mol qilish, shuningdek, neft, gaz va ularni qayta ishlashdan olinadigan mahsulotlarni qazib olish, qayta ishlash, tashish, taqsimlash, sotish va ulardan foydalanishning davlat tomonidan tartibga solinishini amalga oshirish; respublikaning energetika sohasida yagona normativ-huquqiy va texnik tartibga solishni amalga oshirish; yoqilg'i-energetika kompleksini strategik rejalashtirish va rivojlantirishning muvozanatli tizimini yaratish va rivojlantirish, energiya resurslari ishlab chiqarishni oshirish va diversifikatsiya qilish, barcha turdagi

energiya resurslarini ishlab chiqarish, yetkazib berish va iste'mol qilishning qisqa, o'rta va uzoq muddatli uzviy bog'liq prognozlarini, shuningdek, energetika tarmog'ini kompleks rivojlantirish maqsadli dasturlarini ishlab chiqish; davlat-xususiy sheriklikni rivojlantirish, energiya resurslari bozorida qulay raqobat va ishbilarmonlik muhitini shakllantirishni rag'batlantiruvchi tarif siyosatini takomillashtirish hisobiga yoqilg'i-energetika tarmog'ining investitsiyaviy jozibadorligini oshirish; yoqilg'i-energetika tarmog'ida investitsiya loyihalari amalga oshirilishini muvofiqlashtirish, energiya resurslarini qazib olish va ishlab chiqarish jarayonlariga xususiy kapitalni faol jalb qilish, xalqaro moliya institutlari, donor mamlakatlar, kompaniyalar, banklar va boshqa tuzilmalar bilan hamkorlikni yo'lga qo'yish;

energetika sohasiga korporativ boshqaruvning zamonaviy usullarini, ilg'or axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini hamda boshqaruv, hisobga olish va nazoratning avtomatlashtirilgan tizimlarini joriy etishda ko'maklashish, shu asosda energetika sohasida boshqaruv samaradorligini oshirish va ishlab chiqarish harajatlarini kamaytirish, energetika tarmog'i tashkilotlari moliya-xo'jalik faoliyatining shaffofligini ta'minlash;

neft-gaz va elektr energetika tarmog'i tashkilotlarining ishlab chiqarish jarayonlariga innovatsion texnologiyalarni joriy etishni rag'batlantirish, energiya resurslarini tejash va energiya samaradorligi darajasini oshirish va boshqa masalalarni o'z vaqtida yechish kerakligi belgilandi.

O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi ixtiyorida Atom energetikasini rivojlantirish agentligi, Neft mahsulotlari va gazdan foydalanishni nazorat qilish inspeksiyasi, Elektr energetikada nazorat inspeksiyasi tashkil etildi.

Kursning asosiy vazifalari talabalarni bugungi kun talablaridan kelib chiqib, Respublikamiz elektroenergetika tizimi uchun munosib mutaxassis bo'lish, amalga oshirilayotgan islohotlar bilan birga qadam tashlaydigan enyergatik tizimni shakllantirishdan iborat, xususan:

- tarmoq elementlarining almashinish sxemalarini qurish, ularning parametrlarini aniqlash, elektr tarmoqlari va sistemalari holatlarini aniqlashni o'rgatish;

- elektr tarmoqlari va sistemalarini loyihalash asoslarini hamda ularning iqtisodiy samaraliligini, ishonchliligini, shuningdek, elektr energiyaning sifatini oshirish usullarini o'rgatish;

- elektr energiyani ishlab chiqarish, uzatish va iste'mol qilish jarayonida yuz beruvchi hodisalarning fizik ma'nosi bilan tanishtirish.

Hozirgi vaqtda O'zbekiston Respublikasining elektr tizimi issiqlik va gidroelektrostantsiyalardan elektr energiya oladi. Butun mamlakat iste'mol qilinadigan elektr energiyasining 85,8% issiqlik elektr stantsiyalarda, 13,5% gidroelektr stantsiyalarda ishlab chiqariladi. Bu elektr tizimga yuzlab kilometrli 500, 220 kV havo elektr uzatish tarmoqlari va mos ravishda o'nlab shu kuchlanishli yirik podstantsiyalar, minglab kilometrga cho'zilgan 110, 35, 10 kV elektr uzatish tarmoqlari ishlab turibdi. Yirik elektr stantsiyalarga 2,2 mVt quvvatli Yangi Angren issiqlik elektr stantsiyasi, 3,0 mVt quvvatli Sirdaryo, 1,95 mVt quvvatli Toshkent issiqlik elektr stantsiyalari va boshqalar kiradi.

Mustaqillik yillarida O'zbekiston Respublikasi elektr energetika tizimi yanada rivojlandi. Sirdaryo - G'uzor 500 kV kuchlanishli havo elektr uzatish tarmog'i, Buxoro - Qorovulbozor, Qorako'l - Qorovulbozor 220 kV kuchlanishli havo elektr uzatish tarmog'i qurildi. Yaqin yillarda yirik issiqlik elektr stantsiyalar rekonstruktsiya qilinib, ularda yangi gaz-bug' turbinali energobloklar qurilib, ekspluatatsiyaga topshiriladi.

O'zbekiston elektr energetika tizimi, Qorako'l-Mari 500 kV kuchlanishli elektr uzatish tarmog'i bilan qo'shni Turkmaniston, G'uzor-Nurek 500 kV kuchlanishli elektr uzatish tarmog'i bilan Tojikiston, Sirdaryo-Toktagul 500 kVli elektr uzatish tarmog'i bilan Qirg'iziston va Toshkent issiqlik elektr stantsiyasi - Chimkent liniyasi bilan Qozog'iston elektr tizimlari bilan bog'langan. Bu alohida milliy elektr tizimlarning o'zaro bog'lovchi elektr uzatish tarmoqlari katta ahamiyatga ega bo'lib, barcha milliy elektr tizim yaxlitligini tashkil etadi va

yagona tizimning barqarorligini oshiradi. Barcha milliy elektr tizimlar birlashtirilgan dispetcherlik xizmati orqali birlashtirilgan bo'lib, qisqa tutashuv shikastlanishlardan keyingi tezkor qayta ulanishlarda birlashtirilgan dispetcher orqali qayta ishga tushirilishi ko'zda tutilgan. Aynan mana shu imkoniyat yagona elektr energetika tizimining elektr energiyasi bilan ta'minlash ishonchliligini oshiradi va alohida ahamiyat kasb etadi. Qisqa tutashish shikastlanishlardan keyin elektr energetika tizimining barqarorligini saqlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Hozirgi vaqtda O'zbekiston Respublikasi va barcha hamdo'stlik davlatlarining elektr energetika tizimlarining issiqlik elektr stantsiyalari bug' turbinalar asosida ishlayapti. Bug' turbinalari issiqlik energiyasining mexanik energiyaga aylantiruvchi uskunadir. Bu uskunalarning foydali ish koeffitsienti 40 %ga yaqin. Shuning uchun elektr tizimlarda birinchi vazifa bug' turbinalarning hozirgi zamon bug'-gaz turbinalar bilan almashinishdir. Bu vazifaning bajarilishi energetik resurslarni tejashdir, chunki bu turdagi turbinalarning foydali ish koeffitsienti bug' turbinalarga nisbatan yuqori bo'lib, deyarli 60% atrofida bo'ladi.

Respublikamiz Prezidenti Sh.Mirziyoevning Qishloq xo'jaligi xodimlari kuni munosabati bilan qilgan ma'ruzasida va 2018 yil yakunlari va 2019 yilning ustivor yo'nalishlari xaqidagi Oliy Majlis sessiyasiga qilgan murojaatida, paxta, g'alla va boshqa qishloq xo'jalik maxsulotlari bo'yicha mustaxkam poydevor yaratish, mahsulot sifati va salmog'ini oshirish, ekin maydonlaridan samarali va keng ko'lamda foydalanishda elektr energetikaning o'rniga alohida e'tibor qaratdi. 2018 yilda iqtisodiyotga jalb etiladigan barcha investitsiyalarning uchdan bir qismidan ortiqrog'i sanoatni modernizatsiya qilish va texnologik yangilash dasturlarini amalga oshirishga yo'naltirish ko'zda tutilayotgani buni tasdig'idir. Hozirda qishloq va suv xo'jaligi elektr uskunalari, avtomatlashtirish vositalari va elektr ta'minot tizimi ishonchliligi talab darajasida emas. Elektr energetik tizim, jumladan elektr uskunalar uzluksiz, texnologik talab rejimlari bo'yicha ishlab turishi uchun elektr uskunalar ekspluatatsiyasi va ta'mirini to'g'ri tashkil qilish, eskirgan elektr jihozlarni ta'mirlab yangilariga almashinish, xodimlarni muntazam ravishda malakasini oshirish va bilimlarini tekshirib turish zarur.

O'zbekiston Respublikasining elektr energetika tizimlarining istiqbolli rejasi bo'yicha Tolimarjon issiqlik elektr stantsiyasida yangi, quvvati 450 MVt dan bo'lgan ikkita gaz-bug' energoblokini ishga tushirish, Sirdaryo-Samarqand-Navoiy-Farg'ona 500 kV kuchlanishli havo elektr uzatish tarmoqlari qurilishini davom ettirish, Toshkent va Navoiy issiqlik elektrostantsiyalarda gaz-bug' turbinalarini o'rnatish va ularni rekonstruktsiya qilish, noan'anaviy energiya resurslardan, xususan quyosh energiyasidan keng foydalanish, hamda energiya va energetik resurslarni tejashga yo'naltirilgan bir qator yirik ilmiy-tadqiqot mavzularning amalga oshirilishi natijasida elektr energiyasining nisbiy sarfini kamaytirish va rivojlangan mamlakatlarning nisbiy sarfi qiymatiga erishmoq mumkin bo'ladi.

Elektr energiyasi isroflarini kamaytirish bo'yicha barcha energoxo'jaliklarda amaliy ishlar olib boriladi, lekin tadbirlarning samaradorligini aniqlash har doim ham mumkin bo'lavermaydi. Bu borada adabiyotlar va yo'riqnomalar yetarli emas. O'quv qo'llanmada biz viloyatlarimiz elektr tarmoqlari xo'jaliklarida elektr energiya isroflarini kamaytirish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqish masalalarini yechimlarini topish va ularning omillarini ko'rib chiqdik. Elektr tarmoqlardagi elektr energiyasi isroflarini aniqlash uslubiyati ishlab chiqilib, viloyat elektr tarmoqlari xo'jaligi misolida tekshirib chiqildi. O'quv qo'llanmada bizgacha ma'lum bo'lgan mavjud elektr energiya isroflarini aniqlash usullari tahlil qilindi va hisoblarda ishlatildi. Nazariy ishlanmalar amaliy masalalar yechimida ko'rsatib berildi. Elektr energiyasini tejash yoqilg'i – energetik resurslardan samarali foydalanish muammosini yechishning muhim omillaridan ekanligi ta'kidlandi.

Energiya tejamkorlik tadbirlari kompleksida muhim tashkil etuvchilaridan biri elektr tarmoqlarda elektr energiyasini tejash hisoblanadi. Elektr energiyasi boshqa tur energiyadan farq qilib, uni uzoq masofalarga kam isroflar bilan uzatish mumkin. Lekin hozirgi kunda Respublikamiz energotizimlarida elektr energiya isroflari yuqori bo'lib qolmoqda va uning miqdorini kamaytirish minimal energiya isroflarini ta'minlovchi ko'rsatkichlarga keltirish va optimalashtirish muhim masala bo'lib hisoblanadi.

1 bob. ELEKTR ENERGIYASINI UZATISH VA TAQSIMLASH SISTEMASINING UMUMIY XARAKTERISTIKASI. ELEKTR SISTEMA ELEMENTLARI

1.1. Asosiy tushunchalar, terminlar, ta'riflar

Elektr energiyasi asosan yagona energosistemaga ulangan va birgalikda ishlab turadigan yirik elektrostantsiyalarda ishlab chiqariladi. Elektr energiya iste'molchilari markazlari esa (sanoat korxonalari, shaharlar, qishloq aholi turar joylari, agrosanoat komplekslari va boshqa iste'molchilar) elektr energiyasi manbalaridan yuzlab, minglab km masofada joylashgan. Elektr energiyasini taqsimlash, uzatish va iste'molchilarga yetkazib berish tizimini xarakteristikasini berish va “generatsiya-uzatish-taqsimlash-iste'mol qilish” sistemasiga ta'rif berish uchun bir necha terminlar, tushunchalar va ta'riflar kiritamiz.

Elektr uskunalar –elektr energiyasini ishlab chiqarish, taqsimlash, uzatish va iste'molchilarga yetkazib berish uchun mo'ljallangan apparatlar, mashinalar, qurilmalar, inshaotlar va jihozlar majmuidir. Elektr uskunalar (EU) kuchlanish kattaligi bo'yicha 1000 V gacha (past kuchlanishli EU) va 1000 Vdan yuqori (yuqori kuchlanishli EU) kuchlanishli bo'ladi.

Elektrostantsiya – boshqa tur energiyani elektr energiyasiga aylantirib beruvchi qurilmalar (masalan turbo- va gidrogeneratorlar) yordamida tabiiy energoresurslarda (organik yonilg'ilar, quyosh, shamol, suv oqimlari, er osti issiqlik energiyasi va boshqalar) mavjud bo'lgan energiyani elektr energiyasiga aylantirib elektr energiyasi ishlab chiqaruvchi elektr uskuna.

Podstantsiya – transformatorlar (avtotransformatorlar) va elektr energiyasining boshqa o'zgartkichlari, taqsimlovchi va yordamchi qurilmalar dan iborat bo'lgan va elektr energiyasini qabul qilish, o'zgartirish (transformatsiyalash) va taqsimlash uchun xizmat qiladigan elektr uskunalar majmui. Podstantsiyalar vazifasiga ko'ra transformatorli yoki o'zgartkichli –

to'g'irlagichli, rostlovchi, dvigatel-generatorli bo'lishi mumkin. Respublikamiz energosistemasida asosan transformatorli podstantsiyalar ishlatiladi.

Podstantsiyalar kuchaytiruvchi, agar o'zgaruvchan tok kuchlanishi past kuchlanishdan yuqori kuchlanishga oshirilayotgan bo'lsa (elektrostantsiya podstantsiyalari), yoki pasaytiruvchi - agar o'zgaruvchan tok kuchlanishi yuqori kuchlanishdan past kuchlanishga o'zgartirilayotgan bo'lsa (shahar va qishloqlar, korxonalar va boshqa iste'molchilarning podstantsiyalari) bo'lishi mumkin.

Elektr ta'minot markazi (TM) – Elektr tarmoq rejimlari (kuchlanishi) avtomat ravishda rostlab turiladigan elektr energiyasi manbai. Bu elektrostantsiyalar bilan bir qatorda kuchlanishni yuklama ostida rostlovchi (KYuOR) regulyatorlar, reaktiv quvvatlari rostlab turiladigan, chiziqli rostlagichlar va boshqa vositalar bilan jihozlangan podstantsiyalar shinalari bo'lishi mumkin.

Taqsimlash qurilmalari (TQ) –barcha turdagi podstantsiyalar tarkibida bo'lgan elektr qurilmalar majmui; ma'lum bir (yoki bir necha) kuchlanishdagi elektr energiyasini qabul qilib, uni taqsimlash uchun mo'ljallangan elektr qurilmalar majmui. TQ kommutatsion apparatlar, nazorat - o'lchash, boshqarish va ximoya vositalari va yordamchi qurilma va inshaotlardan iborat bo'ladi. Podstantsiyalardan tashqari elektr energiyasi taqsimlash punktlarida ham taqsimlanishi mumkin. Taqsimlash punktlari – transformator podstantsiyasi tarkibiga kirmaydigan va bir xil kuchlanishdagi elektr energiyasini qabul qilish va taqsimlash uchun xizmat qiladigan qurilmalar majmuidir.

Elektr uzatish tarmoqlari (EUT) – elektr energiyasini qisman tarqatib masofaga uzatish uchun mo'ljallangan elektr uskuna va inshaot. Elektr uzatish tarmoqlari havo, kabel yo'llari ko'rinishda bajariladi. Yana sanoat korxonalari, elektrostantsiyalar va bino va inshaotlardagi ichki tarmoqlar ko'rinishida bo'ladi.

Elektr energiyasi iste'molchisi (EEI), elektr qabul qilgich (EQQ) –elektr energiyasini iste'mol qiluvchi yoki boshqa tur energiyaga o'zgartiruvchi apparat, agregat, mexanizmlar (elektrodvигatel, o'zgartirgich, yoritish qurilmasi va boshqalar).

Ierarxik struktura nuqtai nazaridan iste'molchilarga elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sistemasi bir yoki bir necha kuchlanishli podstantsiya shinalaridan elektr ta'minlanuvchi yuklamalar majmui (uyalar, aholi turar joy punktlari, zavod va fabrikalar va boshqalar) dan iborat bo'ladi. Ko'pchilik holatlarda aholi turar joy rayonlarini, sanoat korxonalarini va boshqa ob'ektlarni ta'minlab turgan transformator punktlari ham iste'molchi sifatida qabul qilinadi.

Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sistema elementlari quyidagilardan iborat bo'ladi: turli kuchlanishdagi va konstruktsiyali elektr uzatish liniyalari (W), EUT parametrlarini bo'ylama va ko'ndalang kompensatsiyalovchi qurilmalar (KQ) (kompensatsiyalovchi qurilmalar va shuntlovchi reaktorlar); transformator podstantsiyalari (kuch transformatorlari (T) va avtotransformatorlar, o'chirgichlar, raz'yedinitellar, nazorat-o'lchov priborlari va boshqalar); reaktiv quvvat manbalari (RQM) (kondensator batareyalari, sinxron va statik tiristorli kompensatorlar); ximoya va avtomatika vositalari, ya'ni avtomat rostlagichlar (AR), rele ximoyasi vositalari (RX) va avariyalarga qarshi avtomatika vositalari (AQAV), dispetcherlik va texnologik boshqarish vositalari (DTBV).

Elektr uzatkich – pasaytiruvchi podstantsiyaning past kuchlanishli shinalaridan ta'minlanuvchi iste'molchilar yig'masiga elektr energiyasini tranzit ravishda uzatish uchun mo'ljallangan, kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi podstantsiyalari bo'lgan liniyadir.

Elektr tarmoq – elektr energiyasini elektrostantsiyadan iste'molchilar joylashgan xududga uzatish va elektr energiyasini iste'molchilar orasida taqsimlash uchun xizmat qiladigan transformator podstantsiyalari, taqsimlash qurilmalari, qayta ulanish punktlari va elektr energiyasini elektrostantsiyadan iste'molchi podstantsiyalariga yetkazib beruvchi liniyalarni birlashtirgan majmuadir.

Elektr tarmoq takomillashgan yuqori kuchlanishli liniyaga ekvivalent bo'ladi. Alohida olingan elektr uzatma tor ma'noda elektr tarmoqni ifodalaydi. Rivojlangan elektr tarmoq, elektr qurilmalari tarkibi va funktsional vaziflariga ko'ra elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sistemasini ifodalaydi.

Hozirgi zamonaviy sharoitlarda alohida elektr uzatma yoki elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sistemasialohida ishlab turmaydi. Ular energosistemadagi elektr stantsiyalarni o'zaro birlashtirib turadi va umumiy birlashgan yuklamalarga parallel ishlab turishini ta'minlaydi va xududiy rayon elektr tarmoqlaridagi barcha elektr iste'molchilarni markazlashgan ravishda elektr energiyasi bilan ta'minlab turadi.

Elektroenergetik (elektr) sistema (EES) – elektr stantsiyalarning elektr qismini, elektr tarmoqlarni (elektr uzatish liniyalari), elektr energiyasi iste'molchilari, hamda elektr energiyasini ishlab chiqarish, masofaga uzatish taqsimlash va iste'mol qilish jarayonlarining uzluksizligi ta'minlovchi qurilmalar majmuidir.

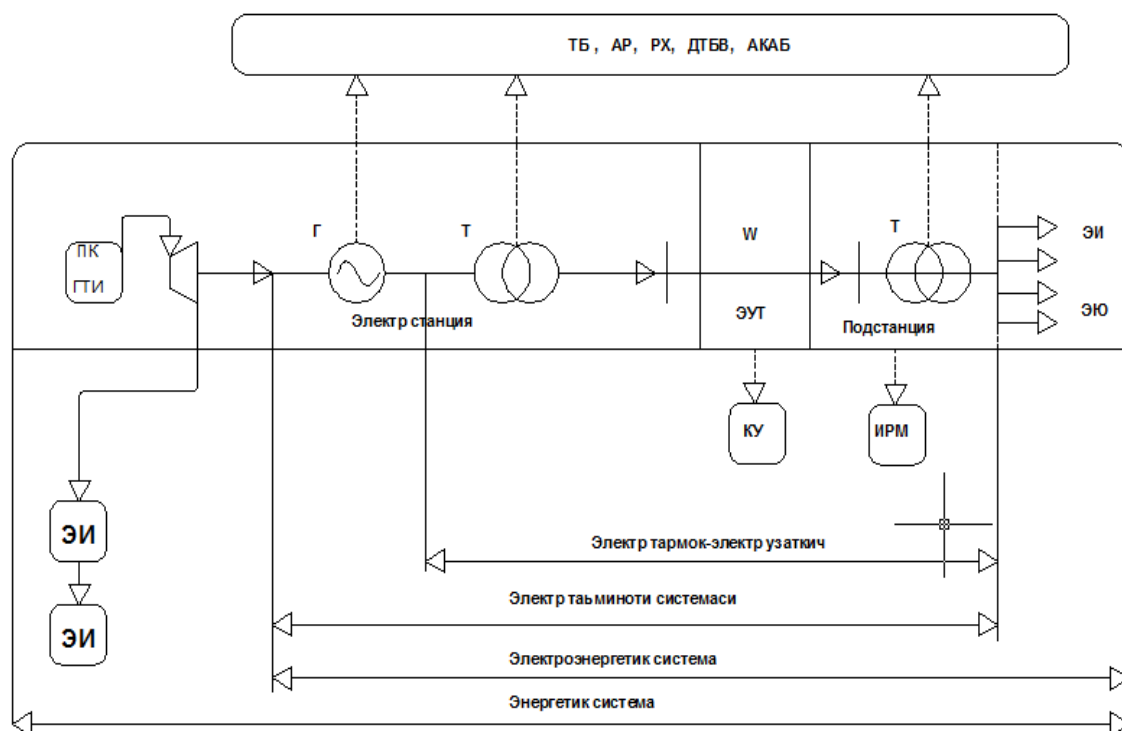
Energetik sistema (energosistema) – elektr va issiqlik energiyasini ishlab chiqarish, masofaga uzatish, taqsimlash va iste'mol qilish uchun ishlab turadigan elektrostantsiyalar, elektr va issiqlik tarmoqlari birlashmasidir.

Qurilmalar va vositalar: energiya manbalari – par va gaz qozonlari (PK) yoki gidrotexnik inshootlar (GTI), turbinalar (T), generatorlar (G); yuklamalar – elektr iste'molchilari (EI) va issiqlik iste'molchilari (PT) va boshqalar.

«Elektr ta'minoti sistemasi» elektr tarmoq tushunchasidan ko'ra kengroq ma'noga ega. Bu tushuncha iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ta'minlovchi barcha elektr uskunalarni o'z ichiga oladi.

1.1 rasmdan ko'rinadiki, elektr ta'minoti sistemasi (elektr iste'molchini hisobga olgan holda), energetik sistemaning elektr qismi-elektr energetik sistema bilan ekvivalent bo'ladi. Elektr tarmoq yoki unga ekvivalent bo'lgan, elektr energetik sistemaning bir qismi bo'lgan elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sistemasi qator talablarni qoniqtirishi kerak: ishonchli bo'lishi, ayrim holatlarda esa elektr energiya uzluksizligi ta'minlanishi, barqaror ishlab turishi, ta'minlanayotgan elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlarining me'yoridaligi, inshaotlarning iqtisodiy samaraliligi xavfsiz va qulay, tarmoq avariya rejimlaridan

ishonchli ximoya qilingan bo'lishi, ekspluatatsiyasi va kengayish imkoniyati mavjudligi, rele ximoyasi va



1.1-rasm. Elektr va issiqlik energiyasini ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va iste'molini ta'minlovchi ob'ektlarning o'zaro bog'liqligi.

avtomatika tizimi mavjudligi, barcha ishchi rejimlar rostlanishi va nazoratda bo'lishi zarur.

1.2. Tarmoqlarning kengayishi. Yagona energosistemaning afzalliklari.

Elektr tarmoqlarni tahlil qilib, uning rejimlarini aniqlash uchun va elektr tarmoqlarni loyihalashtirish uchun ularning vazifalarini, yuklamalar haqida ma'lumotlarni o'rganamiz. Tarmoqdagi kuchlanishlar pog'onalarini, energosistema va tarmoqlarga qo'yiladigan talablarni o'rganib chiqish zarur: elektr uzatish tarmoqlarining ishonchligi, elektr energiya sifati, iqtisodiy samaradorligi, xavfsizligi, atrof muhitga ta'siri va kengayish imkoniyatlari va x.z. Elektr

tarmoqlarni analizi va sintezida ularning elementlarining (elektr uzatish tarmoq simlari, transformatorlar) qarshiligi va o'tkazuvchanligini hisoblash kerak bo'ladi.

Shu kabi masalalar ushbu bobda ko'rib chiqiladi. Elektr energiyasini uzatishda ishlatiladigan o'tkazgich simlar, mahkamlovchi-ulovchi armatura, tayanchlar, izolyatorlar, travers, kabellar, kanallar sistemasi elektr uzatish tarmog'i deyiladi. Agar uzatilayotgan elektr energiyasi yuqori kuchlanishli ($U > 1\text{kV}$) bo'lsa, elektr uzatish tarmoq ham yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmog'i deyiladi, agar kuchlanish $U < 1\text{kV}$ bo'lsa, past kuchlanishli elektr uzatish tarmog'i deyiladi.

Yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlari qatta quvvatlarni masofaga uzatish uchun ishlatiladi. Uzoq masofalarga (100km dan ortiq) elektr energiyasini uzatishda 110, 220, 330, 500 kV kuchlanishlar qo'llaniladi. Bunday kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlari magistral tarmoqlar deyiladi. 6, 10, 35, 110 kV yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlari elektr energiyasini taqsimlash uchun ishlatiladi. Bunda elektr uzatish tarmoq taqsimlovchi tarmoqlar deyiladi. Taqsimlovchi tarmoqlar markaziy taqsimlash punktlari bilan iste'molchi transformator punktlarini ulab turadilar. (100 kmgacha masofada).

Past kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlari iste'molchilarni bevosita iste'molchilar transformator punktlari bilan ulanishini ta'minlaydi. Past kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlari sistemadan tashqari ham bo'lishi mumkin, bunda ular alohida iste'molchilarni tok manbai bilan ulab turadi.

Elektr tarmoqlari bu ma'lum bir xududda joylashgan, tok manbaini iste'molchilar bilan bog'lab turuvchi havo va kabel tarmoqlari, transformator punktlari va ulash ajratish punktlari majuidir. Rayon elektr tarmoqlari (RET) elektr energiyasini rayon xududidagi elektr iste'molchilarga tarqatadi va yetkazib beradi, asosan taqsimlovchi elektr uzatish tarmoqlaridan iborat bo'ladi. Rayon xududidagi ayrim elektr stantsiyalar ham rayon elektr uzatish tarmoqlari sistemasiga ulanishi mumkin va yaqin atrofdagi iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ta'minlaydi. Har bir shahar o'z shahar elektr tarmoqlariga ega bo'lib, shahar aholisi, ishlab chiqarish korxonalari va madaniy-maishiy iste'molchilarni elektr

energiyasi bilan ta'minlaydi. Yirik shahar elektr uzatish tarmoqlari ta'minlovchi tarmoqlarga to'g'ridan to'g'ri ulanishi mumkin.

Nima uchun uzoq masofaga elektr energiyasini uzatish uchun yuqori kuchlanish kerak bo'ladi? Ma'lumki uch fazali tokning quvvati R kuchlanish U va tok I miqdoriga to'g'ri proporsional bog'langan:

$$R = \sqrt{3}UI \cos \varphi \quad (1.1.)$$

Elektr uzatish tarmoqlardagi quvvat isroflari ham tok kattaligiga to'g'ri proporsional bog'langan:

$$\Delta P = 3 \cdot R I^2 \quad (1.2.)$$

Elektr uzatish tarmoqlarida elektr energiyasi isroflarini kamaytirish uchun tok kuchi kamaytiriladi, quvvat doimiy bo'lib qolganligi uchun, (1.1.) ifoda bo'yicha, tok qancha kamaysa, kuchlanish shuncha marta ortadi. Yana kuchlanishning pasayishi ham tok miqdoriga to'g'ri proporsional bo'ladi, demak tarmoqda tok kamayganida kuchlanish isroflari ham kamayadi.

Respublikamizda xozirda uzoq masofalarga uzatish uchun kuchlanishi 110, 220, 330, 500 kV bo'lgan elektr uzatish liniyalari mavjud. Ular magistral elektr tarmoqlari xizmati ixtiyorida. Respublikamizda jami 240 ming km dan ortiq elektr uzatish tarmoqlar bo'lib, ulardan:

500 kV kuchlanishli tarmoqlar – 2408 kmdan ortiq

220 kV kuchlanishli tarmoqlar – 6382 kmdan ortiq

110 kV kuchlanishli tarmoqlar - 16203 kmdan ortiq

35 kV kuchlanishli tarmoqlar – 13400 kmdan ortiq

6-10 kV kuchlanishli tarmoqlar - 97549 kmdan ortiq

0,4 kV kuchlanishli tarmoqlar -126407,5 km ni tashkil qiladi.

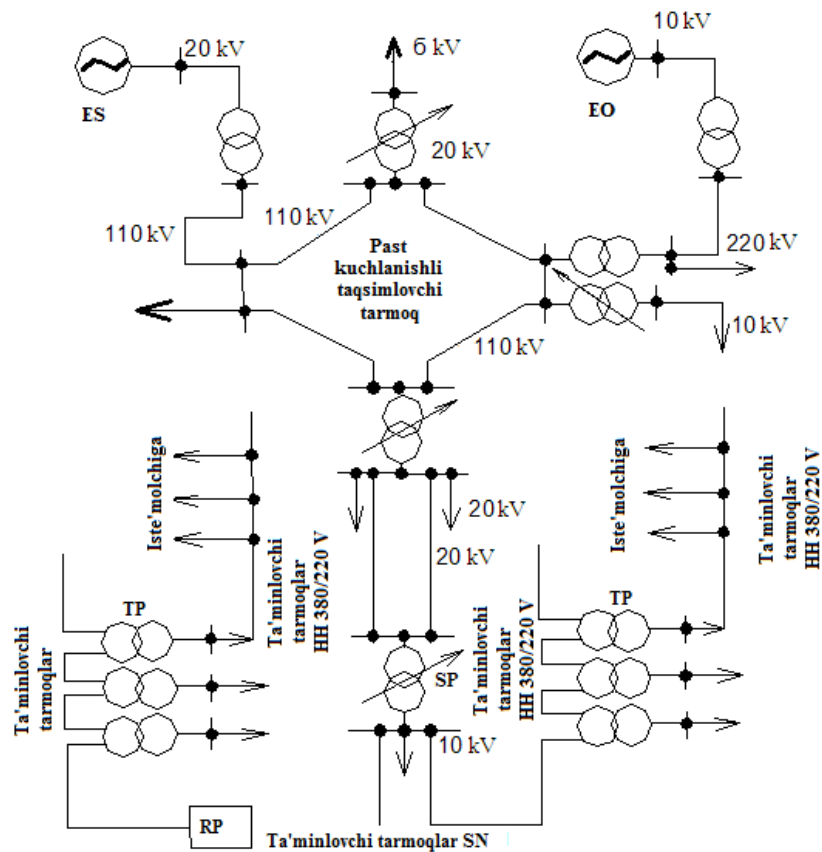
Rayon elektr tarmoqlari viloyat elektr tarmoqlari korxonalariga birlashtirilgan. Ulardan tashqari Farg'ona vodiysi viloyatlari bir region, SHimoliy - G'arbiy region - Xorazm viloyati va Qoraqalpoq elektr tarmoqlari, ikkinchi region, uchinchi region Kashqadaryo, Surxondaryo viloyatlari tarmoqlari – janubiy region, Markaziy to'rtinchi region: Toshkent – Sirdaryo - Jizax viloyatlari tarmoqlari va

beshinchii region: Samarqand, Navoiy, Buxoro viloyatlari elektr tarmoqlari korxonalari tashkil qiladi.

O'zbekiston elektr tarmoqlarining elektrostantsiyalari iste'molchilar uchun yetarli miqdorda, 2018 yilda 62,8 mlrd kVt·s elektr energiyasi ishlab chiqardi [1]. Barcha elektr stantsiyalar generatorlarining quvvati 14,1 mln kVtdan ortiq, jumladan IESlar 12,577 mln kVtdan ortiq, GESlar quvvati 1,4 mln kVtdan ortiq va blokstantsiyalar quvvati 0,123 mln kVtdan ortiq bo'lib, yagona energosistemaga ulangan. Barcha elektr iste'molchilar yagona energosistemadan ta'minlanadi. Respublikamiz regionlarida 1972 yili yagona energosistema yaratilgan.

Yagona energosistemaning quyidagi afzalliklari bor:

1. Ishonchli ishlab turadi. Biror tok manbai yoki energosistema elementi (elektrostantsiyadagi generator, ta'minlovchi transformator yoki elektr uzatish tarmoqlarning bir qismi) ishdan chiqsa ham iste'molchi boshqa tok manбайдan elektr energiya oladi. Energosistemadagi energiya yetishmovchiligi boshqa regionlar tomonidan to'ldiriladi.
2. Maksimum yuklamalar bir biriga mos kelmaydi. Turli regionlarda turli xarakterli iste'molchilar maksimumi bir vaqtda, muddatlarda bo'lmaganligidan energosistemada pik yuklamalar kamroq bo'ladi. Ko'p smenali korxonalarining ko'pchiligi yoki bizning regionlarimizga xos sug'orish nasos stantsiyalari yozgi mavsumda ko'proq ishlab tursa, shahar va qishloq aholi yashash punktlari qishda ko'proq energiya talab qiladi.
3. Rezerv quvvatlar soni kam bo'ladi. Bir region, xududdan boshqa regionga - xududlarga energiya uzatish mumkinligidan rezerv elektrostantsiyalarni o'rniga boshqa region elektr uzatish tarmoqlar va podstantsiyalari xizmat qilishi mumkin bo'ladi, bu esa (AVR-RAPT) rezerv liniyalar va generatorlarni kamayishi hisobiga iqtisod qilish imkonini beradi.
4. Gidro- va Issiqlik elektr stantsiyalari birgalikda ishlab turishi mumkin. Bu esa suv zahiralarini samarali ishlatib, gidroelektrostantsiyalar quvvatidan foydalanib, issiqlik elektr stantsiyalarda ayrim bloklarni to'xtatib, yoqilg'i tejash imkonini beradi.



1.2-rasm . Rayon elektr tarmoqlari sxemasi: TSP-ta'minot markazidagi transformator podstantsiyasi; PS-ta'minlanuvchi tarmoqlar; TT-taqsimlovchi tarmoqlar; PS-380/220V kuchlanishli taqsimlovchi tarmoqlar. PS-380/220Vli iste'molchilarga kyetgan elektr uzatish tarmoqlari; TS-ta'minlovchi transformatorlar; ES-elektrostantsiyadagi generatorlar.

5. Yirikroq quvvatli generator agregatlarini qo'llash imkonini beradi. Birlik quvvatda yirikroq quvvatli agregatlar arzonroq elektr energiya bera oladi. Yirik agregatlar quvvati esa energosistemaga qo'shilib regionning barcha xududlariga etib boradi. Bunda kam quvvatli samarasiz energobloklardan voz kyechish mumkin bo'ladi.

6. Boshqarish imkoniyatlari kengayadi. Yagona energosistema liniyalar, transformator podstantsiyalarini ulab-ajratib, eng samarali elektr ta'minot tizimlaridan foydalanish imkonini beradi. Yagona energosistema markaziy

boshqarish punktidan (Tosh IESida joylashgan) boshqarib turiladi. Regionlar va viloyat elektr tarmoqlarida dispetcherlik punktlari ularga yordam ko'rsatadi. Rayon xududida tarmoqlarning rejimlar rayon dispetcherlik punktidan boshqarib turiladi. Barcha iste'molchilar markazlashtirilgan ravishda elektr energiyasi bilan ta'minlanadi.

Har bir rayon elektr tarmoqlari korxonasida xududidagi barcha elektr tarmoqlar sxemasi bo'lishi zarur. Bu yerda ko'rsatilgan elektr tarmoqlar o'z tok manbaiga ega bo'lib, avtonom ishlab tura oladi, bunday sxemalar Evropa, AQSH rayon tarmoqlarida uchraydi. Lekin bizda ham qo'llanilishi mumkin. Bunda "sistema" rayonlararo tarmoqqa ulangan bo'ladi. Kichik elektrostantsiyalar tarmog'ining kengayib borishi, elektr energiyasini ishlab chiqarish va yetkazib berishni xususilashtirish bu jarayonni tezlashtirishi mumkin.

1.3. Elektr energiyasini uzatish sistemasining xarakteristikalar

Elektr energiyasini ishlab chiqaruvchilardan - elektrostantsiyalardan, yirik rayon elektr iste'molchilar markazlariga yoki elektr energetika sistemasining taqsimlovchi uzellariga uzatish uchun rivojlangan elektr uzatish tarmoqlari yoki kuchlanishi 220 va 500 kV bo'lgan, sistema ichidagi va sistemalararo mavqeidagi magistral ta'minlovchi tarmoqlar asos bo'ladi.

Bunday tarmoqlar zarurati yirik issiqlik va gidroelektrostantsiyalarning asosiy iste'molchilari bo'lgan yirik ishlab chiqarish korxonalari, shahar va qishloqlardan olis masofadali tufayli yuzaga keladi. Elektrostantsiyalar va yirik transformator podstantsiyalarini parallel ishlab turishini ta'minlovchi, olis masofalarga tortilgan, sistemalararo va sistema ichidagi magistral elektr uzatish tarmoqlari sistema hosil qiluvchi elektr tarmoqlarni tashkil qiladi.

Bunday tarmoqning vazifasi – elektroenergetika sistemasini shakllantirish va birdaniga elektr energiyasini uzatish va tranzit qilish funksiyasini bajarishdir. Bunday elektr energiyasini uzatuvchi va sistemalarni o'zaro bog'lovchi tarmoqlarga qo'yiladigan talablarning asosiysi ularning ishonchli va barqaror

ishlab turishidir, ya'ni tarmoq uning barcha bo'lishi mumkin bo'lgan rejimlarida – normal, remont, avariyaviy va avariya dan keyingi – barqarorligini saqlab qolishi kerak. Bunday masalani yechish uchun sistemada avtomatik boshqarish va rostdash qurilmalari ishlatiladi: rele ximoyasi, boshqarish, rejimli va avariya ga qarshi avtomatika tizimi va boshqalar.

Magistral va sistema hosil qiluvchi elektr energiyasini uzatuvchi tarmoqlar va avtomat rostdash va ximoya vositalari birgalikda elektr energiyasini uzatish sistemasini tashkil qiladi.

Sistema yasovchi elektr tarmoqlar energosistemaning asosiy qismi bo'lib, olis masofalarda joylashgan iste'molchilarga (1000 km gacha va undan olis masofaga) katta quvvatlar oqimini (bir necha GVt gacha) yetkazib berish uchun xizmat qiladi va asosan o'zgaruvchan tokda bo'ladi.

Regionlararo elektr uzatish tarmoqlari odatda yuqoriroq kuchlanishda bo'ladi, Respublikamiz sharoitida 220 va 500 kV ni tashkil qiladi va shu kuchlanishdagi transformator podstantsiyalarini o'zaro birlashtiradi.

220 kV kuchlanishli tarmoqlar sistema hosil qiluvchi tarmoqlar bo'lib, 500 kV kuchlanishli tarmoqlar elektroenergetik tizimni barqarorligini ta'minlash uchun va sistemalararo tarmoqlar sifatida foydalaniladi.

Bunday kuchlanishli tarmoqlar yirik elektrostantsiyalar quvvatlarini uzatish va sistema ichidagi va sistemalararo markaziy transformator podstantsiyalarini o'zaro bog'lab turish uchun xizmat qiladi. Yuklama tugunlarida va sistema ichidagi tugunlarda 500/220/110, 500/110/35, 220/110/10 kV kuchlanish pog'onalarini qo'llaniladi.

220 kV kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlari, ayrim energosistemalarda 110 va 220 kV li liniyalar ichki sistemaviy tarmoqlardan ham foydalanilmoqda: quvvatlarni yetkazib berish va yirik elektrostantsiyalarni bog'lab turish, taqsimlovchi tarmoqlarning 220/110(35), 220/110 kV li elektr ta'minoti markazlarini o'zaro bog'lab turadi. 220 va 500 kV kuchlanishli yirik elektr energetika sistemalarda 500 kV va 220 kV li tarmoqlar taqsimlovchi vazifani bajaradi.

Elektr uzatish tarmoqlarning nominal kuchlanishi kattaligi uzatilayotgan quvvatlar miqdoriga, quvvatni uzatish masofasiga va zanjirlar soniga bog'liq bo'ladi. Tarmoqning nominal kuchlanishi kattaligi elektr energiyasini uzatish sistemasini loyihalash bosqichida tanlanadi. Demak uzatilayotgan quvvatlar miqdori qancha katta, quvvatni uzatish masofasi qancha olis bo'lsa, nominal kuchlanishi kattaligi texnik va iqtisodiy mezonlar bo'yicha shuncha yuqori bo'ladi.

Elektr uzatish tarmoqlarning o'tkazish imkoniyatlari deganda rejim va texnik chegaralanishlarni hisobga olgan holda tarmoq o'tkazgichlaridan tarmoq bo'ylab uzatish mumkin bo'lgan maksimal aktiv quvvat miqdori tushuniladi.

Iqtisodiy ko'rsatkichlar optimal bo'lganida elektr uzatish tarmoqlarining maksimal o'tkazish imkoniyatlarini ta'minlash texnik nuqtai nazaridan ancha mushkul vazifa hisoblanadi. Sistema tashkil qiluvchi tarmoqlarning maksimal o'tkazuvchanligi elektrostantsiyalardagi generatorlarning parallel ishlash barqarorligini ta'minlash uchun qator texnik vositalar, sxemaviy yechimlar va tadbir choralar qo'llaniladi.

SISTEM

Taqsimlovchi elektr tarmoqlarning (TET) vazifasi – elektr energiyasini 6–10 kVli iste'molchilarga bevosita yetkazib berish, iste'molchilar rayonidagi 6–110/0,38–35 kV li podstantsiyalar orasida elektr energiyasini taqsimlash, xududda joylashgan kam quvvatli (quvvati bir necha MVtlardan bir necha yuz MVt largacha bo'lgan) elektrostantsiyalarning quvvatlarini olishdan iborat bo'ladi.

Quvvatlarning vaqt o'tgan sari uzluksiz ortib borishi taqsimlovchi tarmoqlar kuchlanishining ortib borishiga olib keladi. YAqin yaqingacha iste'molchilarning alohida guruxlarini elektr energiyasi bilan ta'minlash uchun elektr energiyasini taqsimlash funktsiyasi asosan, 6 va 35 kVli elektr ta'minot tizimiga qo'yilgan edi. Bu holda 110 kV kuchlanishli tarmoqlar, oraliq quvvatlarni olmasdan, quvvatlar oqimini (elektr energiyasini) taqsimlash (xududlariga) tugunlariga yetkazib berish uchun xizmat qilgan. Energetikanig hozirgi rivojlanish bosqichida xo'jalik – iqtisodiyot faoliyati katta xududlar va yirik korxonalarni o'z ichiga qamrab

olmoqda va quvvatlar oqimini taqsimlash funktsiyasi 110 kV li elektr tarmoqlarga ham qo'yilmoqda, ayrim xududlarda 220 kVli elektr tarmoqlar ham jalb qilingan.

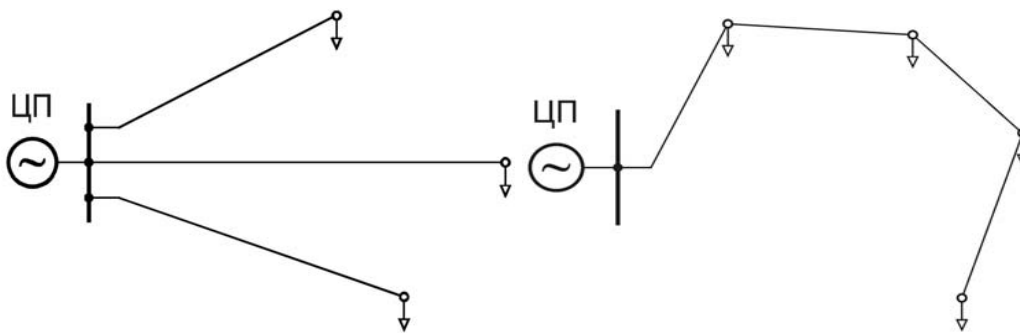
Bundan tashqari yirik sanoat korxonalari va shaharlar hamda elektr iste'molchilarining (masalan nasos stantsiyalari) quvvatlarini ortib borishi 110 kVli, ayrim xududlarda xatto 220 kVli liniyalarning chuqur kirib borishiga, ya'ni yuqori kuchlanishli elektr tarmoqning elektr iste'molchilar markazlariga, xududlariga maksimal yaqinlashuviga olib keladi. Shu sababli elektr energiyasini uzatish va taqsimlash tarmoqlarini sistema yasovchi, masofaga uzatuvchi, ularning nominal kuchlanishiga ko'ra taqsimlovchi elektr tarmoqlarga bo'linishi shartli bo'ladi. Shunday qilib, elektr energiyasini taqsimlash tarmoqlarini 110 (150)/35/6–10 kV yoki 220/35/6–10 kV kuchlanishli transformator podstantsiyalarni o'z ichiga olgan ikki yoki uch bosqichli kuchlanishlar pog'onasiga ega bo'lgan elektr tarmoqlar tashkil qiladi.

Kuchlanishning o'rtacha darajasiga yuqori kuchlanishli (220–500 kV) taqsimlovchi tarmoqlardan ta'minlanuvchi 35–110 kVli elektr tarmoqlar kiradi. Past kuchlanish pog'onasidagi tarmoqlarga o'rtacha kuchlanish pog'onasidagi O'K/PK 110–150 (220)/6–35 kV kuchlanishli taqsimlovchi tarmoqlardan yoki bevosita 220–500/6–35 kV kuchlanishli yuqori kuchlanish pog'onasidagi markaziy transformator podstantsiyalaridan va taqsimlovchi tarmoqlardan ta'minlanuvchi 6–35 kVli elektr tarmoqlar kiradi. 0,22–0,66 kV kuchlanishli past kuchlanishli tarmoqlar eng past pog'onali ta'minlovchi elektr tarmoqlar bo'lib, kuchlanishni 6–35/0,22–0,66 kV gacha pasaytiruvchi iste'molchi transformator punktlaridan ta'minlanadi. 0,22–0,38 kV kuchlanishli iste'molchi tarmoqlari bir necha kVt lardan bir necha yuz kVt largacha quvvatli bo'ladi va har bir iste'molchigacha etib boradi.

Elektr energiyasini taqsimlash sistemalarining elektr tarmoqlar strukturasi (tarkibi), konfiguratsiyasi va elektr rejimlari bo'yicha o'ziga xos bo'lib, kuchlanishi 110 (220) kV pog'onasigacha turli klasslarga bo'linadi. Tarmoqning strukturasi uning vazifasiga ko'ra aniqlanadi. Xususan o'rtacha kuchlanishli 110, 220 kV tarmoqlar havo elektr uzatish tarmoqlari ko'rinishda bajariladi va

ko'pincha avtotransformatorli bog'lanishli bo'ladi, rayon darajasida ahamiyatli yirik podstantsiyalarni o'z ichiga oladi va kam va o'rtacha quvvatli elektrostantsiyalarni birlashtirib turishi mumkin. 0,38–35 kV kuchlanishli elektr tarmoqlar kam va o'rta quvvatli elektr energiyasini kam quvvatli iste'molchilarga yetkazib berish uchun xizmat qiladi, ma'lum bir darajada tarmoq xarakterli bo'ladi va havo va kabel elektr uzatish tarmoqlari ko'rinishda ishlanadi. 6,10, 35 kV kuchlanishli korxonalarning, yirik aholi turar joylari va shaharlarning tashqi elektr ta'minot tarmoqlari, 0,38–35 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlari asosan havo elektr uzatish tarmoqlari ko'rinishda bajariladi. 0,38–10 kV kuchlanishli shahar elektr tarmoqlari, korxonalarning ichki elektr ta'minot tarmoqlari ko'pincha kabel ko'rinishda bajariladi.

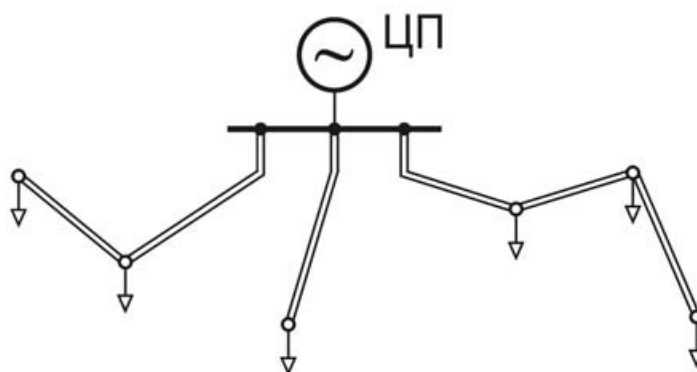
Taqsimlovchi tarmoqlarning rejim xususiyatlari ko'pincha ularning konfiguratsiyasi bilan aniqlanadi. Elektr tarmoqlar sxemasining konfiguratsiyasi elektr ta'minoti markazlari, qabul qiluvchi postantsiyalarning o'zaro joylashuviga va elektr ta'minoti ishonchliligiga qo'yiladigan talablarni bajarilishiga bog'liq bo'ladi. Taqsimlovchi tarmoqlar ochiq yoki yopiq ishlangan bo'ladi. Ochiq konfiguratsiyali tarmoqlar – radial (1.3, *a-rasm*) va magistral (1.3, *b-rasm*) sxemali bo'lib, bitta ta'minot markaziga ega bo'ladi. Magistral konfiguratsili tarmoq uchun o'tkazgich simlar, kommutatsion apparaturalar radial tarmoqlarga nisbatan kam sarflanadi. Bundan tashqari, bu yerda tarmoqning jami uzunligi kamroq bo'lganligidan tayanchlar, izolyatorlar, liniya armaturalari va boshqa harajatlar ham kamroq sarf bo'ladi. Shu sababli magistral tarmoqlar radial tarmoqlarga nisbatan arzonroq bo'ladi. Lekin magistral tarmoqlarning ishonchliligi pastroq bo'ladi, chunki bosh tarmoqning uzilishi bilan shu magistral tarmoqdan ta'minlanayotgan barcha iste'molchilar guruhi toksiz qoladi. Shu bilan birga shina o'tkazgichli elektr tarmoqlari ishonchliligi yuqoriroq bo'ladi.



1.3-rasm. Ochiq rezervlanmagan konfiguratsiyali tarmoq:

a – radial; *b* – magistral.

O'rta kuchlanishli 110–220 kV kuchlanishli radial tarmoqlar katta xududda joylashgan elektr iste'molchilarni ta'minlay oladi. Ular ko'pincha rezervlangan bo'ladi (1.4-rasm) va bitta ta'minot markazili radial – magistral sxema ko'rinishida bo'ladi. Rezervlanmagan ochiq sxemali elektr tarmoqlarni o'rta kuchlanish (O'K) va past kuchlanish (PK) li tarmoqdan imkon bo'lishi bilan rezerv liniya o'rnatiladigan inshaot sifatida ko'rish kerak. Ikki tomonlama ulangan radial-magistral tarmoq liniyani dubllanganligi (bir yoki bir necha tayanchlarda) hisobiga iste'molchilarni rezerv ta'minoti amalga oshiriladi (1.4- rasm). Bunday sxema ikkala liniyaning ham bir tekis yuklanishi bilan xarakterlanib, isroflarning minimumligi va oraliq uchastkalarda qisqa tutashuv tokining oshib ketmasligi ta'minlanishi bilan o'ziga xos bo'ladi va tarmoqning ish rejimlari aniq bajariladi.

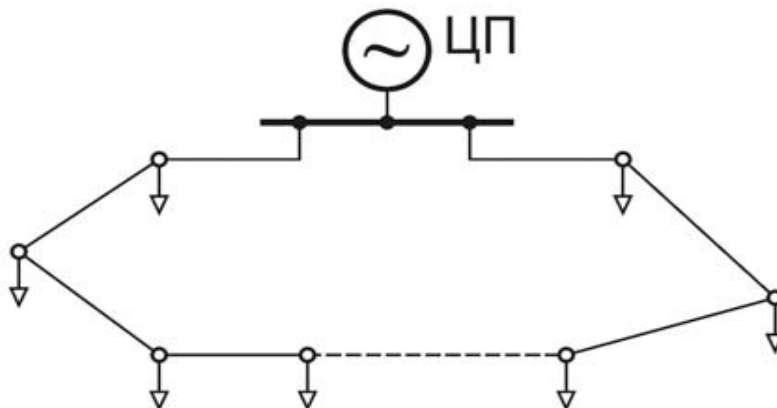


1.4.-rasm. Rezervlangan konfiguratsiyali radial-magistral tarmoq sxemasi

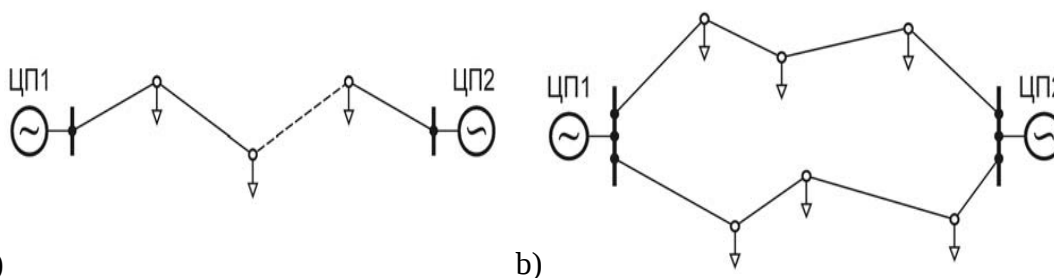
Ochiq, oddiy, bir tomonlama ta'minlanuvchi tarmoqlarning afzalliklari quyidagilar bo'ladi: sxemasi shaklining oddiyliigi, o'tkazgich materiallarga va qurilmalarga minimal sarf harajatlar, narhining arzonligi. Bunday tarmoqlarda

avariyaviy rejimlarda ortiqcha yuklanishlar bo'lmaganligi sababli elektr tarmoq hisoblari va material (o'tkazgich simlarning kesim yuzasi) va qurilmalar tanlash normal rejimlar uchun bajarilishi yetarli bo'ladi (1.4-rasm.).

Bitta elektr ta'minot markazidan ta'minlangan ikki radial rezervlanmagan elektr tarmoq keyinchalik yangi uchastkalar qo'shilishi bilan tarmoqning kengayishi natijasida magistrallar ulanib xalqa konfiguratsiyali yopiq tarmoq hosil qilishi yoki ikki tomonlama ta'minlanuvchi tarmoq hosil qilishi mumkin. (1.5-rasm va 1.6, *a*- rasm), Natijada rezerv ta'minoti bo'lgan ikki tomonlama ta'minlanuvchi elektr tarmoq shakllanadi. Iste'molchilarning elektr ta'minoti ishonchliligi ortadi.



1.5.rasm. Bitta ta'minot markazili yopiq xalqali konfiguratsiyali tarmoq.



a)

b)

1.6.rasm. Ikki tomonlama ta'minlanuvchi konfiguratsiyali elektr tarmoq:

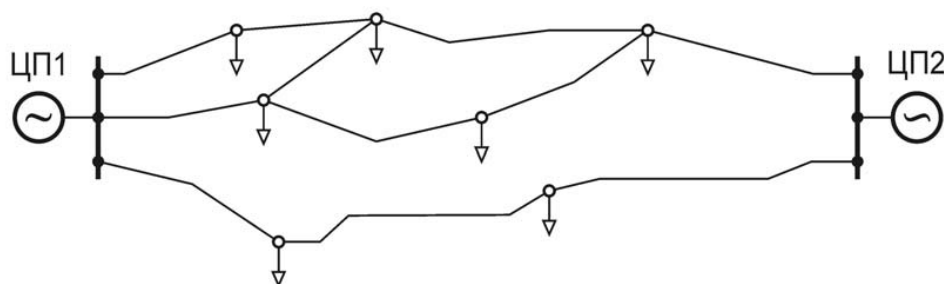
a – bir tarmoqli; *b* – ikki tarmoqli

Radial-magistral va xalqali sxemalarning afzalligi shundaki, ularda oqimlar taqsimoti yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlardagi oqimlarga bog'liq bo'lmagan holda shakllanadi, tarmoqda hosil bo'ladigan qisqa tutashuv toklar yaqinda yonma-yon joylashgan elektr tarmoqlarning ish rejimlariga ta'sir qilmaydi, podstantsiyalarni eng oddiy sxemalar ko'rinishda ulash imkoniyati bo'ladi. Yopiq shaklli, bir yoki ikki liniyalı elektr tarmoqlar keng qo'llanilmoqda Bunda elektr

tarmoqlar ikkita ta'minot markazidan ta'minlanadi va katta xududlardagi iste'molchilarni qamrab olish ikoniyati yuzaga keladi (1.6, *b* rasm). Bir liniyali tarmoqning kengayishi natijasida magistrallar ulanib (punktir chiziq bilan ko'rsatilga), ikki tomonlama ta'minlanuvchi va ikkita ta'minot markaziga ega bo'lgan tarmoq hosil qilishi mumkin (1.6 *a* rasm). Bunday konfiguratsiyali tarmoqlar kuchlanishi 110 kV bo'lgan qishloq va suv xo'jaligi iste'molchilari uchun hamda 220 kVli taqsimlovchi tarmoqlarda kam harajatlar bilan kengroq xududlarni qamrab olish uchun qo'llaniladi.

Bunday konfiguratsiyali tarmoqlarning imkoniyatlar bosh uchastkaning o'tkazish imkoniyatlari bilan ma'lum darajada cheklangan bo'ladi, ya'ni ta'minot markazlaridan birining tarmoqdan uzib qo'yilishida ham tarmoqdagi barcha podstantsiyalar elektr ta'minoti uzilmasligi zarur. SHu sababli tarmoqqa ulanayotgan podstantsiyalar soni va quvvati ta'minot markazidagi transformatorlar quvvati bilan chegaralanadi.

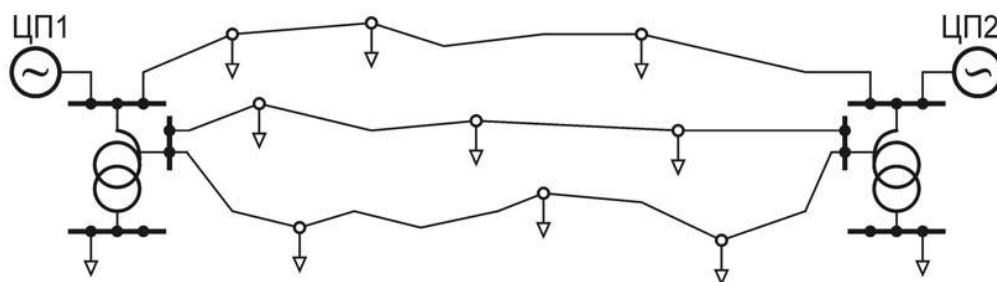
Ikki liniyali konfiguratsiyaga ega bo'lgan tarmoqlar (1.6, *b-rasm*) katta quvvatlarni o'tkazish imkoniyatiga ega bo'ladi, ishonchliligi yuqoriroq bo'ladi va 110 kV li elektr tarmoqlarda shahar va qishloqlarni elektr ta'minoti uchun, hamda olis masofalarga tortilgan liniyalarda foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi.



1.7 rasm. Murakkab yopiq konfiguratsiyali tarmoq sxemasi

Yaqin masofalarda joylashgan yangi ishga tushirilgan podstantsiyalarni eng yaqin uzellarga ulash natijasida yuqori ishonchlilikka ega bo'lgan, murakkab yopiq (ko'pkonturli) konfiguratsiyali tarmoqlarning paydo bo'lishiga sabab bo'ladi (1.7 rasm). Yopiq tarmoqlarning hisobi, rejimlarining tahlili rele ximoyasi oddiy ochiq tarmoqlarga nisbatan murakkabroq masala bo'ladi. Murakkab yopiq

elektr tarmoqlar radial-magistral tarmoqlarga nisbatan qimmatroq va ekspluatatsiyasi murakkabroq bo'ladi; ularning qo'llanilishi faqat elektr ta'minotidagi uzilishlardagi zarar miqdori katta bo'lganida maqsadga muvofiq bo'ladi, masalan yirik korxonalar (yirik nasos stantsiyalari), katta shaharlar elektr ta'minoti tizimida.



1.8. rasm Ikki kuchlanishli murakkab yopiq konfiguratsiyali tarmoq

0,38–35 kV kuchlanishli past kuchlanishli taqsimlovchi tarmoqlar ko'pincha bir (1.3 rasm, 1.4 rasm, 1.5 rasm) yoki ikki taminlovchi markazlardan (1.6 rasm, 1.7 rasm) ta'minlanuvchi radial va magistral ochiq konfiguratsiyali qilib bajariladi. Ayrim holatlar bunday tarmoqlar yopiq konfiguratsiyali shaklda bajariladi (1.5 rasm, 1.6. a rasm), lekin ochiq shaklli rejimda ekspluatatsiya qilinadi, masalan yirik aholi turar joy punktlarining elektr tarmoqlari.

Past kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmoqlarning (0,38–35 kVli) o'ziga xos xususiyati ularning ko'pligidir. Tarmoq uchastkalarining transformator punktlari soni tarmoq xo'jaligi miqyosida bir necha yuzgacha bo'ladi. Shu sababli bunday elektr tarmoqlarda kuchlanish rejimini yaxshilash, o'zgartirish uchun oddiy va arzon vositalar qo'llaniladi: avtomat ravishda rostlanmaydigan transformatorlar va rostlanmaydigan kondensator batareyalari. 0,38–10 kV kuchlanishli taqsimlovchi tarmoqlar ko'p tarmoqlanganligi va katta masofalarga tortilganligi bilan xarakterlanadi. Past kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmoqlarning sxemaviy tuzilishi va faoliyati tarxi ularning elektr ta'minotiga qo'yilgan talablar (ishonchliligi), iste'molchilar xarakteri bilan va qaysi soha tarmoqlariga tegishliligi bilan aniqlanadi.

Tekshirish uchun savollar

1. Elektr tarmoqlar sxemalarni turlang va solishtiring?
2. Nima uchun past kuchlanishli (0,4kV) tarmoqlarda 4 simli sxema qo'llaniladi, nol simning vazifasi nima?
3. Tarmoq ko'rsatkichlari va sxemasi qanday kriteriyalar bo'yicha tanlanadi?
4. Yagona energosistemaning afzalliklari va kamchiliklarini ayting?
5. Elektr tarmoqlarda transformatorlarning qanday o'rni bor?
6. Elektr tarmoqlarda uzatiladigan quvvatni qanday o'chirish mumkin?
7. Elektr tarmoqlarning elementlarini ayting, ularni xususiyatlariga ta'rif bering.
8. Yagona energosistemaning afzalliklari va kamchiliklarini ayting?
9. Elektr tarmoqlarda uzatiladigan quvvatni qanday o'chirish mumkin?
10. Sxemalarni turlang va solishtiring?
11. Nima uchun past kuchlanishli (0,4kV) tarmoqlarda 4 simli sxema qo'llaniladi?
12. Tarmoq ko'rsatkichlari va sxemasi qanday kriteriyalar bo'yicha tanlanadi?
13. Elektr energiyasini uzoq masofaga uzatishda qanday masalalar echiladi?
14. Elektr tarmoqlarda transformatorlarning qanday o'rni bor?
15. Elektr tarmoqlar qanday ta'minot markazlariga ega bo'ladi?
16. Ikki zanjirli elektr tarmoqlar qachon qo'llaniladi?
17. Ikki tarmoqli elektr tarmoqlarning afzalliklarinimada?
18. Murakkab tarmoqlar qanday bo'ladi?

2 bob. ELEKTR TARMOQLAR ELEMENTLARINING KUCHLANISHLARI. ELEKTR TARMOQLARNING NEYTRALLIK REJIMLARI

2.1. Elektr tarmoqlar elementlarining nominal kuchlanishlari

Har bir elektr tarmog'i ma'lum bir nominal kuchlanishga ega bo'ladi va uning barcha qurilmalari shu kuchlanishga mo'ljallanadi. Nominal kuchlanish elektr tarmoqlarning iste'molchilarining normal ish rejimlarini ta'minlab beradi, eng yuqori iqtisodiy ko'rsatkichlar beradi, uzatilayotgan aktiv quvvat va elektr energiyasini uzatish masofasiga bog'liq bo'ladi. Davlat standartlariga binoan (DST 21128–75) elektr tarmoqlar va iste'molchilarning fazalar orasidagi nominal kuchlanishlar shkalasi kiritilgan. 1000 Vgacha o'zgaruvchan tok tarmoqlari uchun: 220, 380, 660 V kuchlanishlar qabul qilingan. Davlat standartiga binoan (GOST 721–77) 1000 Vdan yuqori kuchlanishli quyidagi kuchlanishlar shkalasi kiritilgan: 6, 10, 35, 110, 220, 500 kV.

2.1. jadvalda elektr tarmoqlarning kuchlanishlar pog'onalari bo'yicha klassifikatsiyasi keltirilgan. Bu yerda 1 kVdan yuqori kuchlanishli tarmoqlar past kuchlanishli (PK), o'rta kuchlanishli (O'K), yuqori kuchlanishli (YUK), o'ta yuqori kuchlanishli (O'YUK) guruhlarga ajratilgan bo'ladi.

2.1-jadval.

Elektr tarmoqlarning kuchlanishlar bo'yicha klassifikatsiyasi

	1 kV gacha	6-35 kV	110-220	500
	PK	O'K	YUK	O'YUK
Elektr tarmoq bilan qamrab olinishi	Mahalliy		Rayon	Regional
Vazifasi bo'yicha	Taqsimlovchi			Sistema yasovchi
Iste'molchi xarakteri bo'yicha	Shahar, qishloq, korxonalar		—	

O'zbekiston Respublikasining yagona energosistemi beshta xududlardagi regional energosistemalarni birlashtirib hosil qilingan. Respublika energosistemi 220 va 500 kV kuchlanishli magistral elektr tarmoqlar yordamida yagona energosistemaga ulangan: Markaziy region, Shimoliy sharqiy region, Shimoliy g'arbiy region, Janubiy region, G'arbiy region. Elektr iste'molchilarning normal ishlab turishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak: $U_n^{ET} = U_n^{EP}$.

Elektr iste'molchilarning yuklamasi doimiy bo'lib qolmaydi, iste'molchilarning ish rejimlari o'zgarishi bilan (ishlab chiqarishdagi texnologik jarayon talablariga ko'ra) o'zgarib turadi. Buning oqibatida elektr tarmoq tugunlarida kuchlanish doimo nominal qiymatidan og'adi (kamayadi yoki ko'payadi) va elektr energiyasining sifati pasayib zararlarga olib keladi. Izlanishlar ko'rsatadiki, ko'pchilik iste'molchilar uchun barqaror ishlab turish zonasi kuchlanishning og'ishi 5 % dan kam bo'lmasligini talab qiladi, $\delta U = \pm 5$. Odatda kuchlanish tarmoq boshida katta bo'lib, tarmoq oxirida kamayadi. Tarmoq boshi va oxiridagi kuchlanishlar farqi kuchlanishlar isrofi bo'ladi: $\Delta U = U_1 - U_2$.

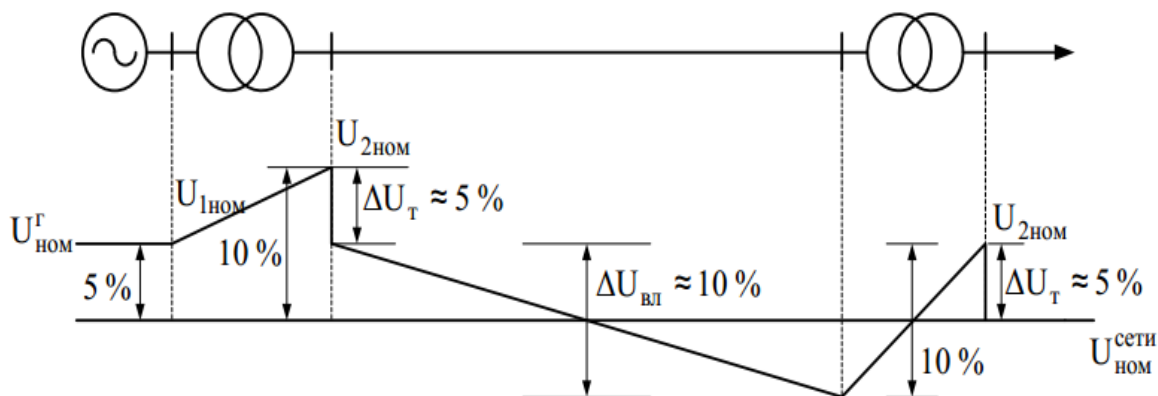
Tarmoq oxiriga qarab kuchlanishning pasayish kattaligi elektr tarmoq yuklamasiga va masofaga bog'liq bo'ladi. Tarmoq oxirida nominal kuchlanishni ta'minlab berish va iste'molchilarga sifatli elektr energiyasi yetkazib berish uchun generatorlar va taqsimlovchi tarmoq podstantsiyalarida kuchlanish miqdori 5 % ga oshirib beriladi. Davlat standarti bo'yicha, ularning kuchlanishi nominal kuchlanishdan 5 % ga ko'proq beriladi, ya'ni $U_n^g = 1,05 \cdot U_n^{ET}$.

Elektrostantsiyalardagi kuchaytiruvchi transformatorlarning birlamchi chulg'amlari bevosita generatorlarga ulanganligi sababli, ularning nominal kuchlanishi bir xil bo'ladi, ya'ni:

$$U_n^g = U_{nom1} = 1,05 \cdot U_n^{ET}.$$

Taqsimlovchi elektr tarmoqlarning pasaytiruvchi transformatorlari o'zlari quvvat olayotgan markaziy ta'minlash podstantsiyalari uchun iste'molchi bo'ladi va quyidagi shart bajarilishi kerak bo'ladi: $U_{1nom} = U_{nom}^{ET}$.

Hozirda elektrotexnika sanoati 110, 220 kV kuchlanishli pasaytiruvchi transformatorlar ishlab chiqarmoqda, ularning kuchlanishi elektr tarmoqning nominal kuchlanishidan 5% ga ko'proq qilib ishlangan.



2.1-rasm. Elektr tarmoqda kuchlanishlar epyurasi

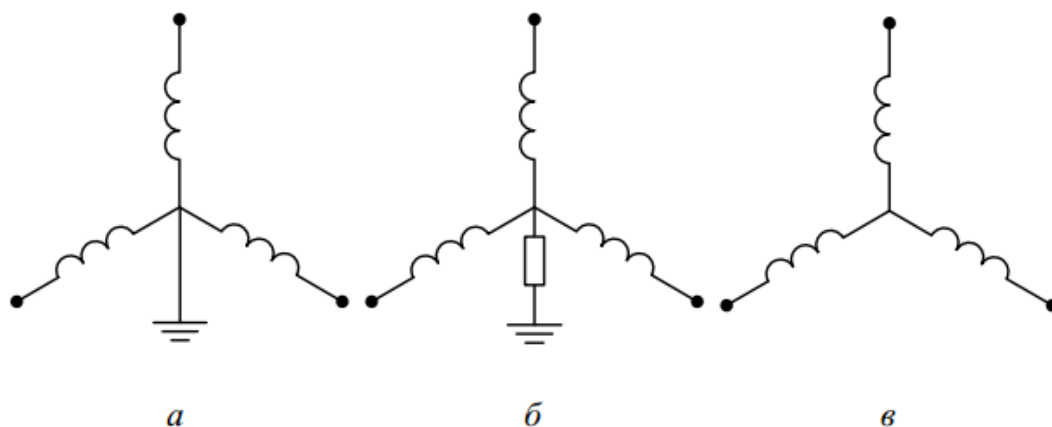
Pasaytiruvchi va kuchaytiruvchi transformatorlarning ikkilamchi chulg'amlari ta'minlovchi tarmoqqa nisbatan iste'molchi bo'ladi. Transformatorlarning ikkilamchi chulg'amlarining nominal kuchlanishi U_{2nom} tarmoqlarning nominal kuchlanishidan 5–10 % ga kattaroq bo'ladi.

$$U_{1nom} = (1,05 \div 1,1) U_{nom}.$$

Shu yo'l bilan ta'minlanayotgan tarmoqdagi kuchlanish pasayishi kompensatsiya qilinadi. 2.1.rasmdagi elektr tarmoqdagi kuchlanishlar epyurasi yuqoridagilarni tasdiqlaydi.

2.2. Elektr tarmoqlarning neytrallik rejimlari

Uch fazali elektr tarmoqlarning (neytrali) nol nuqtasi yerga chuqur ko'milishi (2.2, *a*-rasm), yuqoriomli qarshilik orqali yerga ulanishi (2.2, *b*-rasm) yoki yerdan izolyatsiyalangan (2.2, *v* -rasm) bo'lishi mumkin.



2.2.-rasm Uch fazali elektr tarmoqdagi nol nuqta: *a* – yerga chuqur ko’milgan;
b – yuqoriomli qarshilik orqali yerga ulan; *v* – yerdan izolyatsiyalangan

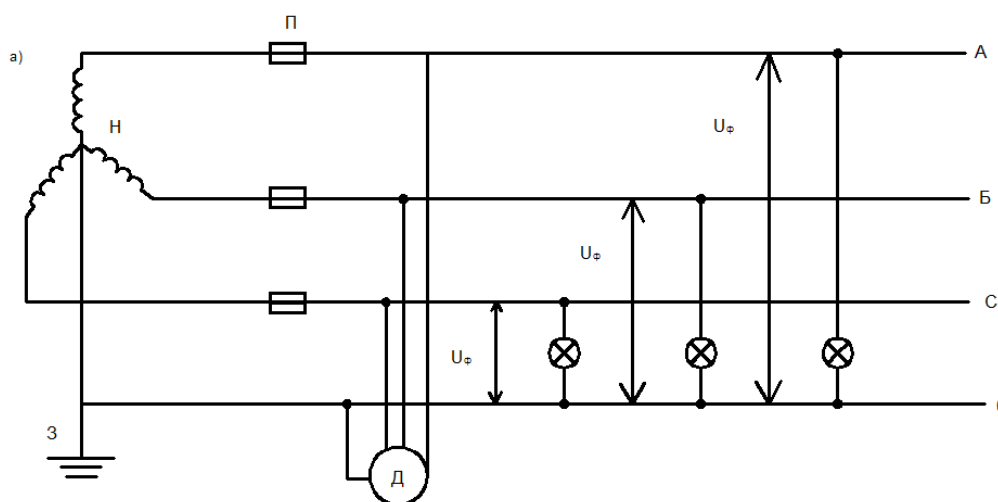
1000 V gacha kuchlanishli elektr tarmoqlarda neytrallik rejimi tarmoqqa xavfsiz xizmat ko’rsatish nuqtai nazaridan, 1000 V dan yuqori elektr tarmoqlarda esa elektr uskunalar elektr ta’minotining uzluksizligi, xizmat ko’rsatish xavfsizligi, ishonchliligi va tejamkorliligi bilan aniqlanadi. Elektr uskunalarni o’rnatish qoidalariga ko’ra (PUE) 1000 V gacha kuchlanishli elektr tarmoqlarda elektr uskunalar, neytrali (nol nuqtasi) yerga chuqur ko’milgan) yoki yerdan izolyatsiyalangan tarmoqdan ta’minlanishi mumkin.

Kuchlanishi 1 kV gacha bo’lgan, yopiq yerlangan elektr tarmoqlarning neytrallik rejimlari. Eng ko’p tarqalgan past kuchlanishli to’rtta o’tkazgich simli tarmoqlar – kuchlanishi 380/220, 220/127, 660/380 V bo’lgan elektr tarmoqlardir (2.3-rasm) (maxrajda faza kuchlanishi, suratda esa liniya kuchlanishi keltirilgan). Bunday tarmoqlar eng ko’p tarqalgan bo’lib, ko’pchilik iste’molchilar ular orqali ta’minlanadi. EUO’Q qoidalariga ko’ra xavfsizligi va ekspluatatsiyasi qulay bo’lishi uchun ularning neytrali chuqur yerga ulanadi.

Bir fazali iste’molchilar, masalan yoritish vositalari faza kuchlanishiga ulanadi (bitta faza va nol sim orasiga). Uch fazali iste’molchilar masalan elektr dvigatellar barcha fazalarga (A,B,S) ulanadi. Elektrodvigatel korpusi, hamda

barcha boshqa metall qismlar xavfsizlik nuqtai nazaridan yerga yoki nol simga ulanadi. Bunda biror faza simi qurilmalar korpusiga ulanib qolsa, qisqa tutashuv rejimi yuzaga keladi. Qisqa tutashuv tokining kattaligi yerga ulanish tarmog'ining qarshiligi bilan chegaralanadi, Yerga ulanish tarmog'ining qarshiligi har bir kuchlanish pog'onasi va tarmoq konstruksiyasidan kelib chiqib belgilanadi. 1000 V gacha kuchlanishli ichki elektr tarmoqlar uchun yerga ulanish qarshiligi 4 Om dan ortmasligi zarur. Faza kuchlanishida bir fazali qisqa tutashuv toki keskin ortib ketadi va ximoya vositasi yordamida (elektromagnit yoki issiqlik saqlagichli avtomat o'chirgich, eruvchi saqlagich) tarmoq ajratiladi. Agar elektr tarmoqlar faqat eruvchi saqlagich bilan ximoyalansa, bitta fazadagi saqlagichning erib tushishida uch fazali elektr tarmoqlar to'liqsiz faza rejimida qoladi. Nol sim borligi uchun boshqa soz ishlab turgan fazalarda nominal kuchlanish saqlanib qoladi. Bunday elektr iste'molchilarga yoritish tarmog'i, qizdirish vositalari, payvandlash qurilmalari va boshqalar kiradi.

Elektr uskunalar izolyatsiyasining zararlanishi faza tarmog'ini korpusga tegib kyetishi qisqa tutashuvga olib keladi va zararlangan joy tarmoqdan ajratiladi.



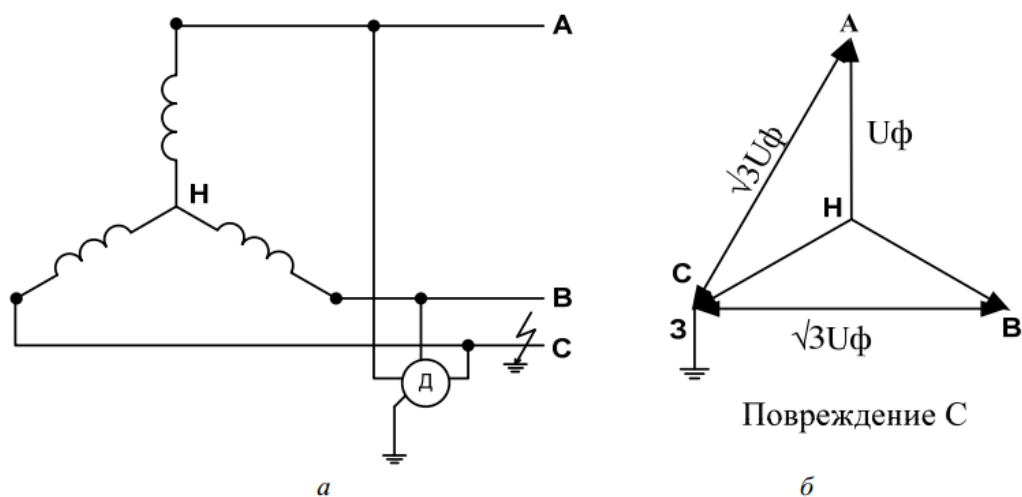
2.3.rasm. Uch fazali to'rt simli elektr tarmoq.

Uch fazali iste'molchilar (dvigatellar) bir fazali qisqa tutashuv rejimida nosimmetrik kuchlanishlar sistemasiga ulangan holda qoladi, ayniqsa elektrodvigatellar uchun bu rejim katta xavf tug'diradi. Elektromagnit maydon o'zining uch fazalik xususiyatini (aylanuvchanlik) yo'qotadi va pul'satsiyalangan maydon ko'rinishini oladi. Elektrodvigatelning aylantiruvchi momenti kamayadi, dvigatel to'xtab qolishi ham mumkin, qarshilik kamayib, iste'mol qilinayotgan tok keskin ortadi. Elektrodvigatel chulg'amlari qizib ketadi. Bu rejimda elektrodvigatel qizishdan himoyalovchi vosita yordamida tarmoqdan ajratiladi.

Chuqur yerga neytralni ulash ko'p tarmoqli elektr tarmoqlarda qo'llaniladi. Neytrali yerga ulanishli elektr ta'minot rejimida bir fazali qisqa tutashuvda tok miqdori katta bo'ladi va ximoya to'xtovsiz ishga tushib tarmoqni uzadi. Natijada elektr energiyasi ta'minotida uzilish bo'lib ishlab chiqarishga zarar keltiriladi.

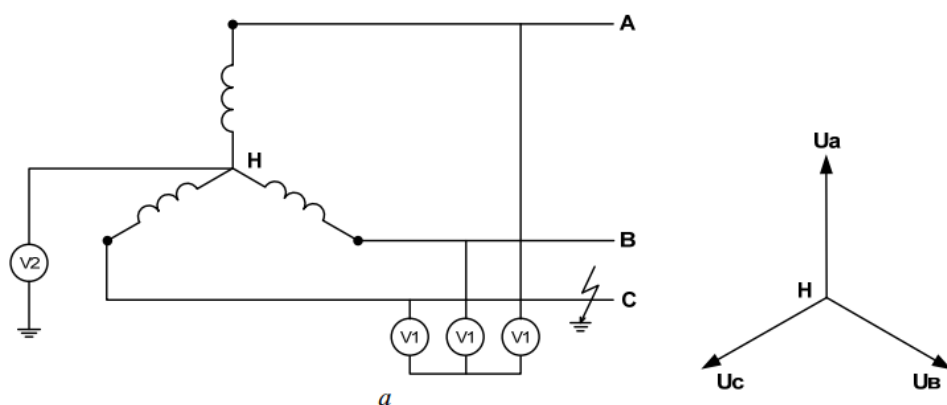
Neytrali izolyatsiyalangan past kuchlanishli tarmoqlar. Neytrali izolyatsiyalangan past kuchlanishli tarmoqlar ma'suliyati yuqori bo'lgan uch fazali iste'molchilarni ta'minlash uchun, tarmoq shaxobchalanmagan va faza izolyatsiyasi nazorat ostida bo'lgan hollarda qo'llaniladi. Bunday tarmoqlarga ko'mir shaxtalari, tog'-kon kar'eralari, ventilyator qurilmalari, havoda zaharli gazlar chiqish ehtimoli bo'lgan tsexlardagi elektr tarmoqlar kiradi. Bunday elektr tarmoqlarda faza simining yerga tegishi bir fazali qisqa tutashuv rejimini hosil qilmaydi, katta elektr tarmoqlar uchun xavfli toklar hosil bo'lmaydi va tarmoqni o'chirilishiga olib kelmaydi (2.4, *a* -rasm). Zararlanmagan fazalarda kuchlanish liniya kuchlanishigacha ortadi (2.4, *b*.- rasm).

Fazalararo kuchlanish o'zgarmay qoladi va liniya kuchlanishiga ulangan iste'molchilarning ish sharoitlari o'zgarishsiz qoladi, elektr ta'minot tizimining uzluksizligi ta'minlanadi. Fazalarning oshirilgan kuchlanishda ishlash vaqti chegaralanadi (ikki soatgacha), boshqa fazalarda ham qisqa tutashuv rejimi yuzaga kelish havfi bo'ladi, bunga esa yo'l qo'yib bo'lmaydi.



2.4. rasm. Neytrali izolyatsiyalangan tarmoq: *a* – sxema; *b* – faza yerga ulanishida C fazasi zararlanganida kuchlanishlar vektor diagrammasi

Neytrali izolyatsiyalangan past kuchlanishli tarmoqlarning izolyatsiyasi holati doimo nazoratda bo'lishi kerak va agar qisqa tutashuv rejimi yuzaga kelsa tarmoq shu zahotiyoq avtomat ravishda o'chirilishi zarur. Eksploatatsiya davrida izolyatsiya eskira boradi va o'zining muxofazalovchi xususiyatini yo'qota boradi. Izolyatsiya doimo faza kuchlanishini (U_f) ko'tara olishi zarur. Xizmatchilarning asosiy vazifalaridan biri izolyatsiyadagi defektlarni o'z vaqtida topib uni yo'qotishdir. Buning uchun simmetrik faza kuchlanishlarining xususiyatidan foydalaniladi.

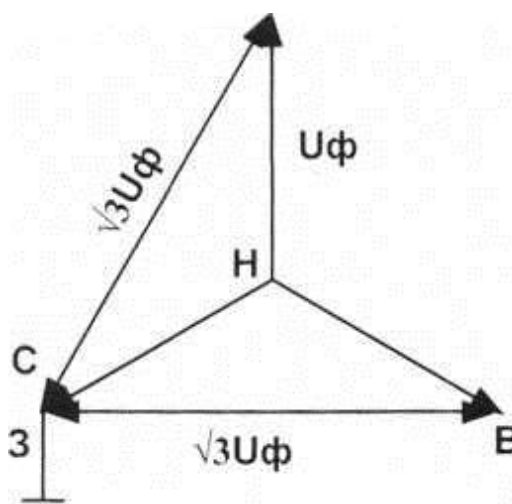


2.5.rasm. Neytrali izolyatsiyalangan tarmoq: *a* – izolyatsiyaning holatin nazorat kilish sxema; *b* – qisqa tutashuv yo'qligida kuchlanishlar vektor diagrammasi

Normal rejimda barcha fazalarda kuchlanishlar bir xil bo'lishi kerak, tarmoqqa ulangan voltmترلar V1 bir xil ko'rsatishga ega bo'lishi zarur. Ko'rsatishlar orasidagi farq faqat fazalardagi nosimmetriya oqibatida bo'lishi mumkin. V2 voltmetr uch fazali sistemadagi kuchlanishlarning geometrik yig'indisini o'lchaydi, uning ko'rsatishi nolga yaqin bo'ladi. S fazasining yerga ulanib qolishida A va V faza voltmترلari liniya kuchlanishini ko'rsatadi.

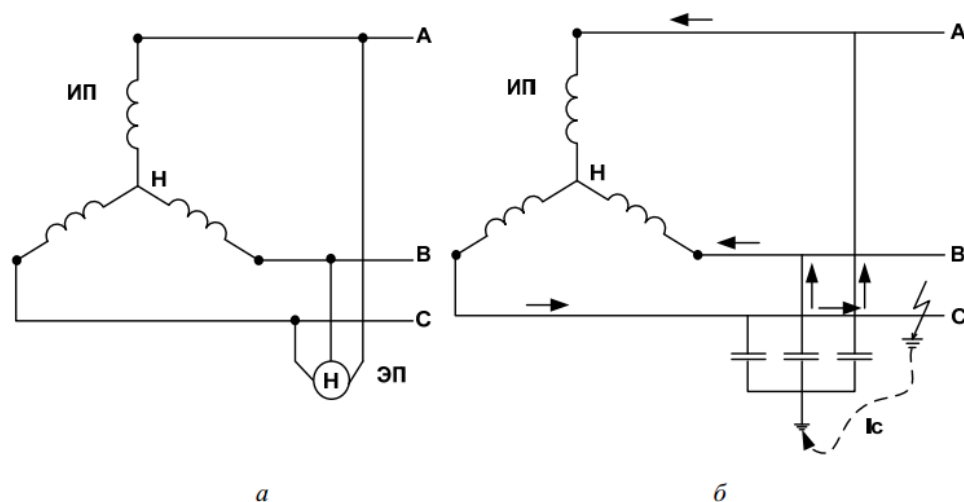
$$U_A \rightarrow U_L; U_B \rightarrow U_L; U_S \approx 0.$$

V2 voltmetrning ko'rsatishi endi nol bo'lmaydi, (neytral nuqta C ga keladi) A va B fazalardagi kuchlanish esa liniya kuchlanishigacha ortadi (2.6 rasm). Bunda fazalar izolyatsiyasi uchlangan faza kuchlanishiga bardosh bera olishi zarur.



2.6.rasm. S fazani yerga ulanishida kuchlanishlar vektor diagrammasi

Kuchlanishi 1000 V dan yuqori bo'lgan elektr tarmoqlar neytrallik rejimi bo'yicha yerga ulanish toki kam bo'lgan tarmoqlarga (≤ 500 A va 6, 10, 35 kV) va yerga ulanish toki katta bo'lgan tarmoqlarga (> 500 A va $U \geq 110$ kV) bo'linadi. Yerga ulanish toki kam bo'lgan tarmoqlar izolyatsiyalangan yoki kompensatsiyalangan neytrali bilan ishlaydi.

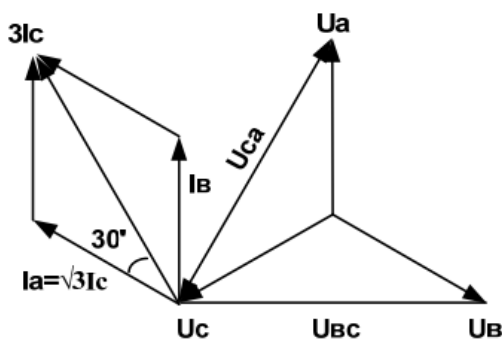


2.7. rasm Neytrali izolyatsiyalangan yuqori kuchlanishli tarmoqlar: *a* – sxemasi; *b* – fazani yerga ulanishida sig'im toklarning taqsimlanishi

Neytrali izolyatsiyalangan yuqori kuchlanishli tarmoqlar. Iste'molchi tarmoqlar liniya kuchlanishiga ulangan. “Neytral” va “yer” simmetrik rejimda ular ustma – ust tushadi (mos keladi). Izolyatsiyaga faza kuchlanishi tushadi u shu kuchlanishda uzoq muddat ishlab turishi lozim.

C fazani yerga qisqa tutashuv rejimini ko'rib chiqamiz. Ulanish joyidan tok zararlanmagan fazalar (A va B) sig'imiga oqadi, keyin esa liniyalar va neytral orqali zararlanish joyiga oqadi. (2.7. rasm). Iste'molchining kuchlanishi liniya kuchlanishida qoldi, o'zgarmadi. Fazalardagi kuchlanish uch marta ortdi ($3U_f$). Sig'im toki zararlangan fazada nol bo'lib qoladi, zararlanmagan fazalarda esa uch marta ortadi (kuchlanish ortishiga proporsional).

Bu yerda: $U_0 = U_f$; $3I_{SA} + 3I_{SV} = 3I_S$; $I_{\Sigma N} = 0$ bo'ladi.

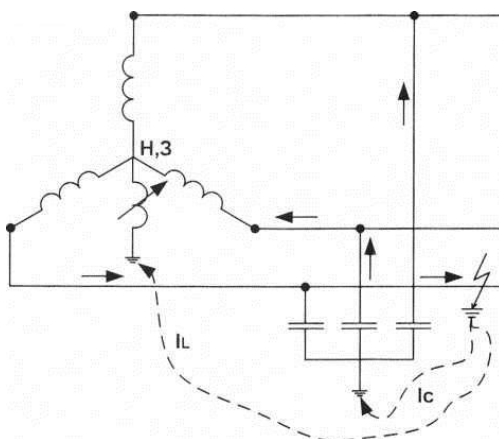


2.8. rasm. Sig'im toklari va kuchlanishlarning vektor diagrammasi.

Yerga qisqa tutashib qolgan faza tarmog'ining toki zararlanmagan fazalar tarmog'i toklari yig'indisiga teng bo'ladi va manbaa va yerga ulanish joyi orqali o'tadi (2.8 rasm). Bunda qisqa tutashuv rejimini oldi olinmasa, u qolgan fazalar izolyatsiyasini ham zararlab ikki yoki uch fazali qisqa tutashuv rejimi yuzaga keladi. Bunday bir fazali yerga tutashuv rejimida lipillovchi xarakterda bo'ladi (ya'ni yoy bir yonib, bir o'chadi), buning oqibatida tarmoqning soz qolgan boshqa fazalarda oshirilgan kuchlanishlar paydo bo'lishiga olib keladi. Elektr yoy xarakterli o'takuchlanishlarning amplitudaviy qiymatlari nominal faza kuchlanishidan bir necha barobar ortishi mumkin, $(2,5 \div 3,2)U_f$. Bunday kuchlanish faza izolyatsiyasini qizdirib emiradi va qisqa vaqt ichida yaroqsiz xolga keltiradi.

Elektr tarmoqlarda elektr yoy xarakterli kuchlanishlarning bunday o'zgarishlarini oldini olish uchun tarmoqning sig'im toki kompensatorlari qo'llaniladi.

Neytrali kompensatsiyalangan yuqori kuchlanishli tarmoqlar. Neytrali kompensatsiyalangan yuqori kuchlanishli tarmoqlar yerga tutashuv toki past bo'lgan tarmoqlar sarasiga kiritiladi (2.9 rasm).



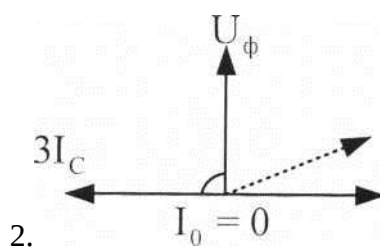
Ris. 2.9. Fazasi yerga tutashganda neytrali kompensatsiyalangan yuqori kuchlanishli tarmoqlarda toklarining taqsimlanishi

Simmetrik sistema uchun neytrali va er potentsiali bir xil bo'lganligidan normal rejimda g'altakga tok oqib bormaydi. Yoy so'ndiruvcha g'altak neytralga,

sig'im toklarini kompensatsiya qilish uchun o'rnatiladi. S faza simlari yerga tutashib qolsa, neytrali izolyatsiyalangan tarmoqlardagiga o'xshab, A va V fazalarining toklari 3 marta ortadi (liniya kuchlanishini oladi), neytral bilan yer orasida esa faza kuchlanishi paydo bo'ladi. Bu kuchlanish ta'sirida zararlanish joyidan g'altakga tok oqadi (I_L) va birdaniga A va V fazalar sig'imida (I_s) tok paydo bo'ladi. Yerga tutashish joyida tokining kattaligi ikkala toklar yig'indisiga teng bo'ladi ($I_L + I_s$). Tarmoqning neytraliga ulangan kompensatsiyalovchi g'altakning qarshiligi shunday tanlanadiki, undan oqib o'tayotgan induktiv tok kattaligi tarmoqning faza qarshiliklari toklari yig'indisiga ($3I_s$) teng bo'lsin.

Induktiv tok va sig'im toklar faza jihatidan bir biriga teskari yo'nalganligi tufayli ular bir birini kompensatsiya qiladi, va qisqa tutashuvda paydo bo'lgan elektr yoy o'chadi (2.10 rasm). Bunday rostlangan g'altak rezonansli deyiladi. Amalda to'liq kompensatsiya qilishga erishish qiyin, shu sababli qisqa tutashuv joyida doim qoldiq tok bo'ladi (g'altakning aktiv qarshiligi bo'lganligi va rostlanishining noaniqliligi tufayli): $\Delta I = I_L - \Sigma I_s$.

Bu tok ta'sirida elektr yoy yuzaga kelmaydi va ortiqcha kuchlanish ham bo'lmaydi. Neytrali kompensatsiyalangan tarmoqlarda, neytrali izolyatsiyalangan tarmoqlardagiga nisbatan, o'takuchlanishlar yuzaga kelish ehtimoli kamroq bo'ladi.



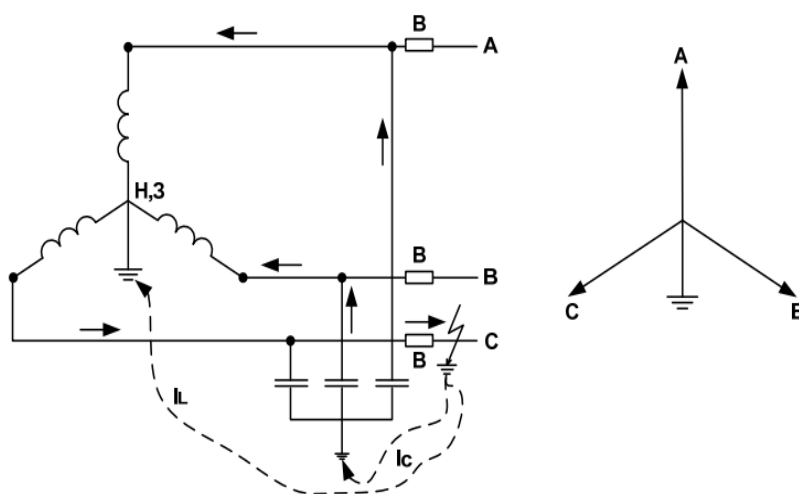
2.10.rasm. Sig'im tokini kompensatsiya qilingan tarmoqning kuchlanishlar vektor diagrammasi

Kompensatsiyalangan tarmoqlarning kamchiligi—izolyatsiyasini kuchaytirish talab qilinadi va yoy so'ndiruvchi g'altak o'rnatilishi kerak bo'ladi. Kompensatsiyalangan tarmoqlarning afzalligi—neytrali izolyatsiyalangan

tarmoqlardagidek: biror faza simlari yerga ulanib (tutashib) qolsa, iste'molchi tarmog'i o'chirilmaydi, kuchlanish ostida qoladi.

Yuqori kuchlanishli yopiq yerlangan neytralli tarmoqlar. Yuqori kuchlanishli yerlangan neytralli tarmoqlarga yerga tutashuv toki katta bo'lgan ($I_z > 500 \text{ A}$), nominal kuchlanishi 110 kV dan yuqori bo'lgan tarmoqlar kiradi. Transformatorning neytral nuqtasi qarshiligi kam bo'lgan ($R_{er} < 1 \text{ Om}$) yerga ulanish qurilmasi yordamida yerga ulanadi. Tarmoqning normal rejimlarida fazalarda ishchi toklaridan tashqari I_Σ sig'im toklari oqadi. Uch fazali tarmoq simmetrik bo'lganida neytral simda tok oqmaydi, ya'ni $\Sigma I_{noi} = 0$ bo'ladi. Sig'im toki I_Σ induktiv tokga I_L nisbatan kam bo'ladi.

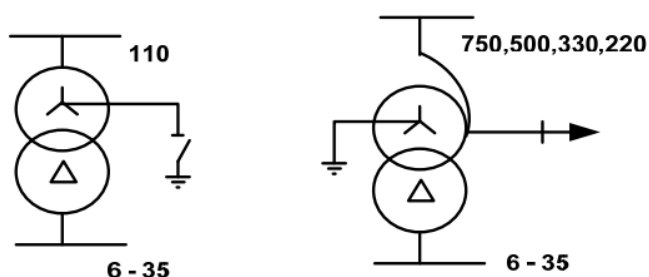
Biror faza simi yerga ulanib qolsa, tarmoqda qisqa tutashgan yerga tutashtiruvchi qurilma, er va nol nuqtasidan qisqa tutashuv joyigacha bo'lgan tarmoq uchastkasining qarshiliklarini o'z ichiga olgan kontur yuzaga keladi. (faza EYUK ga ulangan) (2.11 rasm). Hosil bo'lgan uchastkaning qarshiligi kam bo'lganligi tufayli bunday yerga ulanish qisqa tutashuv rejimini yuzaga keltiradi. Tarmoqda katta qiymatli qisqa tutashuv toklari oqadi va rele ximoyasi vositalari ishga tushib, tarmoq uchastkasi (sekundning o'ndan bir qismi davomida) ajratiladi.



2.11-rasm. Neytrali yerga tutashtirilgan uch simli past kuchlanishli tarmoqlarda toklarining taqsimlanishi va vektor diagrammasi

Yuqori kuchlanishli yerlangan neytralli tarmoqlarning kamchiliklari:

- qisqa tutashuvda tarmoqning uzilishi elektr ta'minotida uzilishlarni yuzaga keltiradi;
- katta miqdordagi qisqa tutashuv tokilarni o'tkazib yuborish uchun murakkab sistemali, ko'p metall sarfi talab qiluvchi yerga ulanish qurilmalari uchun qo'shimcha kapital mablag'lar kerak bo'ladi;
- ayrim holatlarda bir fazali qisqa tutashuv toki kattaligi uch fazali qisqa tutashuv tokidan ortib ketadi, shu sababli transformatorlar neytrallarining bir qismi yerga ulanish tarmog'idan uzib qo'yiladi (2.12 rasm).



2.12. rasm Transformatorlarning neytrallik holati: *a* – yerga ulanish tarmog'i uzilgan;
b – yerga ulangan.

2.2 jadval

Elektr tarmoqning neytrallik rejimlari

Tarmoq turi	Qo'llanilish sohalari	Afzalliklari	Kamchiliklari
Kuchlanishi 1000 V gacha bo'lgan neytrali yerga chuqur ulangan elektr tarmoq	Kuchlanishi 380/220, 220/127, 660/380 V, to'rt simli tarmoq	Uch va bir fazali iste'molchilar avtonom ishlab turishi mumkin	Nol sim uchun qo'shimcha metall sarf bo'ladi
Kuchlanishi 1000 V gacha bo'lgan neytrali izolyatsiyalangan elektr tarmoq	Kuchlanishi 660V, 380, 220V bo'lgan asosan uch fazali simmetrik iste'molchilari bo'lgan elektr tarmoq	ET uchta simdan iborat bo'lganligi uchun o'tkazgich materiallari sarfi kam bo'ladi	Izolyatsiyasi muntazam ravishda (sistemaviy) nazorat qilib turilishi zarur
Yerga ulanish toki	Kuchlanishi 10 (6) va	Biror faza o'tkazgich	Faza va er orasidagi

kam bo'lgan neytrali izolyatsiyalangan elektr tarmoq	35 kV bo'lgan elektr tarmoq	simi yerga ulanib qolsa iste'molchi o'chirilmaydi	izolyatsiya kuchaytirilgan bo'ladi
Yerga ulanish toki katta bo'lgan neytraliga kompensatsiyalovchi g'altak ulangan elektr tarmoq	Kuchlanishi 110kV va undan yuqori, 110 kV va 220 kV li transformatorlarning bir qismi yerdan ajratib qo'yilgan	Izolyatsiyasini kuchaytirish zarurati yo'q	Qisqa tutashuv rejimida iste'molchi tarmoq ajratiladi

“Yer” tarmog'idan odatda 110 kV kuchlanishli transformatorlar va agar shunday ish rejimi zavod tomonidan ko'rsatilgan bo'lsa, 220 kV kuchlanishli kuchaytiruvchi transformatorlarning neytrali, uzib qo'yiladi. Avtotransformatorli bog'lanish faqat neytrali chuqur yerga ulangan tarmoqlarda mavjud bo'ladi.

2.3. Elektr energiyasini uzoq masofaga uzatish.

Respublikamizda elektrostantsiyalar generatorlarida 6 - 20 kV kuchlanish bilan elektr energiyasi hosil qilinsa, kuchlanishi 110, 220, 500 kV gacha ko'tarilib olis masofalarga uzatiladi, yoki yagona energosistema tarmog'iga ulanadi. 100 km va undan ortiq bo'lgan uzoq masofaga elektr energiyasini uzatish imkoniyati borligi elektr energiyasini keng qo'llanishiga asos bo'ldi.

Elektr energiyasini o'zgaruvchan va doimiy tok ko'rinishda masofaga uzatish mumkin. O'zgaruvchan tok ko'rinishga elektr energiyasi olinadi uni o'zgaruvchan tok ko'rinishda uzatish uchun faqat transformatorlar vositasida kuchlanishni oshiriladi. Uch fazalar o'zgaruvchan tok sistemasida uchta faza simlari "λ" yoki "Δ" sxemada ulanib, uch tolali tarmoq vositasida uzatiladi. Barcha yirik elektrostantsiyalar va yirik transformator podstantsiyalari yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlar bilan tutashtirilgan. Regionlarning tarmoqlari ham yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlar bilan ulangan. Ular

magistral tarmoqlarni tashkil qiladi. Uzatilayotgan quvvat kattaligiga qarab bu tarmoqlar bir yoki ikki qator qilib tortiladi. O'lis masofalarga elektr uzatish tarmoqlar tortilganida elektr uzatish tarmoqlarlarining reaktiv quvvati katta bo'lishi mumkin, elektr uzatish tarmoqlarlarda reaktiv quvvatlarni (chegaralash) kamaytirish uchun kompensatsiyalovchi qurilmalar (KQ) o'rnatiladi. Ular tarmoqdagi reaktivlik xarakteriga qarab sig'im qarshilikli yoki induktiv qarshilikli bo'lishi mumkin.

Tarmoq simlari yetarli darajada yaqin bo'lsa, ular orasida sig'im qarshiligi hisobiga sig'im xarakterli reaktiv quvvat bo'ladi, ular reaktorlar vositasida kompensatsiya qilinadi. Iste'molchilar va tarmoqdagi induktiv yuklamalar hisobiga oquvchi induktiv xarakterli reaktiv quvvatlar kondensatorli kompensatsiyalovchi qurilmalar vositasida kompensatsiya qilinadi. Elektr energiyasini uzoq masofaga uzatishda quyidagi tadbirlar amalga oshiriladi:

1) elektr uzatish tarmoqlarlari 200-400 km dan ortiq masofalarga tortilganida, ularda oraliq podstantsiyasi o'rnatiladi. Ulardan qisman quvvat olinishi mumkin. Agar kuchlanish o'zgarsa transformator o'rnatiladi. Agar kuchlanish o'zgarmay qolsa, podstantsiya transformersiz ham bo'lishi mumkin (2.13. rasm).

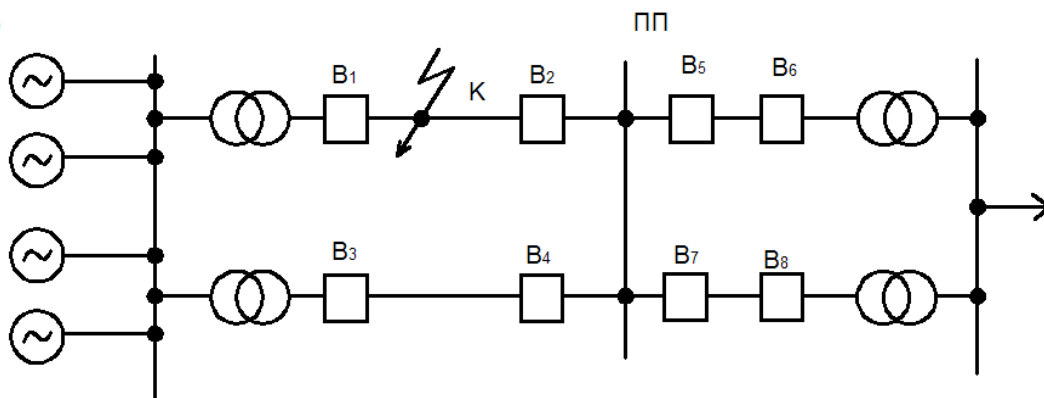
Podstantsiyalarning parallel barqaror ishlab turishi uchun:

$P = \frac{EU}{X_{sist}}$ bo'lishi zarur, bu yerda:

E va U-sistema kuchlanishi va generatorning elektr yurituvchi kuchi.

X_{sist} -butun sistemaning reaktiv qarshiligi.

Sistemaning reaktiv qarshiligi qancha kichik bo'lsa, sistema shuncha ko'proq energiya o'tkaza oladi. Oraliq podstantsiyalarning o'rnatilishi X_{sist} miqdorini kamaytirib, sistemaning o'tkazuvchanligini oshiradi. Avariya bo'lganida esa elektr uzatish tarmog'ining oraliq podstantsiyagacha qismi uziladi, podstantsiyadan keyin joylashgan tarmoq qismi esa ishda qoladi.



2.13. rasm. Oraliq podstantsiyalar (PP) o'rnatilgan magistral tarmoq.

Lekin oraliq podstantsiyalarni o'rnatish katta mablag' talab qiladi. SHuning uchun oraliq podstantsiyani o'rnatish masalasi texnik-iqtisodiy asoslanishi zarur. Elektr uzatish tarmoqlarda uzish punktlari ham o'rnatilishi mumkin. Ularda asosan yuklama o'chirichlar o'rnatiladi va yordamchi taqsimlash qurilmalari bo'ladi (yuklama o'chirgich, raz'yedinitel, razryadnik...)

2) Elektr uzatish tarmoqlarning har bir faza simlarini bo'laklash (2,3,4 simli tarmoq tortish),

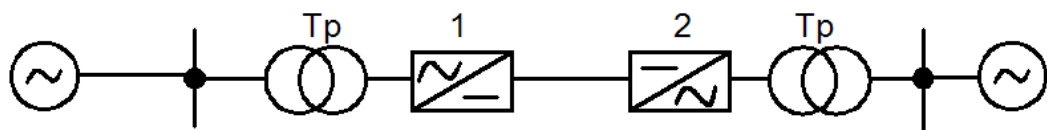
3) Bo'ylama sig'imli kompensatsiyalovchi qurilmalarlar o'rnatish. Bunda elektr uzatish tarmoqlardagi induktiv xarakterli reaktiv quvvat kompensatsiya kilinadi va elektr uzatish tarmoqlarning energiya o'tkazish imkoniyatlari oshiriladi. Masalan reaktivlik 25%ga kompensatsiya qilinsa, tarmoq 30-40 % gacha ko'proq energiya o'tkaza oladi, agar 50% gacha kompensatsiyalovchi qurilmalar o'rnatilsa, tarmoq (70-100)%gacha ko'proq quvvat o'tkaza oladi. Yana bo'ylama kompensatsiyalovchi qurilmalar tarmoq kuchlanishiga ham ta'sir ko'rsatadi. Kuchlanish isrofi kamayadi. Bo'ylama kompensatsiyalovchi qurilmalar shuntli reaktor ko'rinishda, oraliq podstantsiyalarda o'rnatilishi mumkin..

Ko'ndalang induktiv kompensatsiyalovchi qurilmalar liniyalar generatsiya qilayotgan Q_c quvvatni kompensatsiya qiladi. Elektr uzatish tarmoqlarda uzatilayotgan quvvat bilan generatsiya quvvati orasidagi munosabatga qarab tarmoqdagi kuchlanish miqdori o'zgarib turadi. Elektr uzatish tarmoqlar o'rtasida yoki oxirida U_H dan ortib kyetishi ham mumkin, bu holat elektr uzatish tarmoqlarda

yuklama kamayishida kuzatiladi. Buni oldini olish uchun reaktorlar ulanadi. Yirik elektr iste'molchilar reaktorlar vositasida ishga tushiriladi. Reaktorlar rostlanuvchi qilib ishlanishi mumkin. Ular izolyatsiya teshilishini oldini oladi. Ko'ndalang sig'im xarakterli kompensatsiyalovchi qurilmalar qabul qiluvchi transformator podstantsiyalarida o'rnatiladi. Ular kondensator batareyasi (KB), sinxron kompensator (SK) ko'rinishda bo'ladi va quvvat isroflarini kamaytirib, kuchlanishni bir xilligini ta'minlaydi. O'zgaruvchan elektr uzatish tarmoqlarda sistema elementlari ishga tushirilishida sinxronizatsiya qilinadi, ya'ni chastota va kuchlanish fazalari ikkala tomonda ham bir xil bo'lishiga erishiladi.

Elektr energiyasini doimiy tok ko'rinishda olis masofaga uzatish, o'zgaruvchan tokdan farq qilib, reaktiv qarshiliklarsiz amalga oshiriladi. Tarmoqda o'zgaruvchan elektromagnit maydoni bo'lmaganligidan u faqat aktiv qarshilikka ega bo'ladi, ya'ni bu xolda isroflar kamayadi. Faqat kuchlanishni oshirish yoki kamaytirish uchun u o'zgaruvchan tokka o'tkaziladi. Buning uchun invertorlar ishlatiladi.

Generatorlarda olingan o'zgaruvchan tok transformatorlarda kuchaytiriladi, to'g'irlagichda to'g'irlab, doimiy tok liniyasida kerakli masofaga uzatiladi. Iste'molchiga etib borib, invertorda o'zgaruvchan tok ko'rinishga o'tkaziladi va transformatorlar yordamida kuchlanishi yana pasaytiriladi (2.14.rasm).



2.14.rasm. Doimiy tokda elektr energiyani masofaga uzatish sxemasi:

G-generatorlar (kuchlanish 6, 10, 20 kV), Tp-1-kuchaytiruvchi transformatorlar.(35, 110, 220, 500 kV), 1,2-to'g'irlagichlar.

Doimiy tok tarmog'ining xususiyatlari:

1. Barqarorlikka hisoblanishni talab qilmaydi.

2. Reaktiv quvvat bo'lmaganligidan tarmoqda kuchlanish miqdori barqarorroq bo'ladi. Ularda Q_c reaktiv quvvat generatsiyasi bo'lmaydi.
3. Ichki o'ta kuchlanishlar karraligi doimimy tokli elektr uzatish tarmoqlarda kamroq bo'ladi, natijada doimimy tokda izolyatsiyani ishdan chiqish xolatlari kamroq bo'ladi.
4. Doimiy tok tarmog'ida elektr uskunalar konstruksiyalari soddaroq, metall sarfi kamroq bo'ladi. Izolyatorlar girlyandi sarfi ham o'zgaruvchan elektr uzatish tarmoqlarlariga qaraganda kamroq bo'ladi,.
5. Quvvat oqimi yo'nalishini o'zgartirish ham engilroq bo'ladi. Bunday elektr uzatish tarmoqlari reversiv deyiladi.

Doimiy tok tarmoqlarining maksimal o'tkazish quvvati to'g'irlagich va invertorlarning quvvati bilan chegaralanadi. Doimiy tok tarmog'ining nominal kuchlanishi bu bir qutbi bilan er orasidagi kuchlanishi bo'ladi. Lekin doimiy tok tarmoqlarining kamchiliklari ham bor:

- tokni o'zgartirgichlari katta quvvatli va yuqori kuchlanishli bo'lib, yuqori mustahkamlikka ega vositalar talab qiladi;
- ularning narhi hozirgi kunda yuqori bo'lib qolmoqda;
- to'g'irlagichlar va invertorlar quvvati kam bo'lib, ularni juda ko'p miqdorda parallel ulash talab qilinadi. Ko'p joy va mablag'lar kerak bo'ladi;
- to'g'irlagichlar va invertorlar o'zgaruvchan tok shaklini buzadi, toza sinusoida olish qiyin;
- katta quvvatli filtrlar, tekislagichlar ulanishi kerak bo'ladi. Bunda sistema ishonchliligi pasayib narhi esa ortadi.

Elektr o'tkazgichli simlar, ulovchi armaturalar, tayanchlar, izolyatorlar. travers, kabellar kanallar sistemasi elektr energiyasini uzatish uchun xizmat qiladi va elektr uzatish tarmog'i (EUT) deyiladi. Kuchlanish 1000 Vgacha bo'lsa, past kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlari, agar $U > 1000 V$ bo'lsa, yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlar bo'ladi. Yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlarlari elektr energiyasini uzoq masofalarga uzatish uchun ishlatiladi. Ma'lumki, yuqori

kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlari 10, 35, 110, 220, 500 kV li kuchlanishli bo'ladi. Respublikamizdagi elektr tarmoqlarida mavjud (110), 220, 500 kV kuchlanishli tarmoqlar magistral ta'minlovchi tarmoqlar bo'ladi. Elektr uzatish tarmoqlarida elektr energiyasini iste'molchilarga taqsimlash uchun 6, 10, 35 kV kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlari ishlatiladi.

Past kuchlanishli iste'molchilarga past kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlari elektr energiyasini yetkazib beradi. Havo va kabel elektr uzatish tarmoqlarlari, podstantsiyalar va ulash ajratish punktlari ma'lum bir xududda iste'molchilarni tok manbasi bilan birlashtirib turadi va elektr tarmoqlar tizimi (to'ri) deyiladi.

Elektr energiyasi o'zgaruvchan tok sifatida hosil qilinadi, uzatiladi va iste'mol qilinadi. Transformator yordamida o'zgaruvchan tokni har qanday kuchlanishli qilish mumkin. Elektr energiyasini uzoq masofaga uzatishda kuchlanish kattaligining nima ahamiyati bor?

Uch fazali o'zgaruvchan tok quvvati quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$P = \sqrt{3}U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (2.9)$$

Tarmoqning quvvati ortsa tok ortib undagi quvvat isrofi ortadi:

$$\Delta P = 3I^2 R$$

Bu yerda: R - bir faza o'tkazgich simlarining qarshiligi.

Quvvat ortganda tok (isroflar) ortmasligi uchun kuchlanish yuqoriroq o'rnatiladi. Elektr uzatish tarmoqlarlarda isroflar minimal bo'lishi va me'yoriy qiymatlaridan ortmasligi uchun, quvvat va uzatish masofasi ortgani bilan kuchlanish yuqoriroq qilib olinadi. Isroflar me'yorida bo'lishi uchun 0,4 kV li tarmoqlarda 500 m.gacha tarmoq tortiladi ($L_{opt}=200$ m). Kuchlanish oshsa, ruhsat etilgan energiyani uzatish masofasi ortib boradi. 1 km.dan bir necha km.gacha 1kV li yuk elektr uzatish tarmoqlar ishlatiladi. 10-20 km.ga ($L_{opt}=10$ km) 10kVli, 40-50 km.ga ($L_{opt}=40$ km) 35kVi, 100-150 km.gacha ($L_{op}=100$ m) 110 kVli kuchlanishda 200-300 km.gacha ($L_{opt}=200$ km) 220kV kuchlanishda va 1000 km.gacha 500 kV

li yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlarlari ishlatiladi. Respublikamizda eng olis masofalarga elektr energiyasini uzatish uchun 7 ta 500 kV li podstantsiyalar o'zaro 500 kVli yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlar bilan tutashtirilgan bo'lib, magistral tarmoqlar asosini tashkil etadi.

Lekin yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlarining narhi yuqori bo'lib, ko'p kapital mablag'lar talab etadi. SHuning uchun yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqni qurish uchun texnik iqtisodiy hisoblar qilinishi va optimal (samarali) elektr energiyasini uzatish masofasi aniqlanadi va kuchlanish miqdori hisobga olinadi. Elektr energetika sistemasi elektrostantsiyalar, elektr uzatish tarmoqlari, podstantsiyalar, issiqlik tarmoqlarini mos rejimlarda birgalikda ishlab turishidir. Hidroelektrostantsiyalar sug'orish rejimlari bilan issiqlik elektrlari isitish tarmoqlari bilan birgalikda ishlab turadi. Regionlar (tuman, viloyat) elektr tarmoqlari birlashib, yagona elektrenergetika sistemani tashkil qiladi va markaziy dispetcherlik punktlari rejimlarni ushlab turish uchun xizmat qiladi va bosh dispetcherlik punktga yordam ko'rsatadi, undan tegishli ko'rsatmalar olib ish faoliyatini olib boradi. Yagona energosistemaning mavjudligi quyidagi afzalliklarga ega:

1. Ishonchli ishlab turadi.
2. Maksimum yuklamalar kamaytiriladi.
3. Rezerv elektrostantsiyalar zaruriyati kamayadi.
4. Hidroelektrostantsiyalar va issiqlik elektrostantsiyalar birgalikda ishlab turadi.
5. Yirik energobloklarni ishlatish imkoniyati bo'ladi

Tekshirish uchun savollar

1. Elektr tarmoqlarda qanday nominal kuchlanishlar bor?
2. Nima uchun elektr tarmoqlarda turli kuchlanishlar qo'llaniladi?
3. Elektr tarmoqning neytrallik rejimlari deganda nima tushuniladi?

4. Yagona energosistemaning qanday afzalliklarga ega?
5. Elektr energiyasi olis masofalarga qanday uzatiladi?
6. Neytrali izolyatsiyalangan tarmoqlar qachon qo'llaniladi?
7. Neytrali yerga chuqur ulangan tarmoqlar qachon qo'llaniladi?
8. Neytrali izolyatsiyalangan tarmoqlarda nol qayerga ulanadi?
9. Neytrali yerga ulangan tarmoqlarda nol sim nima vazifani bajaradi?
10. Neytrali yerga ulangan simmetrik tarmoqlarda nol sim nima vazifani bajaradi?

3-bob. ELEKTR ENERGIYASINI UZATISH VA TAQSIMLASH SXEMALARINI QURISH ASOSLARI

3.1. Elektr tarmoqlar sxemalariga qo'yilgan talablar

Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sxemalarini qurishda quyidagi masalalar yechiladi:

- yangi qurilgan yoki rekonstruktsiya qilingan elektrostantsiyalarni quvvatlarini sistemaga berish sxemasini ishlab chiqish;
- yangi quriladigan podstantsiyalarni o'rnatilish joyini va ularni mavjud tarmoqqa ulanish sxemasini aniqlash;
- elektrostantsiya va podstantsiyalarni elektr ulanish sxemalari va kompensatsiyalovchi va rostlash qurilmalarini joylashish o'rnini aniqlash.

Elektr tarmoqlarning ulanish sxemalariga quyidagi talablar qo'yiladi:

1. Zarur ishonchliligini ta'minlash. Elektr tarmoqlar ishonchliligini baholashda ikki xil yondoshuv printsiplari bor. Birinchi printsip bo'yicha barcha elektr iste'molchilarning elektr ta'minoti ishonchliligi me'yoriy xujjatlar bo'yicha, masalan elektr uskunalarni o'rnatish qoidalariga ko'ra, uch kategoriyalarga bo'linadi.

Ma'suliyati yuqori bo'lgan elektr iste'molchilarning elektr ta'minoti ishonchliligi I kategoriya qilib belgilangan. Ularda elektr ta'minotida uzilishlar qimmatli qurilmalarning buzilishi, katta miqdorda ishlab chiqarish braki, o'ta muxim kommunikatsiyalar faoliyatining buzilishi bilan bog'liq bo'lgan, katta mablag'lar isrofiga, insonlar hayotiga xavf tug'dirilishiga, olib keladi. Ishonchliligi I kategoriyali elektr iste'molchilarning elektr ta'minoti ikkitomonlama, rezervlangan bo'lishi kerak. Ularda uzilishlar davomiyligi faqat qo'shimcha manbadan elektr ta'minotining tiklanishi uchun kyetgan vaqt bilan chegaralanadi. Shu sababli I kategoriyali elektr iste'molchilari ko'pincha avtonom

rezerv manbali uchinchi tarmoqqa ega bo'ladi. Avtonom rezerv manbaa sifatida dizel elektrostansiyalar, akkumulyator batareyalari va boshqalar bo'ladi.

II kategoriyali elektr iste'molchilarga elektr ta'minotidagi uzilishlar qimmatli qurilmalarning to'xtab qolishi, katta hajmdagi ishlab chiqarish to'xtab qolishi, ishchilarning ommaviy turib qolishlariga olib kelishi mumkin. Ishonchliligi II kategoriyali elektr iste'molchilarning elektr ta'minoti ham ikki tomonlama bo'lishi zarur. Ulardagi uzilishlar davomiyligi faqat qo'shimcha manbadan elektr ta'minotining tiklanishi, ayrim elementlarning almashtirilishiga, yoki operativ xodimlar tomonidan rezerv manbaning tiklanishi uchun kiyetgan vaqt bilan chegaralanadi. Bu o'rtacha 1-4 soat bo'ladi. Bunday elektr iste'molchilari ayrim hollarda bitta havo liniyasi yoki kabeldan ta'minlanishi mumkin, faqat bunda avariya bo'lganida zaxira transformator yoki liniya elementlari 4 soatgacha bo'lgan vaqt ichida ta'mirlanib ishga tushirilish imkoniyati bo'lishi lozim.

Boshqa barcha elektr iste'molchilari III kategoriyaga kiritiladi. Ular bitta transformator punktidan yoki bitta liyadan ta'minlanishi mumkin, faqat bunda avariya bo'lganida zaxira transformator yoki liniya bo'lagi bir sutkagacha bo'lgan vaqt ichida ta'mirlanib, yana ishga tushirilish imkoniyati bo'lishi lozim.

Ikkinchi printsip bo'yicha barcha elektr iste'molchilarning elektr ta'minotidagi uzilishlaridan yuzaga kelayotgan iqtisodiy zarar miqdori soni baholanadi. Bunday printsip solishtirilayotgan sxema variantlari ishonchlilik bo'yicha bir biridan farq qilsa, yoki ishonchlilikni oshirish bo'yicha tadbir choralar ishlab chiqilayotgan holatlarda qo'llaniladi. Bu printsipning kamchiligi shundan iboratki, bu yerda iste'molchilarga yetkazib berilmay qolgan elektr energiyasidan kelgan solishtirma iqtisodiy zarar miqdori kattaliklarining xilma xilligidadir. Bu usul ilmiy izlanish va adabiyotlarda keng yoritilgan.

2. Elektr energiyasining sifat me'yorlarini ta'minlash. Elektr energiyasi sifatiga qo'yilgan amaldagi Davlat standarti bo'yicha elektr iste'molchilariga yetkazib berilgan kuchlanishning me'yoriy ruxsat etilgan o'zgarishi $\pm 5 \%$ va kuchlanishning chegaraviy ruxsat etilgan o'zgarishi $\pm 10 \%$ qilib belgilangan.

3. Elektr tarmoqning moslashuvchanligi. Bu yerda elektr tarmoqlar sxemasi turli rejimlarda, jumladan avariyalardan keyingi, ayrim uchastkalar o'chirilgan holatlarda ham elektr energiyasini uzatish va taqsimlash imkoniyatini saqlab qolishi, hamda keyingi rivojlanishi (kengayishida) konfiguratsiyasini sezilarli o'zgartmasligi tushuniladi.

4. Mavjud elektr tarmoqlardan maksimal foydalanish. Bunday talab elektr tarmoqlarga dinamik rivojlanuvchi ob'ekt sifatida qaraydi.

5. Xududlarni maksimal qamrab olish. Bu talab elektr tarmoqlar konfiguratsiyasining xizmat ko'rsatish radiusida bo'lgan barcha iste'molchilarni ulanish imkoniyatlarini hisobga oladi.

6. Qisqa tutashuv toklarining optimal kattaligini ta'minlash. Bir tomonlama ta'minlanuvchi elektr tarmoqlarda qisqa tutashuv toki kattaligi rele ximoyasi vositalari ishga tushishi uchun yetarli darajada katta bo'lishi kerak, undan tashqari, qisqa tutashuv toki kattaligi boshqa tomonidan yuklama o'chirgichlarining imkoniyatlari bilan chegaralanadi. Elektr tarmoqlarda qisqa tutashuv toki kattaligini chegaralash uchun qator yo'llar ko'rib chiqiladi: bo'laklangan chulg'amli transformatorlar va tokchegaralovchi reaktorlar qo'llanilishi bilan, energosistemaning asosiy elektr tarmoqlarining taqsimlovchi shinalarini sektsiyalash bilan va hokazo.

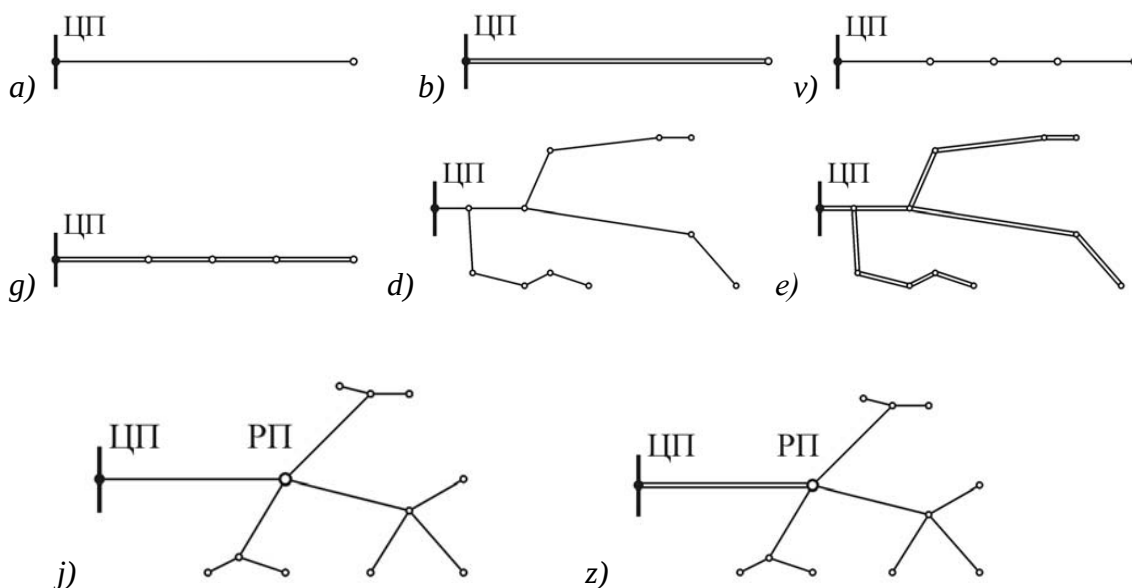
7. Rele ximoyasi, avariyaqa qarshi va rejim avtomatikasi imkoniyatlarini qo'llanilishi. Bu talab qisqa tutashuv toki kattaligini va turli xil ruxsat etilgan rejimlarning optimizatsiyasi bilan bog'langan.

8. Elektr tarmoqlarni unifikatsiyalangan elementlaridan yaratish imkoniyatlari. Unifikatsiyalangan elektr uzatish liniyasi va podstantsiyalar elementlarining qo'llanilishi elektr tarmoqlar loyiha sxemalarini, qurilish tannarhini kamaytirish imkonini beradi. Shu sababdan sxemalar va undagi yangi yechimlar soni minimal bo'lishi va har bir yangi yechim texnik va iqtisodiy asoslanishi lozim.

9. Atrof muxit muxofazasi shartlarini bajarilishi. Ikki tarmoqli va ko'ptarmoqli sxemalar qo'llab, tarmoqning o'tkazuvchanligini oshirish, cheka

xududlarni kamaytirish va oddiy podstantsiya sxema yechimlari qabul qilib bu talabni bajarishga erishish mumkin.

Sxemalarni qurishda elektr tarmoqlarning xilma-xil konfiguratsiyalaridan foydalaniladi. Ularni shartli ravishda radial (radial-magistral) va yopiq elektr tarmoqlarga bo'lish mumkin. Radial elektr tarmoqlar sxemalarida yuklama uzellari elektr energiyasini bitta ta'minot markazidan oladi (TM) (3.1-rasm). Bunda bir zanjirli tarmoqqa faqat bitta yuklama uzeli (3.1,a-rasm) yoki bir necha yuklama uzeli ulanishi mumkin (3.1,b-rasm). Liniya tarmoqlangan bo'lishi mumkin (3.1,v-rasm). 6,10,35 kVli taqsimlovchi tarmoqlarda ta'minot markazi (TM), bevosita yuklama uzellariga liniyalari kyetgan, taqsimlovchi punktlarga (TP) ulangan bo'lishi mumkin (3.1, g-rasm). TM va TP orasida ikki tarmoq yotqizilgan bo'lishi mumkin. Bunda elektr tarmoq qisman rezervlangan tarmoqqa aylanadi (3.1, d - rasm).

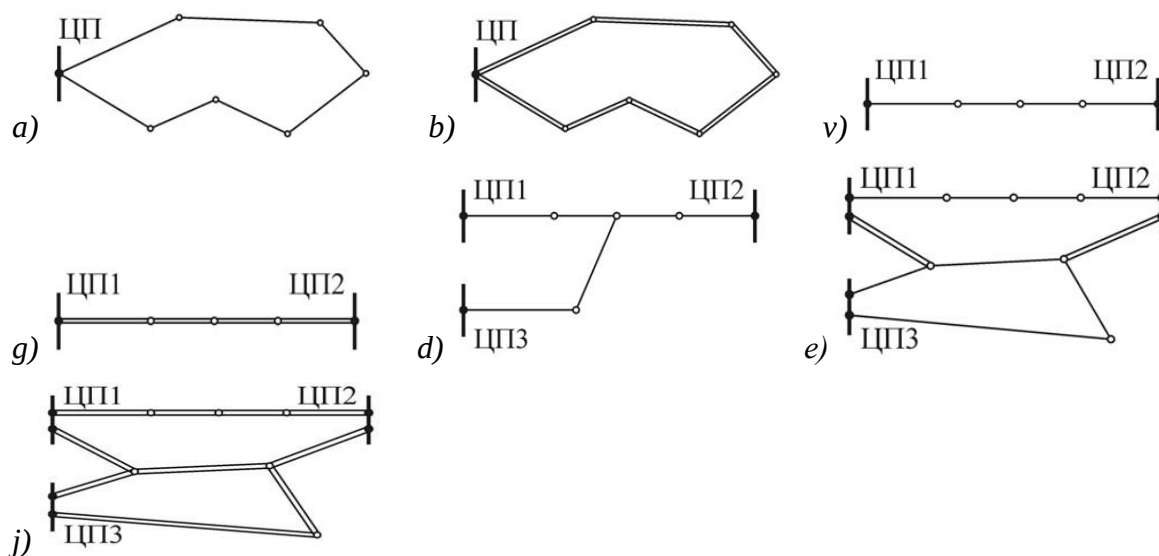


3.1-rasm. Radial tarmoqlar konfiguratsiyasining variantlari: a, v, d – bir yuklama uzelli, bir chiziqli ET; b, g, e – bir yuklama uzelli, ikki chiziqli liniya; j, z – oraliq taqsimlash punktli ET

Radial tarmoqlar oddiyligi uchun eng arzon elektr tarmoqlar bo'lishi mumkin. Shu bilan birgalikda ularning elektr ta'minoti ishonchliligi pastroq bo'ladi. Shu sababli bunday elektr tarmoqlar quvvati kam bo'lgan yuklama

uzellarini ta'minlash uchun, hamda past kuchlanish tomonidan rezervlash imkoni bo'lgan holatlarda foydalaniladi.

Elektr ta'minoti ishonchliligini oshirish uchun ikkilangan radial tarmoqlar ishlatiladi. Xuddi bir zanjirli radial tarmoqlardagidek ikkilangan radial tarmoqlarga bir yuklama uzeli (3.1, *e* -rasm) yoki bir necha yuklama uzeli (3.1, *j* -rasm) ulanishi mumkin. Elektr tarmoqlar ko'pincha tarmoqlangan bo'ladi (3.1, *z* -rasm). Bunday tarmoqlarda iste'molchilarning elektr ta'minotini rezervlash mumkin bo'ladi. Bunday liniyalar ikkizanjirli tayanchlarda yoki alohida tayanchlardagi ikki zanjir ko'rinishda bajariladi. Podstantsiyalarning ulanish sxemalariga ko'ra normal rejimda ular parallel yoki alohida ishlashi mumkin. Yopiq tarmoqlar sxemalarida yuklama uzellari ikki yoki undan ortiq tomondan ta'minlanishi mumkin (TM yoki manbalardan).



3.2-rasm. Yopiq tarmoqlar konfiguratsiyasi variantlari: *a* – bir TM dan ta'minlanuvchi bir zanjirli; *b* – bir TM dan ta'minlanuvchi ikki zanjirli; *v* – ikki TM dan ta'minlanuvchi bir zanjirli tarmoq; *g* – ikki TM dan ta'minlanuvchi ikki zanjirli; *d* – uzelli; *e, j* –ko'pkonturli.

Ikki zanjirli (3.2, *b* -rasm) yoki bittalik (3.2, *a* -rasm) qilib ishlangan, bitta TMga ulangan yopiq halqali konfiguratsiyali tarmoqlar qo'llaniladi. Bunday sxemalarning kamchiliklari ikki zanjirli (3.2, *g* -rasm) yoki bittalik (3.2, *v*-rasm)

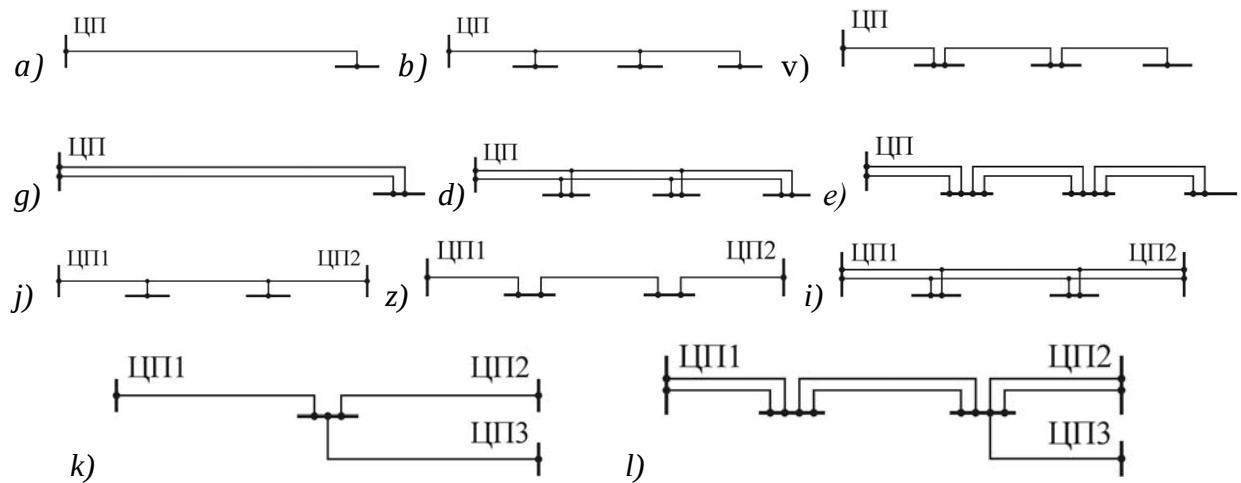
qilib ishlangan, ikkita TMDan ta'minlanuvchi yopiq tarmoqlar qo'llanilishi bilan yo'qotiladi.

Yanada yuqoriroq ishonchlilikka ega bo'lgan tarmoqlar uchta TMDan ta'minlanadi (3.2, *d* -rasm), bunda har bir transformator punkti uchchala ta'minot markazidan ta'minlanadi. Murakkabroq tarmoqlar bir yoki ikki zanjirli (3.2, *e*-rasm) qilib ishlangan bo'lishi yoki to'liq ikki zanjirli (3.2, *j*-rasm) qilib ishlangan bo'lishi mumkin.

Xulosa o'rnida aytishimiz mumkinki, elektr tarmoqlar sxemalarini tanlashda va qurishda iloji boricha oddiyroq tipli konfiguratsiya tanlab, talab darajasidagi ishonchlilikni ta'minlashga intilish kerak bo'ladi, masalan ikki zanjirli radial (3.2, *j,z*-rasm) yoki ikki TMDan ta'minlanuvchi bir yoki ikki zanjirli (3.2, *v, g* -rasm) bo'ladi.

3.2. Podstantsiyalarni elektr tarmoqqa ulanish usullari

Elektr tarmoqlar konfiguratsiyasi (3.1-rasm, 3.2-rasm) podstantsiyani ulanish sxemasini tanlashga asos bo'ladi. Radial elektr tarmoqlarda bitta liniyaga bitta podstantsiya ulanishi mumkin (3.3, *a-rasm*), bir necha podstantsiyalar bo'laklanib ulanishi mumkin (3.3, *b-rasm*), yoki har bir podstantsiyaga liniya kiritib ulanishi mumkin (3.3, *v-rasm*). Parallel liniyalı radial elektr tarmoqlarda ham bitta podstantsiya ulanishi mumkin (3.3, *g-rasm*), bir necha podstantsiyalar ikki liniyadan tarmoqlanib ulanishi mumkin (3.3, *d -rasm*) yoki har bir podstantsiyaga liniya kiritib ulanishi mumkin (3.3, *e-rasm*). Ikki TM orasiga ulangan yopiq konfiguratsiyali liniyada podstantsiyalar tarmoqlanib ulanadi (3.3, *j*-rasm) yoki liniyalar podstantsiyalargacha kirib boradi (3.3, *z-rasm*). Ikkinchi holda har bir podstantsiya oraliq ko'rinishiga o'tadi va quvvatlar oqimi uchun tranzit bo'lib qoladi. Ikki parallel liniyalar ikki TM orasida ulanganida har bir liniyadan tarmoqlanish qilib podstantsiyaga ulanadi (3.3, *i-rasm*). Agar podstantsiya uch va undan ortiq liniyadan ta'minlansa, u uzelliga aylanadi (3.3, *k,l-rasm*).



3.3-rasm. Podstantsiyalarning elektr tarmoqqa ulanish sxemalari: a, b, v – bir liniyalı radial; g, d, e – ikki liniyalı radial; j, z, i – ikki ta’minot markazi bilan; k, l – uch yoki undan ko’proq ta’minot markazi bilan

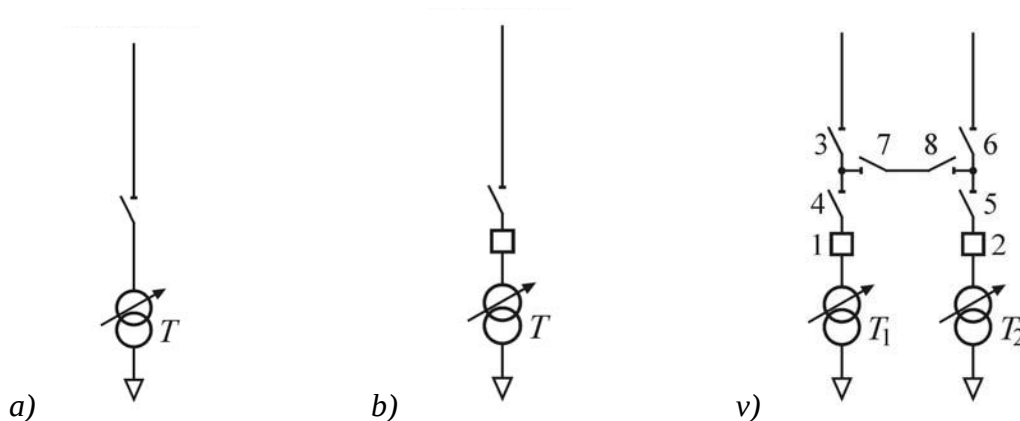
Podstantsiyaning ulanish usuli uning elektr ulanish semasini, kommutatsion apparatlarini va boshqa elektrotexnik qurilmalarini va oxir oqibat ekspluatatsiyadagi qulayligi va texnik – iqtisodiy ko’rsatkichlarini belgilaydi.

3.3. Taqsimlash qurilmalarining tipaviy sxemalari

Taqsimlash qurilmalarining sxemalarini tanlashda ulanishlar sonini (liniyalar va transformatorlar), iste’molchilarni elektr ta’minoti ishonchliligiga qo’yilgan talablar va normal, avariya dan keyin va remont rejimlarida podstantsiya orqali quvvatlarni tranzitini ta’minlash imkoniyatlarini hisobga olish kerak bo’ladi. Podstantsiya sxemasi shunday shakllantirilishi kerakki, uning keyingi bosqichma – bosqich kengayish imkoniyatlari keng bo’lishi kerak. Avariya viy vaziyatlar yuzaga kelganida avtomatika va rele ximoyasi yordamida iste’molchilarni elektr ta’minoti tezkor tiklanish imkoniyatlari bo’lishi kerak.

Kommutatsion apparatlarning xili va soni podstantsiyadagi alohida elementlarining zaralanishida ularni boshqa qurilmalarva ulanishlarni o'chirmasdan navbat bilan ta'mirlash imkoniyatlar saqlanishi kerak bo'ladi.

Podstantsiya sxemalariga sodda, ko'rinimli va samarador bo'lishi talab qilinadi. Bu talablarni amalga oshirish masalasi podstantsiyaning konstruktiv yechimlari unifikatsiyasi hisobiga erishiladi. Bunda taqsimlovchi qurilmalarning tipaviy elektr ulanish sxemalaridan foydalanish qo'l keladi. Kuchlanishi 35–500 kV bo'lgan podstantsiyalarni loyihalashtirishda keng qo'llanilayotgan taqsimlovchi qurilmalarning tipaviy elektr ulanish sxemalarini ko'rib chiqamiz. Eng oddiy sxemalarga liniya - raz'yedinitelli (3.4, *a-rasm*) va yuklama o'chirgichli transformator (3.4, *b-rasm*) blokli sxema misol bo'la oladi. Har bir sxema yechimlarida tavsiya qilingan kuchlanish klasslari ko'rsatiladi.



3.4-rasm. Podstantsiyalarning blokli sxemalari: a – raz'yedinitelli blok (liniya – transformator); b –yuklama o'chirgichli blok (liniya – transformator); v – liniya tomonidan peremichkali va o'chirgichli ikki blok

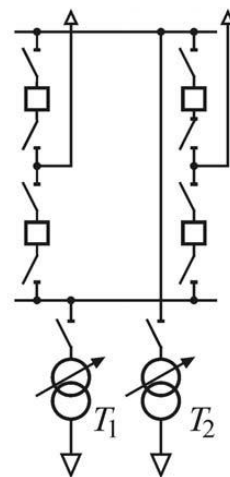
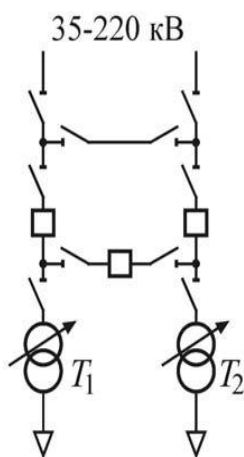
Birinchi sxema liniyaga tarmoqlanishsiz ulangan podstantsiyalar (3.4, *a-rasm*) uchun, agar liniyaning TM tomonidan o'rnatilgan himoyasi transformatorni ham qamrab olgan bo'lsa, yoki transformator ximoyasidan liniyani o'chirishga teleajratuvchi impuls ko'zda tutilgan bo'lsa qo'llanilishi mumkin. Ikkinchi sxema liniya tarmoqlanishlariga ulangan podstantsiyalar uchun ham ishlatiladi (3.3, *b-rasm*). Ikkita parallel liniyalardan ta'minlanuvchi ikki transformatorli

podstantsiyalar uchun transformatorlarning ikki o'chirgich blokili va peremichkali, ikki ketma-ket ulangan raz'yedinitelli sxema qo'llanilishi mumkin (3.4, v-rasm).

Raz'yedinitellarning bunday ulanishi ularni mos bloklari, liniya – transformator, bilan birgalikda remont qilish imkonini beradi. Eksploatatsiya amaliyotida kommutatsiya apparatlari sifatida otdelitellar va qisqa tutashtirgichlar olingan, soddalashtirilgan blokli sxemalarda bajarilgan podstantsiyalar mavjud. Lekin ular qator konstruktiv kamchiliklarga ega va ishlash jarayonida (qisqa tutashuvlarda) yonma-yon joylashgan podstantsiyalarga ham ta'sir ko'rsatishi sababli yangi qurilayotgan podstantsiyalarda qo'llanilishi tavsiya etilmaydi.

3.5-rasmda o'chirgichli remont peremichkali, most ko'rinishidagi sxemalarning bir varianti ko'rsatilgan. Bunday sxema podstantsiyaga kiruvchi radial liniyalarda va ikki tomonlama ta'minlanuvchi liniyalarda qo'llaniladi (3.3, v, z-rasm). Bu yerda to'rtta ulanishda (ikki liniya va ikki transformator) uchta o'chirgich qo'yiladi.

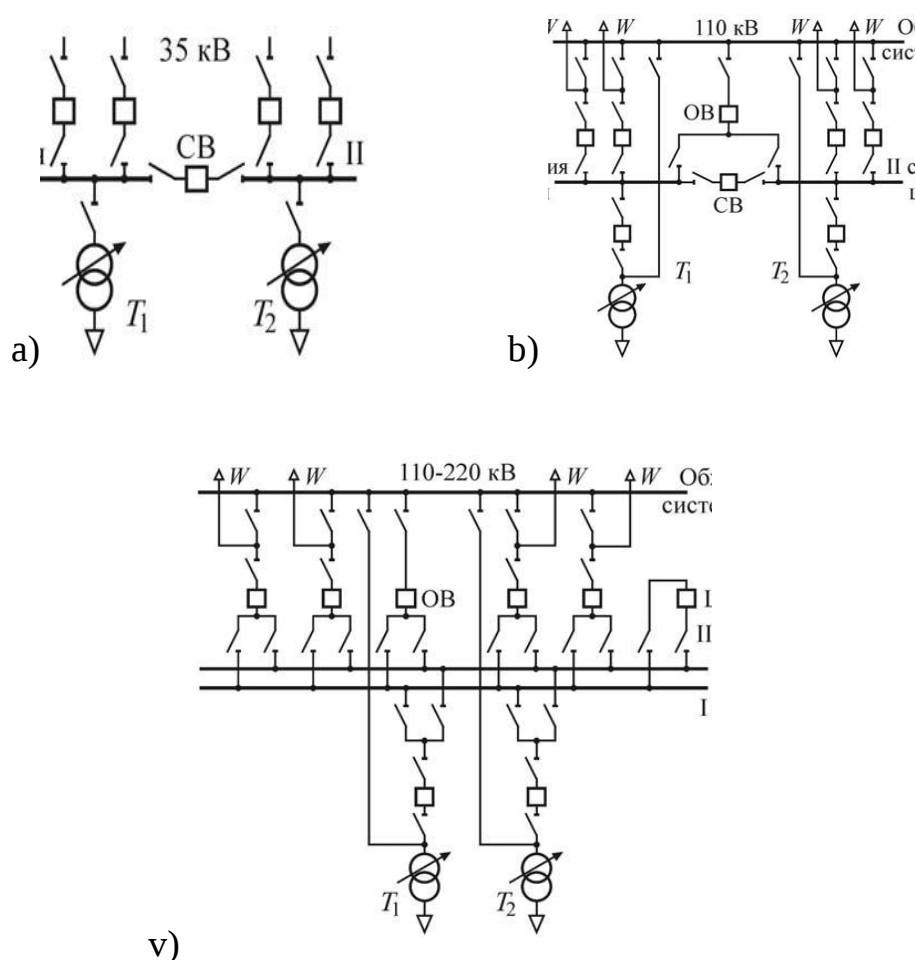
Ikki liniya va ikki transformatorli podstantsiyalarda har bir ulanishga bittadan o'chirgich qo'yiladi. Bunda har bir ulanishdagi ulanish va o'chirish amali



3.5-rasm. Most ko'rinishidagi sxema 3.6-rasm. To'rtburchak tipli sxema

to'rtburchak tipli sxema – ikki o'chirgich vositasida bajariladi (3.6-rasm). Sxemaning kamchiligi shundan iboratki, unda liniyalar sonini oshirib bo'lmaydi. 220 kV kuchlanishda bu sxema transformatorlar quvvati 125 MVA va undan

yuqori bo'lganida tavsiya qilinadi. Liniyalar soni uch va undan ortiq bo'lganida yig'ma shinalar sistemali taqsimlash qurilmalarining turli tipaviy sxemalari tavsiya qilinadi. Eng oddiy sxema bitta sektsiyalovchi shinalar sistemasi bilan bajariladi (3.7, *a-rasm*). Bu sxemada har bir liniya va har bir transformator orasiga sektsiyalovchi o'chirgich (SO') ulangan shinalar sektsiyasiga ulanadi.

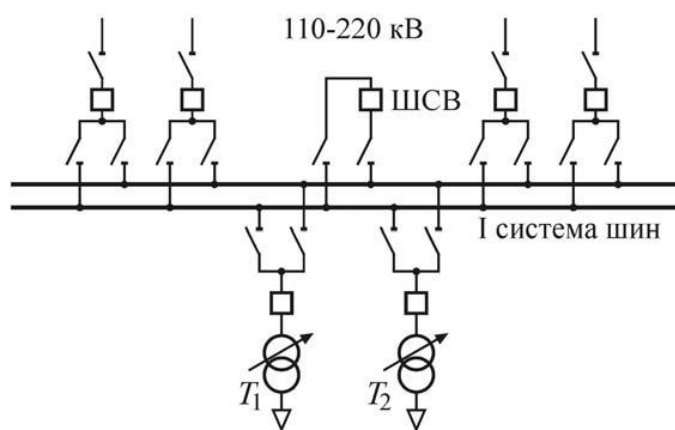


3.7-rasm. Yig'ma shinalar sistemali podstantsiya sxemalari: *a* – bitta sektsiyalangan shinalar sistemasi bilan; *b* – bitta sektsiyalangan va aylanib o'tgan shinalar sistemasi bilan; *v* – ikkita sektsiyalangan va aylanib o'tgan shinalar sistemasi bilan;

Murakkabroq sxemalar ham bir sektsiyalangan shinalar sistemasidan iborat bo'ladi, faqat bu yerda aylanib o'tuvchi shinalar sistemasi qo'shiladi (3.7, *b-rasm*). I va II shinalar sektsiyasi o'zaro sektsiyalovchi o'chirgich yordamida ulangan bo'ladi. Qo'shimcha ravishda aylanib o'tuvchi shinalar sistemasi vositasida mos

ravishda birinchi yoki ikkinchi shinalar sektsiyasidagi raz'yedinitellar vositasida ulash uchun aylanib o'tuvchi o'chirgich qo'yilishi ko'zda tutiladi.

Bunday sxema har qanday ulanishdagi o'chirgichni, remontga chiqarish uchun, o'rniga aylanib o'tuvchi o'chirgich bilan almashinish imkonini beradi. Bu yerda ham xuddi (3.7, a-rasm)dagidek podstantsiyaning normal rejimida faqat bitta shinalar sektsichsiga ulanishi mumkin bo'ladi. Tavsiyanomalarga muvofiq bitta sektsiyalangan va aylanib o'tgan shinalar sistemali sxemada bitta sektsiyaga faqat bitta radial liniya ulanishi lozim. 13 tagacha bo'lgan liniyalarda bu shart bajarilmagan bo'lsa, ikkita sektsiyalangan va aylanib o'tgan shinalar sistemasi qo'llaniladi (3.7, v-rasm). Bunda I va II ishchi shinalar sistemasi o'zaro shinaulovchi o'chirgich yordamida bir biriga ulanadi. Aylanib o'tuvchi o'chirgich mos raz'yedinitellar vositasida aylanib o'tgan shinalar sistemasini I va II ishchi shinalar sistemasi bilan ulanishini ta'minlaydi. Bu sxemaning bitta sektsiyalangan shinalar sistemali sxemadan farqi shundaki, bu yerda har bir ulanish (liniya, transformator) podstantsiyaning rejim talablariga ko'ra mos raz'yedinitellari vositasida I va II ishchi shinalar sistemasi bilan ulanishini ta'minlaydi. Aylanib o'tuvchi o'chirgich, xuddi bitta sektsiyalangan shinalar sistemasi sxemasidagidek har qanday ulanishdagi o'chirgichni remontga chiqarish imkonini beradi.

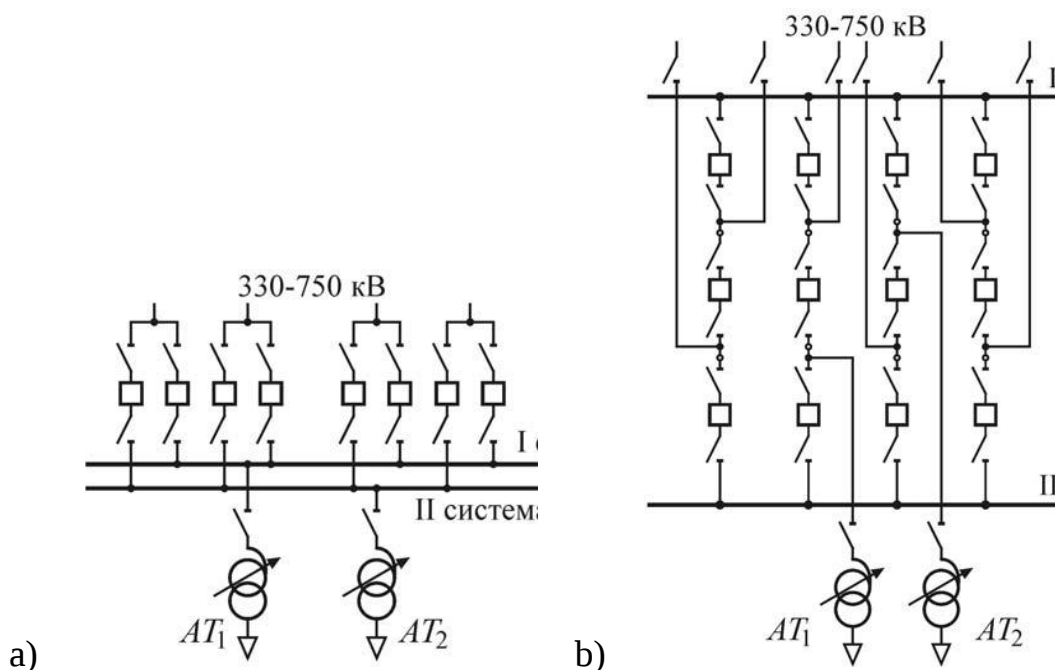


3.8-rasm. Ikkita sektsiyalanmagan shinalar sistemali podstantsiyaning sxemasi.

Butun xizmat muddatlari davomida ta'mirlanmaydigan zamonaviy elegazli va vakuumli o'chirgichlarning qo'llanilishi podstantsiya taqsimlash qurilmalari

sxemalarining ham soddalashishiga olib keladi, ya'ni ikki shinalar sistemali, aylanib o'tgan shinalar sistemasiz sxemalarni tavsiya qilinishi mumkin (3.8-rasm). 13 tadan ortiq bo'lgan liniyalarda (3.7, v –rasm) I va II ishchi shinalar sistemasiga qo'shimcha ravishda ikkinchi aylanib o'tuvchi o'chirgich ko'zda tutiladi.

3.9, a-rasmda 220-500 kVli uchta liniyalı podstantsiyalarda liniyani ikki o'chirgich orqali ulangan varianti tavsiya etilgan transformator – shinalar sxemasi keltirilgan.

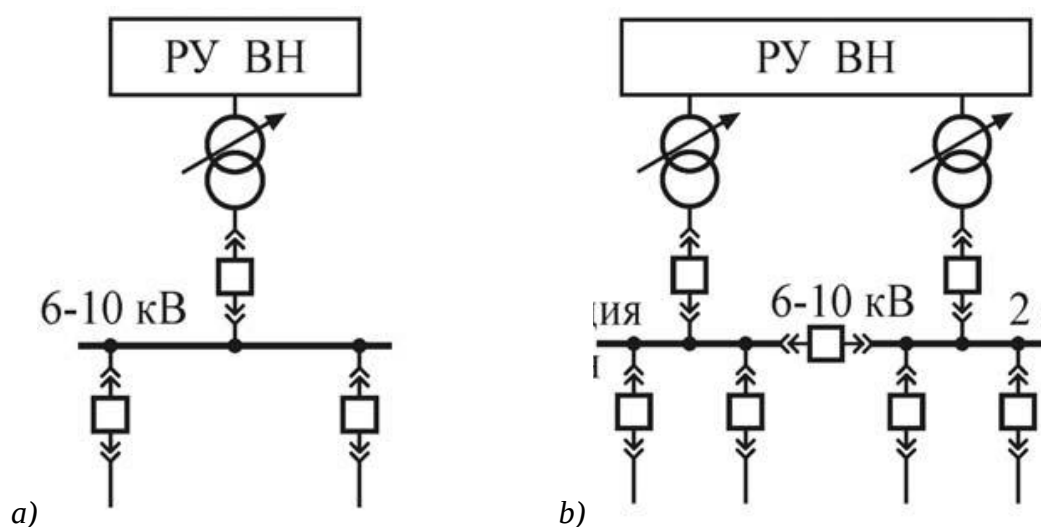


3.9-rasm. 220-750 kV kuchlanishli podstantsiyalar uchun sxemalar:

a – liniyada ikkita o'chirgichli; b – liniyada bir yarimta o'chirgichli sxema.

Liniyada bir yarimta o'chirgichli sxemada har bir ulanishga 1,5 o'chirgich to'g'ri keladi. (3.9, b-rasm). Bunday sxemalar kuchlanishi 220–750 kV bo'lgan taqsimlash qurilmalarida qo'llaniladi. Bu yerda ham I va II shinalar sistemasi orasidagi bog'lanish saqlanadi. 3.10 va 3.11 rasmlarda 35 – 500 kV kuchlanishli podstantsiyalarning o'rta va past kuchlanishli taqsimlash qurilmalariga ulangan 10(6) kV kuchlanishli taqsimlash qurilmalarining eng xarakterli sxemalari keltirilgan. Bitta transformatorli bo'lsa, bitta sektsiyalanmagan shinalar sistemasi

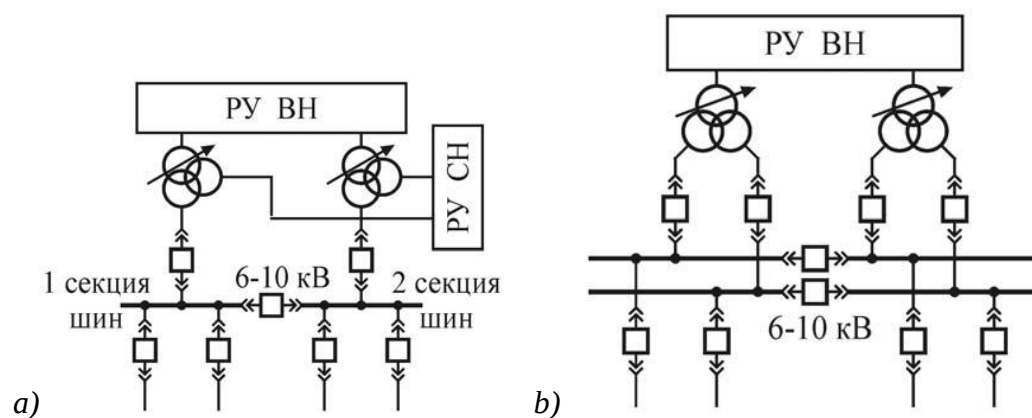
(3.10 , *a*- rasm), ikki transformatorli bo'lsa – bitta sektsiyalangan shinalar sistemasi (3.10, *b*,-rasm, 3.11, *a*-rasm) tavsiya etiladi.



3.10-rasm. 6,10 kV li taqsimlash qurilmalarning sxemalari:

a – bitta sektsiyalanmagan shinalar sistemasi bilan;

b,– bitta sektsiyalangan shinalar sistemasi bilan.



3.11-rasm. Past kuchlanishli taqsimlash qurilmalarning sxemalari:

a – bitta sektsiyalangan shinalar sistemasi bilan;

b – ikkita sektsiyalangan shinalar sistemasi bilan.

Agar podstantsiyada chulg'amlari bo'laklangan transformatorlar o'rnatilgan bo'lsa, ikkita sektsiyalangan shinalar sistemasi yaratiladi, ya'ni to'rtta shinalar sektsiyasi hosil qilinadi (3.11, *b-rasm*).

Tekshirish uchun savollar

1. Elektr tarmoqlarning konfiguratsiyalari nimaga bog'liq?
2. Elektr tarmoq sxemalariga qanday talablar qo'yiladi?
4. Iste'molchilar elektr ta'minoti ishonchliligi bo'yicha qanday kategoriyalarga bo'linadi?
5. Qanday iste'molchilar I, II va III kategoriyalarga kiritiladi?
6. Elektr tarmoq sxemalarining moslashuvchi (gibkosti *схемы*) deganda nima tushuniladi?
7. Podstantsiyalarning qanday ulanish sxemalarini bilasiz?
8. Taqsimlash qurilmalarining qanday ulanish sxemalarini bilasiz?
9. Taqsimlash punkti podstantsiyadan qanday farqlanadi?
11. Taqsimlash qurilmalari sxemalariga qanday talablar qo'yiladi?
12. Podstantsiyalarning qanday blokli ulanish sxemalarini bilasiz?
13. Shinalar sektsiyasi shinalar sistemasidan qanday farqlanadi?
16. Aylanib o'tuvchi shinalar sistemasining vazifasini ayting?
17. 6,10 kV li taqsimlash qurilmalarning sxemalari tarkibi qanday bo'ladi?
18. Past kuchlanishli taqsimlash qurilmalarning tarkibini ayting?
19. 220 va 500 kV kuchlanishli taqsimlash qurilmalarning sxemalarining qanday xususiyatlari bor?
20. 35 va 110 kV kuchlanishli taqsimlash qurilmalarning sxemalarining qanday xususiyatlari bor?
21. Transformatorsiz podstantsiyalari sxemalarining qanday xususiyatlari bor?
22. Sektsiyalovchi shinalar sistemasining vazifasini ayting?

4 bob. ELEKTR UZATISH TARMOQLARINING KONSTRUKTIV ISHLANISHI VA KATTALIKLARI

4.1. Havo elektr uzatish tarmoqlari

Elektr uzatish tarmoqlari elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sistemasining markaziy elementi hisoblanadi. Elektr uzatish tarmoqlari odatda havo orqali o'tuvchi va kabel tarmoqlar ko'rinishda bajariladi. Katta quvvatli yirik ishlab chiqarish korxonalarida tok o'tkazgichlar va elektrostantsiyalarda generatorlardan chiqish tarmoqlarida shina o'tkazgichlari, ishlab chiqarish va turar joylardagi ichki tarmoqlarda izolyatsiyali ichki tarmoqlar qo'llaniladi.

Elektr uzatish tarmoqlari tipi va konstruktsiyasini tanlashda uning vazifalari, joylashish o'rni, nominal kuchlanishi, uzatilayotgan quvvat miqdoriga, elektr energiyasini uzatish masofasiga, elektr iste'molchilarning joylashishiga, klimatik sharoitlarga, erning tuproq sharoitlariga, o'tkazgich simlar kesimiga, elektr xavfsizligi talablariga, texnik estetikasiga, xududdagi kommunikatsiyalarning zichligiga va boshqa qator omillarga e'tibor qaratiladi. Elektr uzatish tarmog'ining samaradorlik ko'rsatkichlari yuqori bo'lishi zarur. Yuqorida keltirilgan omillar elektr uzatish tarmoqlarining loyiha variantlarini ishlab chiqishda hisobga olinadi.

Havo elektr uzatish liniyalar deb o'tkazgich simlari ochiq havoda joylashgan, izolyatorlarga mahkamlangan va tayanchlarga osilgan hamda elektr energiyasini uzatish va taqsimlash uchun mo'ljallangan konstruktsiyaga aytiladi. Havo elektr uzatish liniyalari atmosferaning bevosita ta'sirlari (shamol, yog'in

sochinlar, harorat o'zgarishlari, muzlash) mavjud bo'lgan turli xil iqlim zonalarida va geografik rayonlarda quriladi.

Shu sababli havo elektr uzatish tarmoqlari atmosfera iqlim sharoitlarini, havoning ifloslanish holatini, tarmoqni yotqizish sharoitlarini, xududning xususiyatini (aholi zichligi, shahar, qishloq, korxona xududi) va boshqa sharoitlarni hisobga olgan holda quriladi.

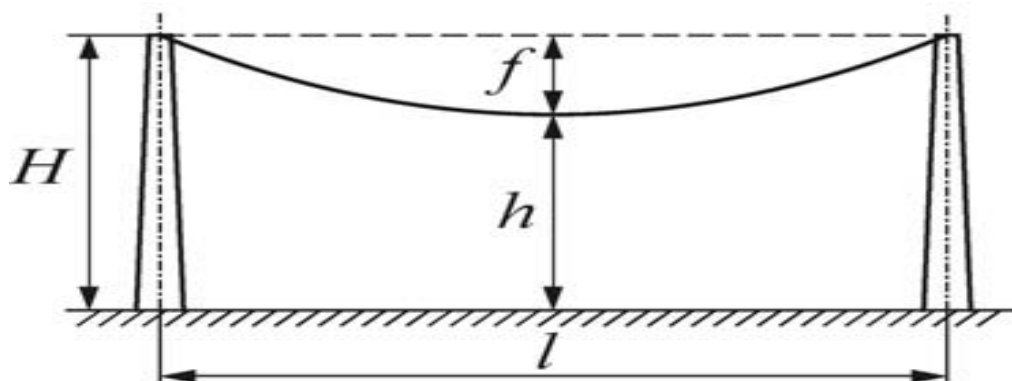
Elektr uzatish tarmoqlarini ekspluatatsiya sharoitlarining tahlilidan kelib chiqib, konstruksiyasi va materiallari qator talablarni qondirishi zarur: iqtisodiy samarali va iqtisodiy ko'rsatkichlari asoslangan bo'lishi, yetarli elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lib, iste'molchilar uchun kerakli elektr energiyasini o'tkaza olishi, kuchli shamol va muzlash sharoitlarida simlari yetarli mexanik mustahkamlikka ega bo'lishi, ochiq atmosfera ta'sirida karroziyaga, kimyoviy ta'sirlarga chidamli bo'lishi, tarmoq simlari elektr va ekologik xavfsiz bo'lishi, minimal joy olishi zarur.

Havo elektr uzatish tarmoqlarining konstruktiv ishlanishi. Elektr uzatish tarmoqlarining asosiy konstruktiv elementlarga tayanchlar, izolyatorlar va liniya armaturalari, o'tkazgich simlari va yashinqaytargich trosslar kiradi. Tayanchlarning konstruksiyasi bo'yicha bir zanjirli va ikki zanjirli havo elektr uzatish tarmoqlari bo'ladi. Elektr tarmoq trassasida to'rttagacha liniya o'rnatilishi mumkin.

Liniya trassasi – elektr uzatish tarmoqlari (liniyasi) o'rnatilayotgan er polosasi. Trassadagi bitta yuqori kuchlanishli tarmoq uchta faza o'tkazgich simlari komplektini birlashtiradi, past kuchlanishli tarmoqda – uchta , to'rtta, beshta o'tkazgich simlardan iborat bo'lishi mumkin. Umuman havo liniyasining konstruktiv qismi (4.1 rasm) tayanchlar tipi, tayanchlar orasidagi masofa, gabarit o'lchamlari, fazalar konstruksiyasi, izolyatorlar soni bilan xarakterlanadi.

Havo elektr uzatish tarmoqlari proleining (yonma-yon tayanchlari orasidagi masofa) uzunligi – l iqtisodiy me'zonlar bo'yicha tanlanadi. Havo liniyasining prolet masofasi ortishi bilan simlarning osilish masofasi ham ortadi,

elektr tarmoqning yerga nisbatan balandligini (h) ta'minlash uchun tayanchlarning balandligi (H) oshiriladi (4.1 - rasm), bunda tayanchlar va izolyatorlar soni kamayadi.



4.1. rasm. Bir zanjirli havo liniyasining gabarit kattaliklarining asosiy xarakteristiklari.

Liniya gabariti – elektr tarmoq o'tkazgich simlarining eng pastki nuqtasidan yergacha bo'lgan masofa. Havo liniyasining gabariti suv, yo'l polotnasida harakatlanayotgan odamlar va texnikaning xavfsiz harakatlanishi ta'minlanishi lozim. Havo liniyasining gabariti nominal kuchlanishga va xudud sharoitlariga bog'liq bo'ladi (aholi turar joylari, aholi turar joylari bo'lmagan joylar).

Tarmoq faza simlari orasidagi masofa asosan nominal kuchlanish kattaligiga bog'liq bo'ladi. Havo liniyasi faza simlarining konstruksiyasi fazadagi simlar soni bilan aniqlanadi. Agar faza o'tkazgichi bir necha simlardan iborat bo'lsa, faza simlari bo'laklangan deyiladi. Yuqori va o'tayuqori kuchlanishli tarmoqlar bo'laklangan simlarda bajariladi. Bunda 220 kV kuchlanishda faz simlari ikki-uch, 500 kV kuchlanishda esa faza simlari uch-to'rt simga bo'laklanadi (O'zbekiston energosistemasida). Rossiya tarmoqlarida 330 (220) kV kuchlanishda ikki – uch sim, uch – to'rt sim – 500 kV kuchlanishda , to'rt – besh sim – 750 kV kuchlanishda qo'llaniladi.

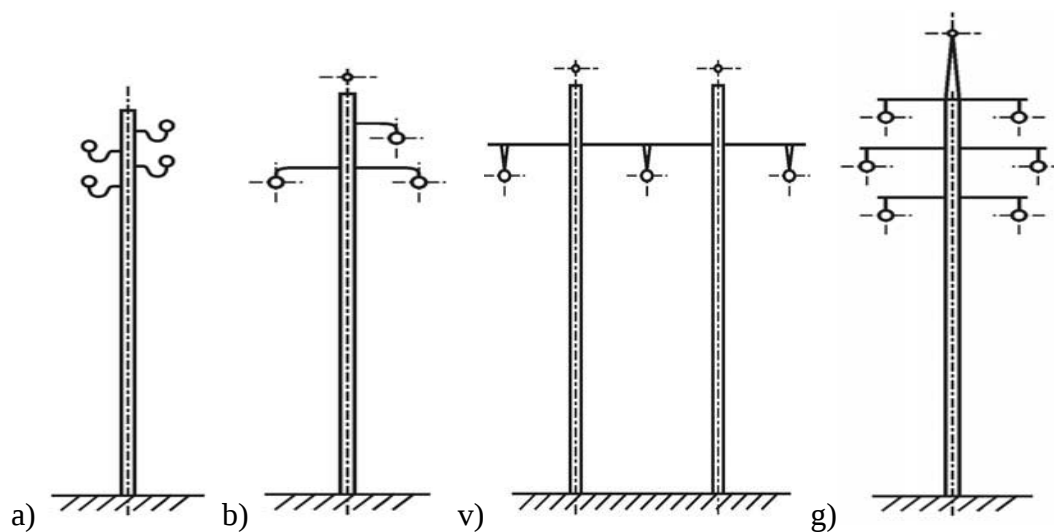
Havo elektr uzatish tarmoqlari tayanchlari. Havo elektr uzatish tarmoqlarining tayanchlari o'tkazgich simlarini er sathidan, suvdan, biror injener

konstruktsiyalardan yetarli masofada, xavfsiz balandlikda ushlab turish uchun xizmat qiladi. Tayanchlarda yana (kuchlanish 110 kV dan yuqori bo'lganida) tarmoqni yashinning to'g'ridan-to'g'ri urilishidan va bunda hosil bo'ladigan o'takuchlanishlardan ximoya qilish uchun po'lat trosslar tortiladi. Tayanchlarning tiplari va konstruktsiyalari turlicha bo'ladi. Vazifasiga va havo elektr uzatish tarmoqlari trassasida joylashishiga ko'ra tayanchlar oraliq va anker bo'lishi mumkin. Tayanchlar yana materialiga, bajarilishiga, o'tkazgich simlarning mahkamlanish usuliga ko'ra ham turlanadi. Tayanchlar materialiga ko'ra yog'och, temirbeton, metallardan tayyorlangan bo'ladi. Oraliq tayanchlar eng oddiy konstruktsiyali bo'lib, o'tkazgich simlarni trassaning to'g'ri uchaskalarida ushlab turish uchun xizmat qiladi. Ular tarmoq tayanchlarining ko'pchilik qismini (80–90 %) tashkil qiladi. O'tkazgich simlar tayanchlarga osma izolyatorlar girlyandi yoki shtirli izolyatorlar vositasida tayanchlarga mahkamlanadi. Oraliq tayanchlar asosan tarmoq o'tkazgich simlarining o'z og'irligini ko'tarib turadi. Normal ish rejimlarida ular o'tkazgich simlarining o'z og'irligi, troslar va izolyatorlar, vertikal osilib turgan osma izolyatorlar girlyandi yuklarini ko'tarib turadi.

Anker tayanchlar tarmoq o'tkazgich simlarini mahkam o'rnatilishi kerak bo'lgan joylarda o'rnatiladi; ular bo'lishi mumkin oxirgi, burilish joyi tayanchi, oraliq va maxsus. Anker tayanchlar o'tkazgich simlarning bo'ylama va ko'ndalang tortilish kuchlariga (tortiluvchi izolyatorlar shodasi gorizontal joylashadi) hisoblanadi, o'tkazgich simlar izolyatorlarga mahkam o'rnatiladi va tarmoqdagi barcha zo'riqishlarni o'ziga oladi, shuning uchun anker tayanchlar konstruktsiyasi murakkabroq va narhi ham qimmatroq bo'ladi. Anker tayanchlar faqat kerak bo'lgan joylarga o'rnatiladi va ularning tayanchlar sonidagi salmog'i minimal bo'ladi. Xususan oxirgi va burilishlarda o'rnatilgan anker tayanchlar o'tkazgich simlar va troslarning doimiy tortilish kuchi ostida bo'ladi: bir tomonlama yoki trassaning burilish burchagiga proporsional bo'lgan kuchlar; Oraliq anker tayanchlar trassaning to'g'ri tortilgan uchastkalarida o'rnatiladi va tayanch yaqinoda sim uzilishida yoki tayanch qulab tushganida yuzaga keladigan o'tkazgich simlarning bo'ylama, bir tomonlama tortilish kuchlariga hisoblanadi.

Maxsus tayanchlar quyidagi tipli bo'lishi mumkin: o'tkazuvchi - trassaning katta daryolar, kommunikatsiyalar, tog' daralari, boshqa trassalar bilan kesishish joylarida prolet masofasi katta bo'lganida o'rnatiladi; shaxobchalanuvchi – asosiy liniyadan bir necha liniyani chiqarib ketish joylariga o'rnatiladi; transpozitsion tayanchlar – tanchda mahkamlangan o'tkazgich simlarning joylashish tartibini o'zgartirish uchun o'rnatiladi.

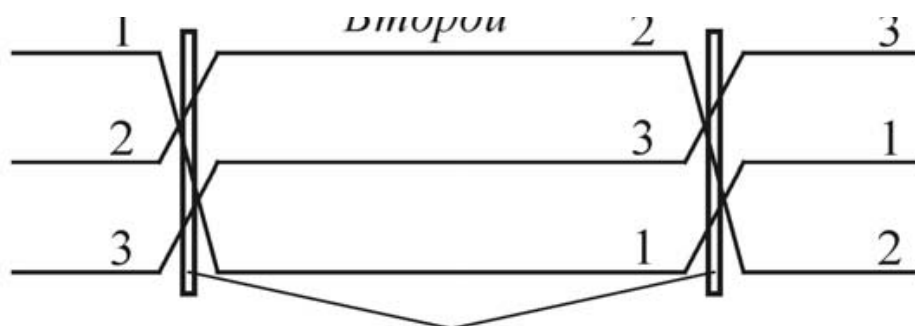
Havo liniyalaridagi tayanchlar yana o'tkazgich simlarining zanjirlari soni va faza simlarining o'zaro joylashuviga ko'ra ham turlanadi. Bunda tayanchlarga o'rnatilgan simlar uchburchakning uchlariga, gorizontaal bir qatorga, teskari archa shaklida yoki olti tomonli bochka shaklida mahkamlanishi mumkin. Tayanchlar (liniya) bir yoki ikki zanjirli konstruksiyada bo'lishi mumkin (4.2 rasm). Faza o'tkazgich simlarining o'zaro simmetrik joylashmaganligi ularning induktiv va sig'im qarshiliklarining turlicha bo'lishiga olib keladi.



4.2. rasm. O'tkazgich simlar va trosdarning tayanchlarda joylashishi: *a, b* – uchburchak shaklda; *v* – gorizontaal ; *g* – teskari archa ko'rinishda;

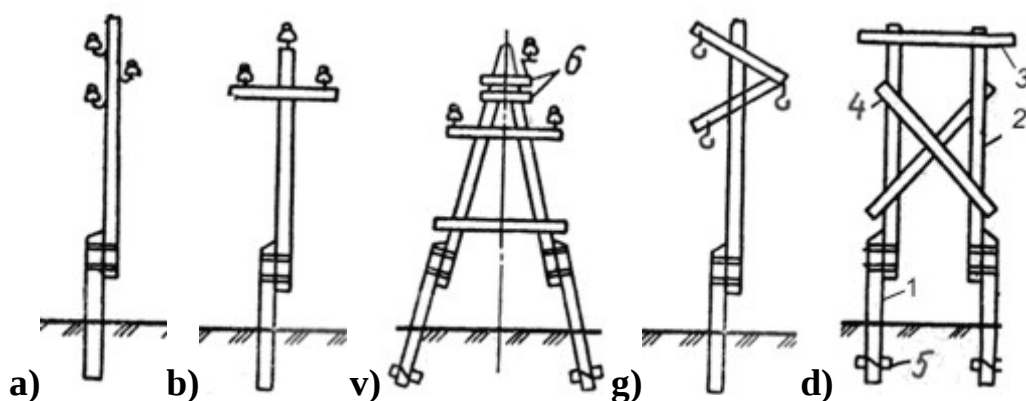
Uch fazali sistema simmetriyasini saqlash, ya'ni faza simlarining induktiv va sig'im parametrlarini bir xil bo'lishini ta'minlash uchun kuchlanishi 110 kV dan yuqori va energiyani uzatish masofasi 100 km dan ortiq bo'lgan faza o'tkazgich simlarining o'zaro simmetrik joylashmaganligi ularning induktiv va sig'im qarshiliklarining turlicha bo'lishiga olib keladi. Elektr tarmoqda maxsus tayanchlar yordamida o'tkazgich simlarning joylari almashtiriladi

(transpozitsiyalanadi). To'liq transpozitsiya tsiklida har bir o'tkazgich sim (faza) liniya uzunligi bo'ylab bir tekis, bir birini joyini oladi (4.3 rasm).



4.3. rasm O'tkazgich simlarning transpozitsiya sxemasi

Yog'och tayanchlar (4.4 rasm) kuchlanishi 110 kV gacha bo'lgan liniyalarda qo'llaniladi. Ular o'rmon zonalarida yog'och materiali arzon bo'lgan xududlarda ishlatiladi. Hozirda qurilayotgan tarmoqlarda asosan temir-beton konstruksiyali tayanchlar qo'llanilmoqda va yog'och tayanchlar kam uchraydi. Yog'och tayanchlarning asosiy elementlaridan biri uning yerga o'rnatish joyi bo'ladi, u temirbeton asosga mahkamlanadi.

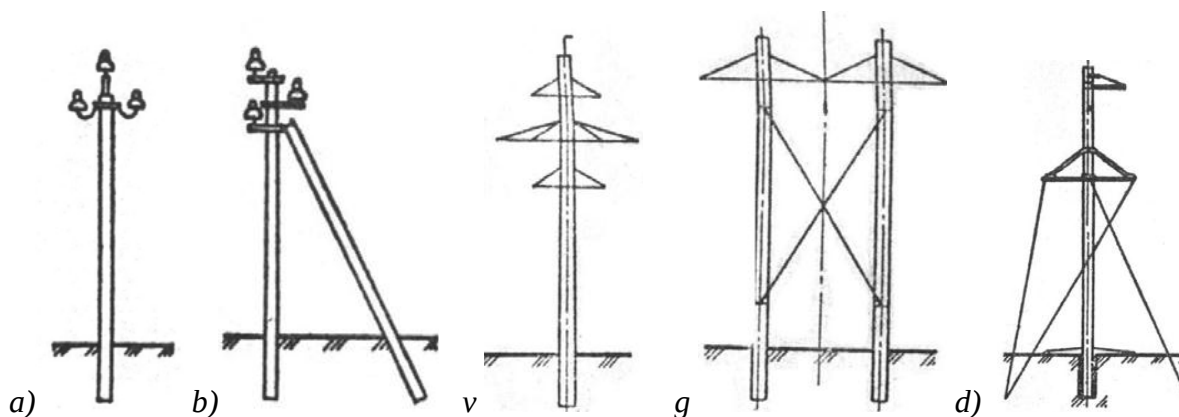


4.4 rasm. Yog'och tayanchlarning tiplari: a – 0,38–10 kV kuchlanishli oraliq tayanch; b – 0,38–35 kV kuchlanishli oraliq tayanch; v – 6–35 kV kuchlanishli burilishda o'rnatiladigan burchak oraliq tayanchi; g – 35 kV kuchlanishli oraliq tayanch; d – 35–220 kV kuchlanishli yakka turuvchi oraliq tayanch

Tayanchda yana tayanch ustuni 2, traverslar 3, qo'shimcha mahkamlovchi karkaslar 4, travers osti bo'laklari 6 va rigellar 5 bo'ladi. Yog'och tayanchlarning

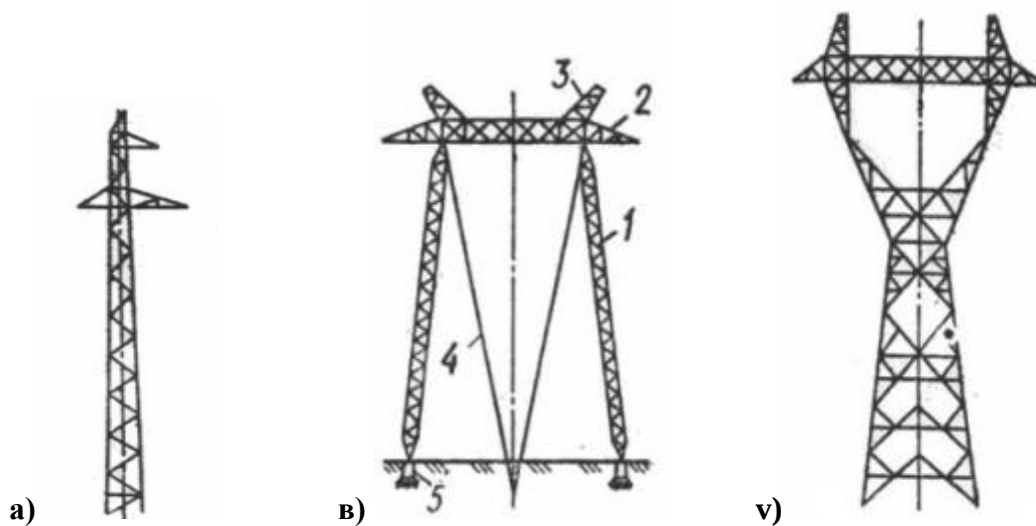
tayyorlanishi engil, arzon, tashishda qulay bo'lib, asosan 0,4 kV li tarmoqlarda qo'llaniladi. Ularning asosiy kamchiligi – shundaki, yog'och ekspluatatsiya davrida tez emiriladi, chirydi, xizmat muddatlari nisbatan qisqa, material qo'shimcha antiseptikda ishlov berishni talab qiladi. Yog'och tayanchlarni temir-beton pristavkalarda o'rnatishi ularning xizmat muddatini 20-25 yilgacha oshiradi.

Temir-beton tayanchlar (4.5 rasm) eng keng tarqalgan, past va yuqori kuchlanishlar pog'onalarida qo'llaniladigan tayanchlardir. Ular yakka turuvchi (oraliq) va taranglab turuvchi (anker) bo'ladi. Temir-beton tayanchlar yog'och tayanchlarga nisbatan mustahkamroq, uzoqroq xizmat qiladi, ekspluatatsiyasi engilroq, metall tayanchlarga nisbatan arzonroq bo'ladi.



4.5 rasm. Temir-beton tayanchlar tiplari: *a* – 6–10 kV kuchlanishli oraliq tayanch; *b* – 6–35 kV burchakli kuchlanishli oraliq tayanch; *v* – 110–220 kV kuchlanishli ikki zanjirli oraliq tayanch; *g* – 35–220 kV kuchlanishli anker–burchakli ikki zanjirli oraliq tayanch; *d* – 220–500 kV kuchlanishli bir zanjirli portal oraliq tayanch.

Metall tayanchlar (4.6 rasm) kuchlanishi 35 kV va undan yuqori liniyalarda qo'llaniladi. Metall tayanchlarning asosiy elementlariga ustunlari 1, traverslar 2, trosostoykalar 3, ottyajkalar 4 va fundament 5. Metall tayanchlar mustahkam va ishonchli, ko'p metall sarf bo'ladi, o'rnatish uchun maxsus fundament tayyorlanishi kerak, konstruksiyasi katta joy oladi, ekspluatatsiyasi davrida korroziyadan saqlanish uchun bo'yoq qilinishi kerak.

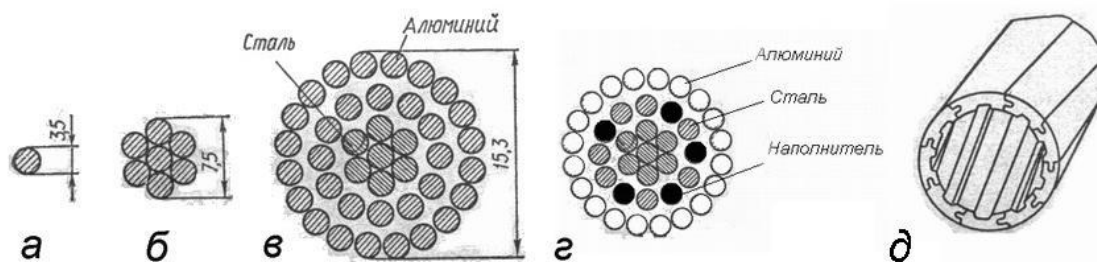


4.6 rasm. Metall tayanchlarli havo EULning qo'llanilishia va tiplari: *a* –35–220 kV kuchlanishli bir zanjirli minora tipli oraliq tayanch; *b* –220–500 kV kuchlanishli tortib turuvchi portal oraliq tayanch; *v* –500 kV kuchlanishli erkin turuvchi oraliq tayanch («ryumka» tipli).

Metall tayanchlar, elektr tarmoqlarda yog'och va temirbeton tayanchlarni o'rnatish iqtisodiy samarasiz va texnik jihatdan murakkab bo'lsa, ishlatiladi. Daryo va boshqa gabaritli to'siqlardan o'tishda, tog' qoyalari oralari va daralardan o'tishda, havo elektr uzatish liniyalarida tarmoqlanish bo'lsa, metall tayanchlar qo'llaniladi. Energosistemada havo elektr uzatish liniyalarini montaj amalyotida metall va temirbeton tayanchlar barcha kuchlanishlar uchun unifikatsiya qilingan va ularni seriyali ishlab chiqarish yo'lga qo'yilgan va elektr tarmoqlarni arzon va tezkor o'rnatish imkoniyati bor.

Havo elektr uzatish tarmoqlarining o'tkazgich simlari. Havo elektr tarmog'ining o'tkazgich simlari elektr energiyasini o'tkazish va masofaga uzatish uchun xizmat qiladi. Havo elektr tarmog'ining o'tkazgich simlari yaxshi elektr o'tkazuvchanlikka (elektr qarshiligi past), yetarli mexanik mustahkamlikka va korroziyaga chidamli bo'lishi, arzon, montaj va ekspluatatsiyasi engil bo'lishi zarur. Shu maqsadda o'tkazgich simlari nisbatan arzon rangli metallardan (alyumin, mis va alyuminiy qotishmalari) tayyorlanadi.

Mis yaxshi o'tkazgich, mustahkamligi yuqori bo'lishi bilan birga narhi yuqori bo'lganligidan maxsus joylarda va asosan ichki elektr tarmoqlarda qo'llaniladi. Ularning qo'llanilishi kontakt tizimlarda, og'ir muhit sharoitli korxonalarda, portlash xavfi bo'lan binolarda yo'l qo'yiladi. Havo elektr uzatish tarmoqlarida asosan izolyatsiyalanmagan alyuminiy po'latli simlar qo'llaniladi. Konstruktiv ishlanishiga ko'ra o'tkazgich simlar bir va ko'p tolali, maxsus kuchaytirilgan, ichi g'ovak bo'lishi mumkin (4.7 rasm). Bir tolali simlar asosan po'lat, mis va alyumin simlar past yuklamali va kuchlanishli (1000 Vgacha) tarmoqlarda ishlatiladi. Simlarga mexanik mustahkamlik va egiluvchanlik berish uchun ko'p tolali po'latli alyumin simlar qo'llaniladi. Po'lat tolasi ko'p tolali o'tkazgich simlarning o'q chizig'i bo'ylab joylashtiriladi va simning mexanik mustahkamligini oshiradi. Mexanik mustahkamlik talablari bo'yicha A va AKP markali alyuminiy simli o'tkazgich simlar 35 kV li kuchlanishgacha elektr tarmoqlarda qo'llaniladi (4.7 rasm). 6–35 kV kuchlanishli tarmoqlarda o'tkazgichining kesim yuzasi 25 mm^2 va undan yuqori bo'lganida po'latli alyuminiy simlar ishlatiladi, 35 kV kuchlanishdan yuqori kuchlanishli tarmoqlarda faqat po'latli alyuminiy simlar qo'llaniladi.



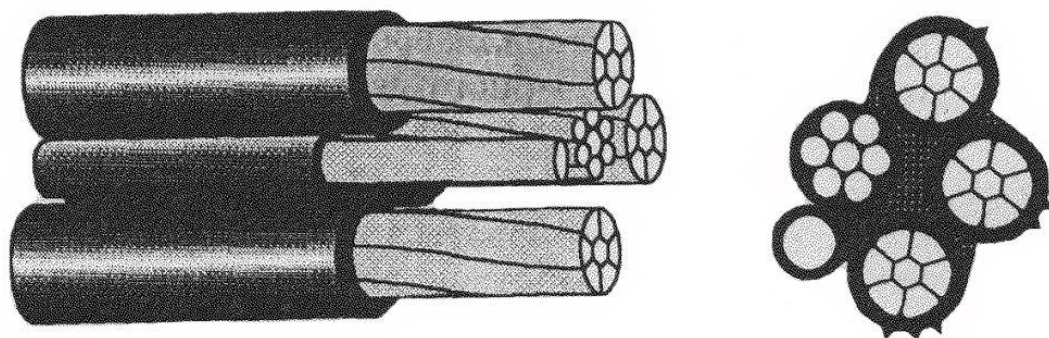
4.7 rasm. Havo EUT izolyatsiyalanmagan simlarining konstruksiyalari: *a* – birtolali; *b* – ko'ptolali; *v* – po'lat alyuminiyli; *g* – to'ldirgichli ko'ptolali; *d* – g'ovak

Po'latli alyuminiy ko'p tolali simlar o'q chizig'idagi po'lat sim kesimi o'tkazgich sim kesimining 3-4 % ni tashkil qilsada, mexanik yuklamaning 40 % ni o'ziga oladi, lekin o'tkazuvchanligi kamaymaydi, chunki o'zgaruvchan tokda tok siqib chiqarish effekti natijasida o'tkazgichning sirtidan ko'proq oqib o'tadi. Bunda po'lat simdan deyarli tok o'tmaydi. Po'latli alyuminiy simlar katta proletli,

og'ir atrof muxit sharoitli zonalarda keng qo'llaniladi. Po'latli alyuminiy simlar markasida alyuminiy va po'lat simlarning kesimi alohida ko'rsatiladi. Masalan AC70/11bo'lsa, alyuminiy simlar 70 mm^2 va po'lat simlarning kesimi 11 mm^2 bo'ladi. Simlar korroziyaga qarshi qoplamali yoki o'zagi to'ldiruvchili bo'lishi mumkin, masalan ACKC, ACKP, ACK – xuddi AC simday faqat o'zagi plenka bilan qoplangan.

Izolyatsiyalanmagan o'tkazgich simlarning ko'ndalang kesim yuzalari standart bilan aniqlangan (16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300...800 mm^2). O'tkazgich sim materiali sarfini oshirmasdan sim diametrini oshirish uchun g'ovak simlar yoki to'ldirgichli simlar qo'llaniladi (4.7, g, d rasm). Bu yo'l bilan o'tkazgich simlari sirtidan hosil bo'ladigan toj razryadi isroflari kamaytiriladi. G'ovak simlar asosan 220 kV va undan yuqori kuchlanishli taqsimlash qurilmalarida oshinovka uchun ishlatiladi.

Alyuminiy qotishmalaridan tayyorlangan o'tkazgich simlar (AN – issiqlik ishlov berilmagan, AJ – issiqlik ishlov berilgan) alyuminiy simlarga nisbatan yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo'ladi, lekin o'tkazuvchanlik xususiyatlari saqlanadi, amalda alyuminiy simlar bilan bir xil o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi. Bunday simlar ustida muz katlami qalinligi 20 mm gacha bo'ladigan, kuchlanishi 1 kV dan yuqori bo'lgan havo elektr uzatish tarmoqlarida qo'llaniladi.



4.8 rasm. O'zini tutib turuvchi izolyatsiyali simning konstruktiv bajarilishi

Kuchlanishi 0,38–10 kV bo'lgan havo elektr uzatish tarmoqlarida o'zini ko'tarib turuvchi izolyatsiyali simlar ko'pincha qo'llanilmoqda. 380/220 V

kuchlanishli tarmoqlarda faza o'tkazgich simlari izolyatsiyali bo'ladi, nol sim esa izolyatsiyalanmagan bo'ladi. Izolyatsiyalangan faza simlari ko'tarib turuvchi nol sim atrofiga o'ralgan bo'ladi (4.8 rasm).

Ko'tarib turuvchi sim po'latli alyuminiy sim bo'ladi, faza simlari esa – alyuminiy bo'ladi. Faza simlari yorug'lika chidamli termostabilizatsiyali qoplamaga ega bo'ladi. Izolyatsiyali simlarni asosiy afzalligi elektr tarmoqda simlar izolyatorsiz tayanch armaturasiga mahkamlanadi, simlarni o'rnatishda tayanchlar balandligi to'la foydalaniladi, liniya o'tgan joylarda daraxt shoxlarini kesish zarurati yo'q.

Yashinqaytargich troslar uchqun so'ndirish oraliqlari, razryadniklar, kuchlanishni chegaralovchilar va yerga ulovchi qurilmalar bilan bir qatorda havo elektr uzatish tarmoqlari va gabaritli qurilmalar va inshaotlarni atmosfera o'takuchlanishlaridan (yashin tushishidan) ximoya qiladi. Troslar faza simlaridan yuqoriroqqa, kuchlanishi 110 kV va undan yuqori bo'lgan havo elektr uzatish tarmoqlarida o'rnatiladi (osiladi). Yashinqaytargich troslarning o'rnatilishi atmosferada momaqalldiroq-yashinlarning intensivligi, tayanchlar materiali va xududning o'ziga xos tomonlariga bog'liq bo'lib, EUO'Q (PUE) ga binoan reglamentlanadi. Yashinqaytargich troslar sifatida odatda markasi S 35, S 50 va S 70 bo'lgan tsinklangan po'lat kanatlar olinadi, agar troslar yuqori chastotali aloqa uchun ham ishlatilganida - po'latli alyuminiy simlar olinadi. 220, 500 kV li liniyalarda troslar tarmoqning barcha tayanchlariga uchqun oralig'i bilan shuntlangan izolyatorlar vositasida mahkamlanadi. 110 kV li liniyalarda troslar temirbeton va metall tayanchlarga izolyatorsiz ulanishi mumkin.

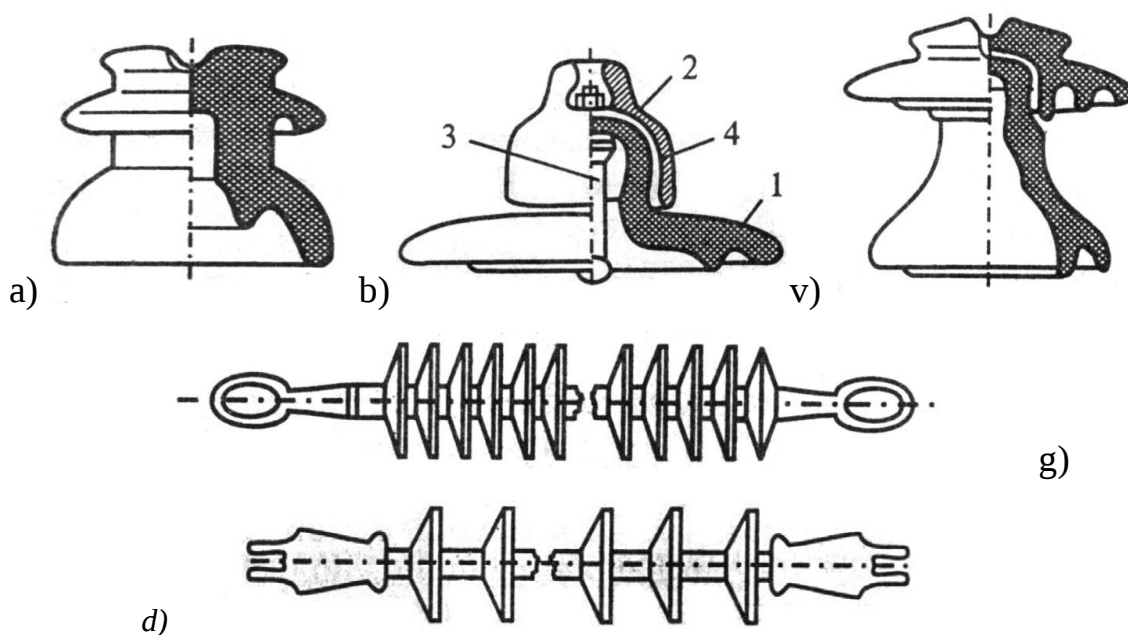
Havo liniyalarining izolyatorlari. Izolyatorlar tok o'tkazgich simlarni yerga o'rnatilgan tayanchlardan izolyatsiya qilish uchun va tayanchga mahkamlash uchun xizmat qiladi. Izolyatorlar farfordan, toblangan shishadan yoki rezina-plastik materiallardan tayyorlanadi. Ularning materiali elektr va mexanik mustahka, atmosfera ta'sirlariga chidamli bo'lishi zarur. Eng ko'p izolyatorlar

to'blangan shishadan tayyorlanadi chunki ular zararlansa mayda bo'laklarga parchalanib ketadi va tarmoqda nosozlik tez topilishi mumkin bo'ladi.

Konstruktsiyasi, tayanchlarga mahkamlanish usuliga ko'ra izolyatorlar shtirli va osma bo'lishi mumkin. Shtirli izolyatorlar (4.9, *a*, *b* rasm) kuchlanishi 10 kV (ayrim hollarda, yuklama past bo'lib simlarning kesim yuzasi kam bo'lsa, 35 kV gacha) gacha kuchlanishli liniyalarda ishlatiladi.

Shtirli izolyatorlar tayanchlarga kryuklar yoki shtirlar vositasida o'rnatiladi. Osma izolyatorlar (4.9, *v* rasm) kuchlanishi 35 kV va undan yuqori bo'lgan havo elektr uzatish liniyalarida qo'llaniladi. Ular farfor yoki shishadan tayyorlangan izolyatsiyalovchi qismidan 1, chuyan qoplamasidan 2, metall sterjendan 3, tsementli bog'lamdan 4 iborat bo'ladi.

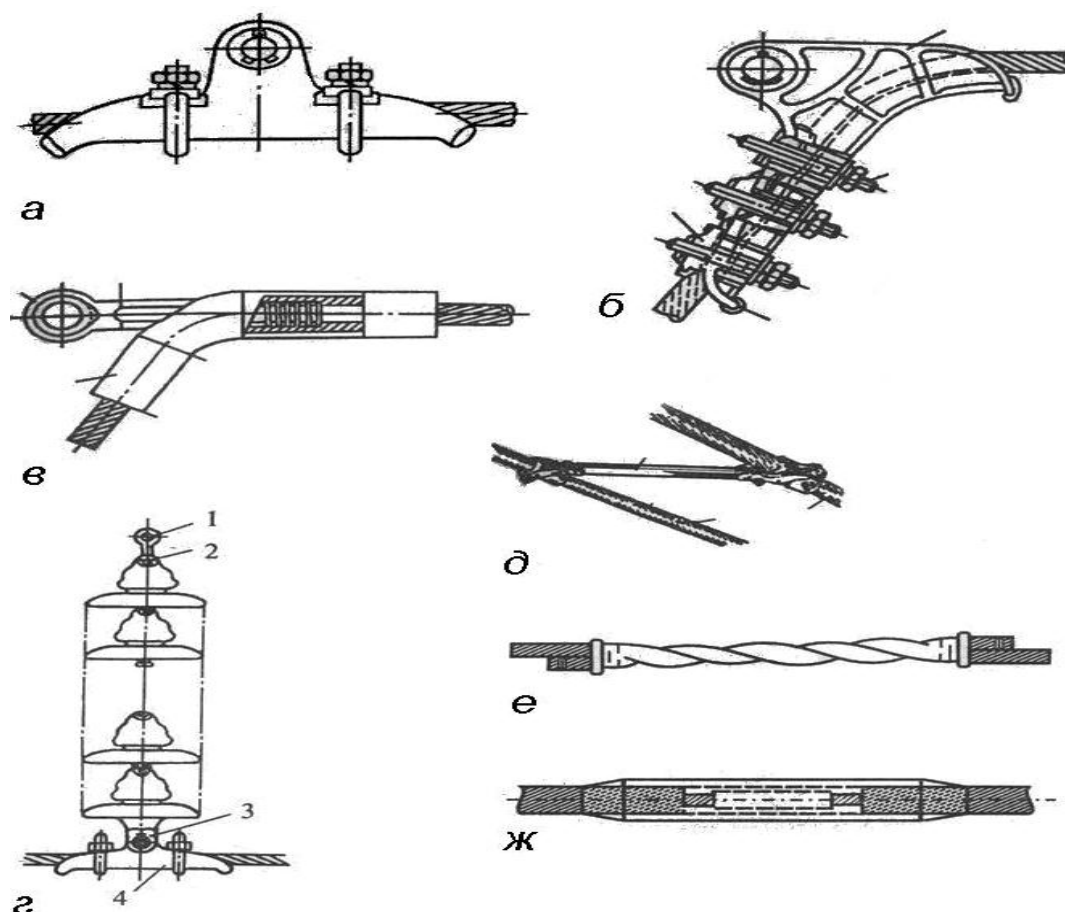
Izolyatorlar oraliq tayanchlarda shoda ko'rinishda yig'iladi, anker tayanchlarda esa - tortilib turuvchi bo'ladi (4.9, *g* rasm): Izolyatorlar shodasidagi izolyatorlar soni kuchlanishga, tayanch tipi va materialiga atmosferaning ifloslanish holatiga bog'liq bo'ladi. 35 kVli liniyalarda – 3–4 izolyator, 110 kVli liniyalarda – 7–8 izolyator, 220 kV da – 12–14; yog'och tayanchli liniyalarda, yashinga chidamli bo'lganligi uchun izolyatorlar soni bittaga kamaytiriladi; tortilib turuvchi izolyatorlar shodasida izolyatorlar 1-2 taga ko'proq bo'ladi.



Ris. 4.9. Havo tarmoqlarining izolyatorlar: *a* – 6–10 kV li shtirli; *b* – osma; *v* – 35 kV li shtirli; *g*, *d* – sterjenli polimer izolyatorlar

Oxirgi yillarda polimer materiallardan izolyatorlar ishlab chiqilib va ishlab chiqarish sharoitida qo'llanilmoqda (4.9, *g* rasm). Bunday izolyatorlarning konstruksiyasi shisha plastik sterjenli element bo'lib, uning usti ftoroplast yoki kremniyorganik rezinadan tayyorlangan qobirg'alar bilan qoplangan. Sterjenli izolyatorlar osma izolyatorlarga nisbatan kam og'irlikka va past narxga ega bo'lib, toblangan shisha izolyatorlarga nisbatan yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo'ladi. Asosiy muammo bunday izolyatorlarni uzoq muddat (30 yildan ortiq) ekspluatatsiyasini ta'minlashdir.

Liniya armaturasi o'tkazgich simlarni izolyatorlarga va izolyatorlarni tayanchlarga mahkamlash uchun xizmat qiladi va quyidagi elementlardan iborat bo'ladi: qiskichlar, ulagichlar, masofasini ushlagichlar va boshqalar (4.10 rasm).



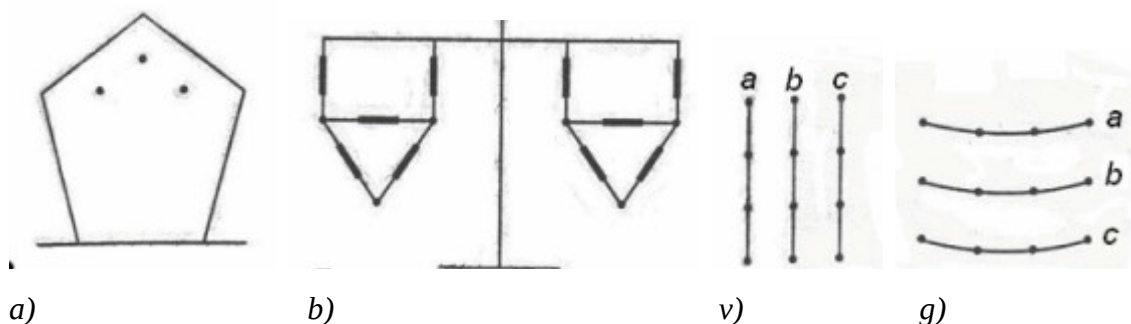
4.10 -rasm. Havo liniyalarining liniyaviy armaturasi: *a* – tutib turuvchi zajim; *b* – Boltli taranglovchi tutqich (qisqich); *v* – presslovchi (ponali) boltli qisqich; *g* – tutib turuvchi izolyatorlar shodasi; *d* – masofada tutqich; *e* – oval ulagich; *j*– presslangan ulagich

Tutib turuvchi qisqichlar havo elektr uzatish tarmoqlarining oraliq tayanchlariga o'tkazgich simlarni yaxshi mahkamlanmasdan osilib turishi uchun xizmat qiladi. (4.10, *a*-rasm). Anker tayanchlarda o'tkazgich simlarni yaxshi mahkamlangan holda tutib turish uchun tutib turuvchi zajimlar va girlyandlar ishlatiladi (4.10, *b*, *v* -rasm). Maxsus armatura (serg'alar, quloqchalar, skobalar, xomutlar, qisqichlar) izolyatorlar shodasini tayanchlarga mahkamlash va tutib turish uchun xizmat qiladi. Tutib turuvchi izolyatorlar shodasi (4.10, *g* -rasm) oraliq tayanchlarda osma izolyatorning 2 tayanchning traversasiga yuqori qoplamasiga boshqa tomonidan qo'yiladigan sirg'a 1yordamida mahkamlanadi. Xalqa 3 izolyatorlar shodasining pastki tarelkasiga tutib turuvchi qisqichni 4 mahkamlash uchun ishlatiladi.

220 kV va undan yuqori kuchlanishli, faza simlari bo'laklangan tarmoqlarda qo'llaniladigan masofani ushlab turgich (4.10, *d* -rasm) bo'laklangan faza simlarining bir biriga tegib turmasligi, o'ralib qolmasligi, faza simining ekvivalent diametri kattaligini saqlab turish uchun xizmat qiladi.

Oval va presslab ulagichlar faza simlarining uchatkalarini bir biriga tutashtirish uchun kerak bo'ladi. (4.10, *e*, *j*-rasm). Oval ulagichlar da simlar bir biriga yaxshilab o'raladi yoki qisiladi; presslovchi ulagichlarda esa po'latli alyuminiy simlarning po'lat tolasi alohida presslanadi va alminiyy simlarham ustidan presslanadi.

Elektr energiyasini masofaga uzatish texnikasi va texnologiyalarning takomillashib borishi natijasida turli xil faza simlari orasidagi masofa kamaytirilgan va shunga mos ravishda elektr tarmoqning induktiv qarshiligi va trassa kengligi kamaytirilgan kompakt elektr uzatish tarmoqlari variantlari ishlab chiqilmoqda (4.11 -rasm). "Qoplab oluvchi" tipli tayanchlardan foydalanilganida simlar orasidagi masofaning kamayishi bo'laklangan faza simlari konstruktsiyasining "qoplab oluvchi portal" ichida joylashishi natijasida erishiladi (4.11, *a*-rasm), yoki tayanch ustunining bir tomonida joylashtirilishi natijasida erishiladi (4.11, *b* -rasm). Bo'laklangan faza simlarining turli xil noan'anaviy joylashish variantlari taklif qilingan va amalda foydalanilmoqda (4.11, *v,g* -rasm).



4.11 -rasm. Kompakt EUT ning faza simlarining joylashishi: *a* – qoplanib turganga oʻxshash tayanchga oʻrnatilgan; *b* – faza simlariaro izolyatsiyalovchi ajratkichi boʻlgan ikki zanjirli liniya; *v* – simllari tekislik boʻylab joylashgan; *g* – parabolik joylashgan;

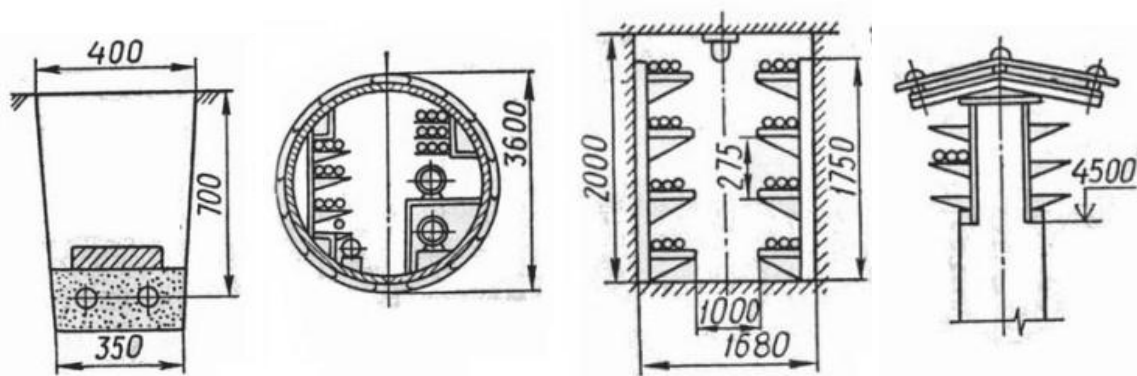
Kompakt liniyalar tarmoq trassasi kengligini kamaytirish bilan birga katta miqdordagi quvvatlarni (8–10 GVt gacha) masofaga uzatish uchun qulay. Bunday liniyalar yana er sathida kamroq elektr maydon kuchlanganligi hosil qiladi va yana qator texnik afzalliklarga ega boʻladi.

Kompakt liniyalarga yana faza simlari boʻlaklangan noanʼanaviy konfiguratsiyali, oʻz-oʻzini kompensatsiyalovchi boshqariluvchi liniyalar kiradi. Ular ikki zanjirli liniya boʻlib, turli zanjirlarining bir xil fazadagi simlari juftlab siljirilgan boʻladi. Bu yerda zanjirlarga faza boʻyicha siljirilgan kuchlanish beriladi. Liniya parametrlari fazalar farqi burchagini siljitib boshqaruvchi maxsus vositalar yordamida rejim oʻzgarishlari hisobiga amalga oshiriladi.

4.2. Kabel elektr uzatish tarmoqlari

Kabel liniyalar (KL) – maʼlum bir usulda yotqizilgan, bir yoki va bir necha kabellardan iborat boʻlgan, elektr energiyasini masofaga uzatish uchun xizmat qiluvchi konstruksiyadan iborat liniyadir (4.12-rasm). Kabel liniyalari, maʼlum bir sabablarga koʻra, masalan xududda havo elektr uzatish liniyasi tarmoq simlari bir biriga yoki boshqa konstruksiya va inshaotlarga halaqit byerganligidan, texnika xavfsizligi nuqtai nazaridan, iqtisodiy meʼzonlar boʻyicha maqsadga

muvofig bo'lmasa, arxitektura loyihalashtirish va boshqa sabablarga ko'ra qurish mumkin bo'lmagan holatlarda, qo'llaniladi.



4.12-Rasm. Kabellar va kabel inshaotlarini qurish:

a – yer yuzasigi transheya; *b* – kollektor; *v* – tunnel; *g* – estakada;

Kabel tarmoqlari ko'proq yirik korxonalar va shahar elektr tarmoqlarida (ichki elektr ta'minoti sistemasida), boshqa kommunikatsiyalardan alohida joylashtirish uchun, elektr energiyasini yirik suv to'siqlaridan olib o'tish uchun qo'llaniladi. Kabel tarmoqlarining havo elektr uzatish tarmoqlariga nisbatan afzalliklari quyidagilardan iborat bo'ladi: atmosferaning zararli ta'sirlaridan xoli, trassaning yopiqligi tufayli trassaga begonalar kira olmaydi, zararlanish holatlari kam, ishonchliligi yuqori, liniyaning kompaktligi, shahar va sanoat rayonlari elektr ta'minotini kengaytirish imkoniyatlari bor. Lekin kabel tarmoqlari shu kuchlanishli havo elektr tarmoqlarining narhidan yuqori (6-35 kVli liniyalarda kabel liniyalari o'rtacha 2-3 marta 110 kVli liniyalarda esa 5-6 marta qimmatroq bo'ladi). Montaji, ekspluatatsiyasi va remonti ham murakkabroq bo'lib, maxsus brigadalar xizmat ko'rsatishini talab qiladi.

Kabel tarmoqlari tarkibiga quyidagilar kiradi: kabel, ulovchi va kabel oxiriga qo'yiladigan muftalar, qurilish konstruktsiyalari, mahkamlovchi elementlar va boshqalar. Kabel – zavodda tayyorlanadigan tayyor maxsulot bo'lib, tok o'tkazuvchi sim tolalari ikki yoki undan ortiq murakkab izolyatsiyaga ega bo'ladi va elektr, namlikdan, kimyoviy ta'sirlardan, mexanik zararlanishdan, elektromagnit maydonlardan ximoyalangan bo'ladi. Kuch kabellari bittadan to'rttagacha kesim yuzasi 1,5–2000 mm² bo'lgan alyuminiy yoki mis sim tolalariga ega bo'ladi. 16

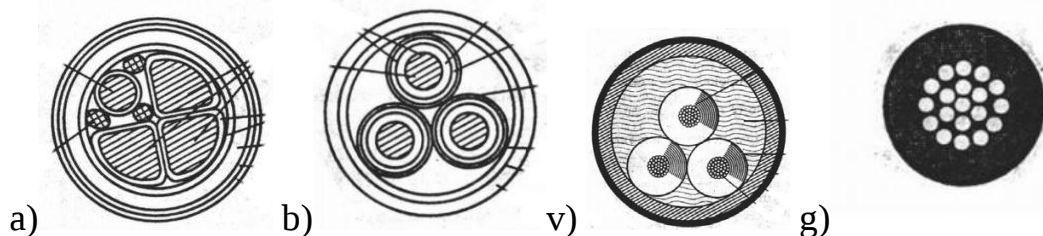
mm² kesim yuzagacha kabellar bir tolali, undan yuqori kesim yuzalilari esa ko'p tolali qilib ishlanadi, Rossiya standartlari bo'yicha Xitoyda, Yevropada, O'zbekistonda ham barcha kuch kabellari asosan egiluvchan, ya'ni ko'p tolali qilib ishlanadi. Faza o'tkazgich simlarining kesimi shakli bo'yicha yumaloq, segment shaklli yoki sektorli bo'ladi. 1 kVgacha kuchlanishli kabellar odatda to'rt tolali (uchtasi faza simlari va nol sim) 6-35 kV kuchlanishli kabellar – uch tolali, a kuchlanishi 110–220 kV kabellar bir tolali konstruksiyada ishlangan bo'ladi. Ximoya qiluvchi qobiqlari qo'rg'oshindan, alyuminiydan, rezina va polixlorvinildan tayyorlangan bo'ladi. 35 kV kuchlanishli kabellarning har bir faza simining tolalari elektr maydonini bir xil bo'lishi va issiqlikni yaxshi o'tkazishi uchun qo'shimcha qo'g'oshin qoplamaga ega bo'ladi.

Plastmassa izolyatsiyali va qoplamali 10-35 kV kuchlanishli kabellarda har bir faza simi yarimo'tkazgich qog'oz qoplama bilan ekranlanadi va kabel ichidagi elektr maydon tekislanadi. 10-35 kV kuchlanishli kabellarning elektr musthkamligini oshirish uchun plastmassa izolyatsiyasi va qoplamasi ustidan qo'shimcha elektr izolyatsiyalovchi belbog' qo'yiladi. Po'lat tasma yoki tsinklangan po'latdan tayyorlangan kabel bronyasini atrof muxit (suv) ta'sirida karroziya bo'lishidan ximoya qilish uchun ustidan bitum va mel tarkibli qoplamali kabel matosi bilan o'raladi.

110 kV va undan yuqori kuchlanishli kabellarda qog'oz izolyatsiyaning elektr mustahkamligini oshirish uchun ular gaz yoki moy bilan yuqori bosim ostida to'ldiriladi, yana kabellar sovutiladi. Kabelning marka va belgilanishida uning konstruksiyasi, nominal kuchlanishi, tola simlarining soni va kesim yuzasi haqidagi ma'lumotlar ko'rsatiladi. Kuchlanishi 1 kV gacha bo'lgan to'rt tolali kabellarning to'rtinchi tolasining (nol sim) kesim yuzasi faza simlarining kesim yuzasidan ko'ra kichikroq bo'ladi. Masalan, kabel VPG-1–3×35+1×25 – kabel uchta 35 mm² kesim yuzali va to'rtinchi tolasining kesimi 25 mm² bo'lgan mis simli, polietilen (P) izolyatsiyali 1 kV kuchlanishli, polixlorvinil qoplamali (V), bron qoplamasi bo'lmagan, tashqi ximoya qobiqsiz, (G) –kabelga mexanik ta'sir bo'lmagan holda bino ichki qismida, kabel kanalida, tunnellarda yotqizishga

mo'ljallangan kabel; AOSB-35–3×70 markali kabel – kesimi 70 mm² bo'lgan uchta alyuminiy tolali kabel (A), izolyatsiyasi 35 kV kuchlanishga mo'ljallangan, har bir tolasi alohida osvintsovka qilingan (O), qo'rg'oshin qoplamali (S), po'lat tasmalar bilan o'ralgan bronya qoplamali (B), tashqi ximoya qoplamali – yerda transheyada yotqizishga mo'ljallangan kabel; OSB-35–3×70 markali kabel – xuddi yuqoridagidek kabel, faqat mis simli.

Ba'zi bir kabellarning konstruksiyasi 3.13-rasmda keltirilgan. 3.13, *a*, *b* – rasmda 10 kV gacha kuchlanishli kuch kabeli ko'rsatilgan. 380 V kuchlanishli to'rt tolali (3.13, *a* -rasm) kabel quyidagi elementlardan iborat: 1 – tok o'tkazuvchi faza simlari; 2 – qog'ozli faza simlari izolyatsiya belbog'li; 3 – ximoyaviy qoplama; 4 – po'lat bronya; 5 – ximoyalovchi qoplama; 6 – qog'ozli to'ldirgich; 7 – nol sim tolasi. Kuchlanishi 10 kV qog'oz izolyatsiyali kuch kabeli (4.13, *b* -rasm) quyidagi elementlardan iborat: 1 – tok o'tkazuvchi simlari; 2 – faza izolyatsiyasi; 3 – umumiy belbog'li izolyatsiya; 4 – ximoyaviy qoplama; 5 – bronyaosti yostig'i; 6 – po'lat bronya; 7 – ximoyaviy qoplama; 8 – to'ldirgich.



4.13 rasm. Kuch kabellari: *a* – 380 V kuchlanishli to'rt tolali kabel; *b* – 35 kV kuchlanishli uchtolali kabel; *v* – yuqori bosimli moy to'ldirilgan kabel; *g* – bir tolali plastmassa izolyatsiyali.

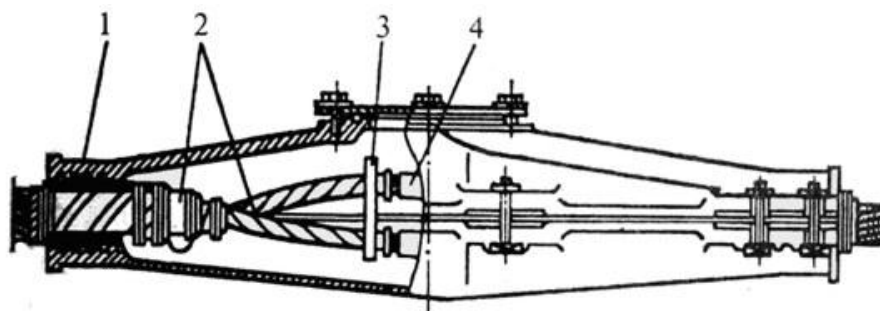
Kuchlanishi 35 kV kuch kabeli 4.13, *v* –rasmda ko'rsatilgan: 1 – yumaloq kesim yuzali to'rt o'tkazuvchi sim tolalari; 2 –yarimo'tkazuvchi ekranlar; 3 – fazali izolyatsiya; 4 – qo'rg'oshinli qoplama; 5 – yostiqcha; 6 – kabel matosidan qoplama; 7 –po'lat bronya; 8 – ximoya qoplamasi.

4.13.v –rasmda kuchlanishi 110–220 kV, o'rta va yuqori bosimli moy to'ldirilgan kabel ko'rsatilgan. Moyning yuqori bosimi kabel izolyatsiyasida havo paydo bo'lishiga va ionizatsiya jarayoni boshlanishiga yo'l qo'ymaydi va

ionizatsiya natijasida kabel izolyatsiyasini teshilishini oldi olinadi. Bu yerda uchta bir tolali kabel yuqori bosim ostida moy bilan to'ldirilgan truba (quvur) (4) ichiga joylashtirilgan.

Tok o'tkazuvchi tola maxsus izolyatsiyali suyuqlikka shimdirilgan qog'oz izolyatsiya bilan qoplangan mis simdan (6) iborat; izolyatsiya ustidan, kabelni trubadan tortib olishda mexanik zararlanmasligi uchun, perforatsiyali tasma va bronza tolali ekran 3 qo'yilgan. Po'lat quvur ustidan ximoyalovchi qoplama 5 bilan yopilgan. Polixlorvinil izolyatsiyali, uch, to'rt va besh tolali (4.13, e) yoki bir tolali (4.13, d-rasm) kabellar keng tarqalgan. Kabellar ma'lum bir uzunlikda kesib olinib g'altaklar ko'rinishda o'raladi. Ularning uzunligi kesim yuzasi va kuchlanishiga bog'liq bo'ladi (o'rtacha 500 -800 metr bo'ladi).

Kabellarni yotqizishda zarurat bo'lsa, kabellar ulovchi muftalar vositasida bir biriga ulanadi. Muftalar ulanish joyining germetikligini ta'minlaydi. Kabellarni ulash uchun ularning oxiri ulashga tayyorlanadi, izolyatsiyasi va ximoyalovchi qoplamalari ochilib sim tolalari ochiladi, ulovchi zajimlar o'rnatiladi.



4.14 –rasm. Kuchlanishi 1 kV gacha bo'lgan ulovchi mufta: 1-mufta, 2- kabel, 3-tolalarni ajratkich, 4 –ulovchi element.

0,38–10 kV kuchlanishli kabellarni ulanish joyini mustahkamligini saqlab turish, korroziya va mexanik zararlanishlardan ximoyalash uchun ular mufta ichiga joylashtiriladi. 35 kV kuchlanishgacha kabellarni ulashda po'lat, shishaplastikli po'latdan, alyuminiy qotishmalaridan va plastikli korpuslar ishlatiladi. 4.14, a-rasmda uch tolali kabelni kabelni muftada ulanishi ko'rsatilgan. Ulanadigan kabellarni oxiri rasporka (masofada tutqich) vositasida ulanadigan holatda tutib turiladi, kabel simlari tegishli usulda bir biriga mahkam ulanadi.

Qog'oz izolyatsiyali, 10 kV gacha kuchlanishda bo'lgan kabellarning muftalari bitum tarkibli mastika bilan to'ldiriladi, 35 kV gacha kuchlanishda bo'lgan kabellarning muftalari moy bilan to'ldiriladi. Yana kabellarni ulashda muftalar tez qotuvchi izolyatsiyalovchi turli xil mastikalar bilan to'ldiriladi. Kabellar montajida yana boshqa konstruktiviyali ulovchi muftalar ham ishlatiladi. Kabel liniyalarining oxirida tamomlovchi muftalar yoki kabel oxirini ximoya qobiqlarini mahkamlovchi konstruktiviyalar ishlatiladi.

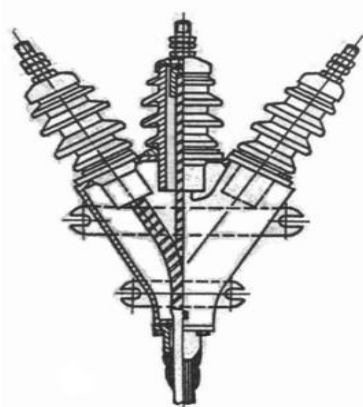
4.15, a –rasmda 10 kVli kabellarni ulashga mo'ljallangan, mastika bilan to'ldirilgan uch fazali farfor izolyatorlari bo'lgan, tashqarida o'rnatiladigan mufta ko'rsatilgan. Plastmassa izolyatsiyali kabel tarmog'ining oxirini mahkamlash uchun qo'llaniladigan konstruktiviyasi (tamomlovchi mufta) 4.15.b –rasmda ko'rsatilgan. Bunday konstruktiviyasi harorat o'zgarishida torayuvchi qoplamadan – 1, atrof muxit ta'siriga chidamli, harorat o'zgarishida torayuvchi haroratni yomon o'tkazuvchi trubkalardan 2 iborat. Bunday trubkalar vositasida har bir faza simining mustahkamligi ta'minlangan holda faza izolyatsiyasi yaxlit xolga keltirilib, tashqi trubka 3 kiydiriladi. Kabel simlarining chiqish joyiga yana xarorat o'zgarishida torayuvchi izolyatorlar o'rnatiladi.

Kuchlanishi 10 kV va undan past bo'lgan, plastmassa izolyatsiyali, binolar ichida o'rnatiladigan kabellar uchun quruq bo'laklagichlar qo'llaniladi. (4.15, v - rasm). Kabelning bir biridan ajratilgan faza simlari 3 yopishqoq polixlorvinil lenta 5 bilan mahkam o'raladi va ustidan laklanadi; kabelning oxiri kabellar uchun ishlatiladigan massa 7 va kabel qoplamalarini 2 ustini yopuvchi izolyatsiyalovchi perchatka 1 bilan germetiklanadi, perchatka oxiri va sim tolalari qo'shimcha zichlanadi polixlorvinil lenta bilan 5 yaxshilab o'raladi, oxirgi o'rama ochilib ketmasligi uchun o'ramaning oxiri shpagat 6 vositasida fiksatsiya qilib bandajlanadi.

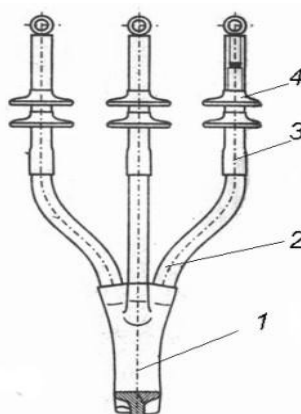
Kabellarni o'rnatish usullari kabel trassasining sharoitlari bilan aniqlanadi. Kabellar yerda bajarilgan transheyalarda, kabel bloklarida, kabel tunnellarida, kollektorlarda, kabel estakadalari bo'ylab, hamda binolarning tomlarida o'rnatilishi mumkin. Shaharlar korxonalar, aholi turar joylarida ochiq atrof muxitni to'smasligi

uchun kabellar ko'pincha yerda ochilgan transheyalarda yotqiziladi. Transheyada kabellar zararlanishini oldini olish uchun transheyaning tubida yumshoq tuproq va qum qatlamlari bilan to'shama hosil qilinadi. Bitta transheyada bir necha kabellar yotqizilsa 10 kV gacha kuchlanishda kabellar orasidagi minimal masofa, gorizontall tekislik bo'yicha, 0,1 metr, kabel kuchlanishi 35 kV bo'lsa – 0,25 metr bo'lishi kerak. Kabel yotqizilgach ustidan yana avvalgiday yumshoq to'shama bilan yopiladi, uning ustidan kabelni mexanik zararlanmasligi uchun g'isht yoki beton plitalar bilan yopiladi, oxirida transheya tuproq bilan to'ldiriladi.

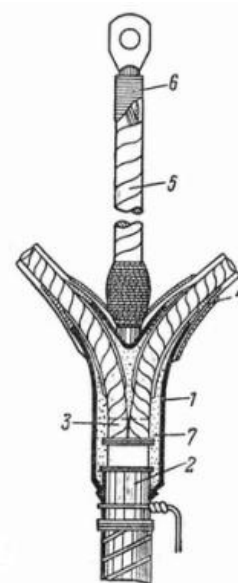
Agar kabel liniyasi yo'llarning ostidan o'tgan bo'lsa yoki kabelning binolarga kirish joylarida kabel asbestotsement yoki boshqa truba (quvur) ichidan o'tkaziladi. Kabel quvur ichida bo'lsa u yo'ldan transport vositalari o'tganida hosil bo'ladigan titroqlardan ximoyalanadi va kabelni ta'mirlashda uni quvur ichidan engil tortib olish imkoni bo'ladi, transheya ochilishiga zarurat bo'lmaydi. Kabellarni transheyalarda yotqizish elektr energiyasini uzatishning kam harajatli usul bo'ladi.



a)



b)



v)

4.15-rasm. 10 kV li uch tolali kabellarning oxirini mustahkamlovchi muftalar:

a – farfor izolyatorli tashqi qurilma; b – tashqarida o'rnatiladigan plastmassa

izolyatsiyali konstruktsiya; v – ichki tarmoqlarda quruq mahkamlanuvchi kabel oxiri.

Ko'p sonli kabellar yotqizilgan joylarda agressiv tuproq sharoiti va daydi toklarning paydo bo'lish ehtimoli ularni yerda yotqizish imkonini bermaydi. SHu sababli kabellarni yotqizish uchun maxsus yerosti kommunikatsiyalari va inshaotlari qo'llaniladi: kabel kollektorlari, kabel tunnellari, kabel kanallari, kabel bloklari va kabel estakadalari. Kabel kollektori bir necha xil yerosti kommunikatsiyalarni birgalikda joylashtirish uchun xizmat qiladi: kuch va aloqa kabel liniyalari, yirik korxonalar xududidan o'tgan shahar magistrali bo'ylab o'tgan suv quvurlari (vodoprovodlar) va boshqalar. Ko'p sonli kabellar parallel yotqizilgan bo'lsa, masalan yirik elektrostantsiyadan kabellarning chiqishida ular kabel tunnellarida yotqiziladi. Shu yo'l bilan ekspluatatsiya sharoitlari yaxshilanadi, kabellarni yotqizishda kerak bo'ladigan er maydoni kamayadi. Lekin kabel tunnellarining narhi yuqori bo'ladi. Tunnelda faqat kabellar yotqiziladi. Kabel tunneli yer ostida yig'ma temirbetondan va katta diametrli kanalizatsiya quvurlaridan tayyorlanadi. Tunnel sig'imi unga 20 tadan 50 tagacha kabellarni joylashtirish imkonini beradi.

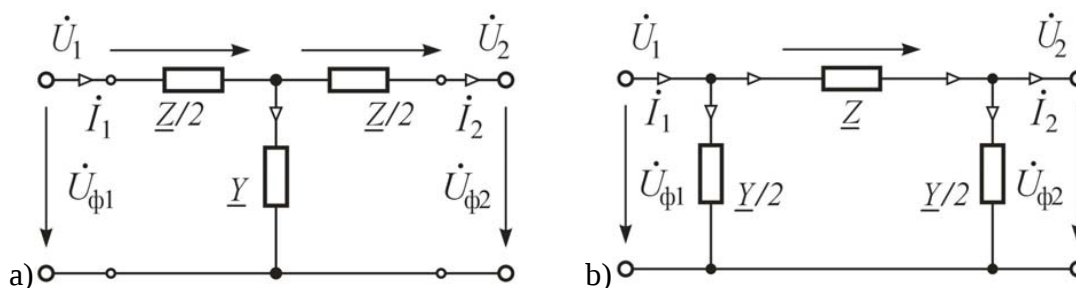
Kabellar soni kam bo'lganida tuproq bilan yopiladigan yoki yer ustiga chiqadigan kabel kanallari qo'llaniladi. Kabel estakadalari va galereyalari kabellarni er ustida yotqizish uchun qo'llaniladi. Bunday kabel inshaotlari turi kuch kabellarini yerda o'rnatilishi yer ko'chishi, muzlashi, yer qimirlashlari va boshqa sabablar tufayli xavfli bo'lgan holatlarda qo'llaniladi. Kabel kanallarda, tunnellarida, kollektorlarda va estakadalarda kabellar kabel kronshteynlari bo'ylab o'rnatiladi.

Yirik shaharlarda va korxonalarda kabellar ba'zan ulanish joylari beton bilan mahkamlangan asbestotsement quvurlardan tayyorlangan bloklarda yotqiziladi. Lekin bloklarda kabellar yaxshi sovitilmaydi va ularning quvvat o'tkazish imkoniyatlari pasayadi. Shu sababli boshqa usullar mumkin bo'lmagan holda kabel bloklari ishlatiladi. Bino va inshaotlarning ichida, devorlari va to'sinlari bo'ylab ko'p miqdordagi kabellarni o'tkazishda ular metall lotok yoki qutilar ichida joylashtiriladi. Yakka kabellar devor bo'ylab va to'sinlar ga

mahkamlab ochiq yoki yopiq o'rnatilishi mumkin. Yopiq usul, agar devor g'ovak bo'lsa, yoki ichida teshiklari bo'lgan konstruksiyalarda qo'llaniladi.

4.3. Havo va kabel liniyalarining xarakteristiklari va almashinish sxemalarining hisobi

Elektr uzatish tarmoqlarining faza parametrlari liniya uzunligi bo'ylab bir tekis taqsimlangan bo'ladi, ya'ni elektr uzatish tarmoqlarining liniya uzunligi bo'ylab parametrlari bir tekis taqsimlangan zanjir deb qabul qilish mumkin bo'ladi. Bunday zanjirni o'z ichiga olgan sxemaning aniq hisobi murakkab matematik apparatni talab qiladi. Shu sababli elektr uzatish tarmoqlarining hisobida umumiy holda soddalashtirilgan T- va Π - shaklli jamlangan parametrlari bo'lgan almashinish sxemalari qo'llaniladi (4.1 -rasm). T- va Π - shaklli almashinish sxemalarida elektr uzatish tarmoqlari hisoblanganida xatoliklari bir biriga yaqin bo'ladi. Bunda hisoblash xatoliklari liniya uzunligiga bog'liq bo'ladi.



4.16 -rasm. EUTning jamlangan parametrlil almashinish sxemalari:

a – T-shaklli; b – Π - shaklli

Elektr uzatish liniyasining faza parametrlarining liniya uzunligi bo'ylab bir tekis taqsimlangan va jamlangan parametrlari bo'lganligi to'g'risidagi yo'l qo'yilishi elektr uzatish tarmoqlari uzunligi 300-350 km dan oshmaydigan liniyalar uchun to'g'ri bo'ladi, kabel liniyalari uchun esa - 50-60 km gacha bo'lsa maqsadga muvofiq bo'ladi. O'lis masofalarga (350 km dan ortiq masofali) tortilgan elektr uzatish tarmoqlari hisobida parametrlarining taqsimlanganligi turli usullar

bilan hisobga olinadi. Energosistema sxemasining o'lchamlari va mos ravishda modellashtirish tenglamalari sxemadagi uzellar soni bilan aniqlanadi. SHu sababli amaliy hisoblashlarda, ayniqsa EHM dan foydalanilganida, ko'pincha, elektr uzatish tarmoqlarini modellashtirishda T-shaklli sxemaga nisbatan 1,5 marta o'lchamlari kichik bo'lgan P-shaklli almashinish sxemasi ishlatiladi. Demak, havo elektr uzatish tarmoqlarini hisoblashda so'z P-shaklli almashinish sxemasi to'g'risida ketadi.

II-shaklli almashinish sxemasida elektr uzatish tarmoqlarining bo'ylama elementlarini ajratamiz - $Z = R + jX$ qarshiligi va $Y = G + jB$ - o'tkazuvchanligi (4.16-rasm). Elektr uzatish tarmoqlarining yuqorida ko'rsatilgan parametrlari umumlashgan ko'rinishda, quyidagicha aniqlanadi:

$$P = P_0 \cdot L \quad (4.1)$$

bu yerda: $\{ \Pi_0 \}$ R_0, X_0, g_0, b_0 – elektr uzatish tarmoqlari bo'ylama va ko'ndalang parametrlarining L , km li liniyaning 1 km uzunligiga keltirilgan qiymatlari, ular ba'zida pogon parametrlar ham deb ataladi.

Konkret ko'rinishdagi va klassli elektr uzatish tarmoqlari uchun fizik jarayonlarning xususiyatlari va mos parametrlarning kattaliklariga (qiymatlariga) qarab bu sxemalarning xususiy holatlaridan foydalaniladi. Tarmoqning bu parametrlarini ko'rib chiqamiz.

Aktiv qarshilik o'tkazgich simning qizishiga olib keladi (issiqlik isroflari) va o'tkazgich simning materiali va ko'ndalang kesim yuzasiga bog'liq bo'ladi. Kesim yuzasi nisbatan kichik bo'lgan, rangli melallardan tayyorlangan (alyumin, mis)simli elektr uzatish tarmoqlari uchun aktiv qarshilik qilib shu material simining omik qarshiligi, ya'ni simning doimiy tokdagi qarshiligi olinadi, chunki sanoat chastotasida o'zgaruvchan tokning siqib chiqarish effekti sezilarli bo'ladi (1 % dan oshmaydi). Katta kesim yuzali simlarda (500 mm^2 va undan ortiq), sanoat chastotasida o'zgaruvchan tokning siqib chiqarish effekti sezilarli bo'ladi (1

% dan ortiq bo'ladi). Liniya o'tkazgich simlarining aktiv pogon qarshiligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi, Om/km,

$$R = \frac{\rho}{F} \quad (4.2)$$

Bu yerda: ρ – o'tkazgich simlariningsolishtirma aktiv qarshiligi, Om mm²/km;

F – faza simining kesim yuzasi, mm².

Texnik alyuminiy uchun uning markasiga qarab simlariningsolishtirma aktiv qarshiligini $\rho = 29,5\text{--}31,5$ Om mm²/km atrofida deb qabul qilishimiz mumkin, mis sim uchun esa $\rho = 18,0\text{--}19,0$ Om mm²/km. Aktiv qarshilik doimiy bo'lib qolmaydi. U atrof muxit havo haroratiga bog'liq bo'lgan simning haroratiga, shamol tezligiga va tarmoq yuklamasiga bog'liq bo'ladi. O'tkazgich simning omik qarshiligini, soddarak ko'rinishda, material kristali to'rida uzellar orasidagi, muvozanat holati atrofida tebranma harakatda bo'lgan, zaryadlarning tartibli harakatiga to'siq deb qabul qilishimiz mumkin. Tebranishlar intensivligi va mos ravishda materialning omik qarshiligi simning harorati ko'tarilganida ortadi. O'tkazgich simning aktiv qarshiligining simning haroratiga t bog'liqligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$R_0^t = R_0^{20} [1 + \alpha(t - 20^\circ)] \quad (4.3)$$

bu yerda: R_0^{20} – R_0 qarshilikning normat qiymati, R_0^{20} qarshilik kattaligi (4.2) ifoda bilan hisoblanadi; α - o'tkazgich simning elektr qarshiligining haroratga bog'liqlik koeffitsienti, Om/grad (mis, alyuminiy va po'latli alyuminiy simlar uchun $\alpha = 0,00403$, po'lat simlar uchun $\alpha = 0,00405$).

Liniyaning aktiv qarshiligiga (4.3) ifoda bo'yicha aniqlik kiritishning merakkabligi shundaki, simning harorati tokli yuklamaga va sovitish intensivligiga bog'liqligi tufayli simning harorati atrof muxit xaroratidan sezilarli ortishi mumkin. Liniyaning aktiv qarshiligiga aniqlik kiritishning zarurati mavsumiy elektr yuklamalar hisobida paydo bo'lishi mumkin. Havo elektr uzatish tarmog'i faza simlarini n ta bir xil simlarga bo'laklanganida (4.2.) ifodada faza simlarining kesim yuzalarining yig'indisi hisobga olinadi:

$$R_0 = \frac{\rho}{Fn} \quad (4.4)$$

Induktiv qarshilik o'tkazgich simdan o'zgaruvchan tok oqib o'tganida uning ichida va atrofida paydo bo'ladigan magnit maydoni bilan bog'liq ravishda yuzaga keladi. O'tkazgich simda, bunda Lents printsiplig ko'ra, manbaning EYUK yo'nalishiga teskari bo'lgan, o'zinduksiya EYUK hosil bo'ladi:

$$e_L = -\frac{d\psi}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

O'zinduksiya EYuKning manbaning EYuK o'zgarishlariga qarshi ta'siri o'tkazgichning induktiv qarshiligini hosil qiladi. Elektr tarmoqdagi tok chastotasiga bog'liq bo'lgan ($\omega = 2\pi f$ – tokning o'zgarish tezligi di/dt), elektromagnit oqimi bog'lamining o'zgarishi, $d\psi / dt$, qancha ko'p bo'lsa, va faza simlarining va havo elektr uzatish tarmoqlari konstruksiyasiga bog'liq bo'lgan induktivligining kattaligi L qanchalik katta bo'lsa, elementining induktiv qarshiligi $X = \omega L$ shunchalik katta bo'ladi. Demak, bitta liniyaning yoki g'altakning ta'minlovchi tokining chastotasi qanchalik katta bo'lsa, induktiv qarshiligi ham shunchalik katta bo'ladi. Tabiiyki tok chastotasi nolga teng bo'lsa $\omega = 2\pi f = 0$, ya'ni doimiy tok tarmog'ida elektr uzatish tarmog'ining induktiv qarshiligi nolga teng bo'ladi.

Uch fazali elektr uzatish tarmoqlari faza simlarining induktiv qarshiligiga yana faza simlarining o'zaro joylashishiga ham bog'liq bo'ladi. Simlarda o'zinduksiya EYuK dan tashqari har bir fazada o'zaro induksiya EYUK ga teskari yo'nalgan EYuK hosil bo'ladi. Shu sababli faza simlari simmetrik joylashganida, maslan teng tomonli uchburcha uchlarida, faza simlaridagi natijaviy teskari yo'nalgan EYuK va unga proporsional bo'lgan faza simlarining induktivligi bir xil bo'ladi. Elektr tarmoqning faza simlari gorizontall tekislikda joylashganida faza simlarining elektromagnit bog'lanishi bir xil bo'lmaydi. Shu sababli faza simlarining induktiv qarshiligi ham bir biridan farq qiladi. Faza simlarining induktiv qarshiligini bir xil qilish uchun tayanchlarda faza simlarining

transpozitsiyasi (o'rnini almashinish) qo'llaniladi. Bu tadbir elektr uzatish tarmog'i olis masofalarga tortilganida zarur bo'ladi. 1 km elektr uzatish tarmoqning induktiv qarshiligi quyidagi empirik ifoda bilan aniqlanadi, Om/km:

$$x_0 = \omega L_0 = \omega \left(0,46 \lg \frac{D_{o'rt}}{r_c} + 0,05 \right) 10^{-3} \quad (4.5)$$

Agar standart sanoat tok chastotasini 50 Gts ligini hisobga olsak bu chastotada $\omega = 2\pi f = 314 \text{ rad/s}$ bo'ladi, rangli metallar uchun ($\mu = 1$) bo'lganidan quyidagiga ega bo'lamiz, Om/km:

$$X_0 = X_0' + X_0'' = 0,144 \lg \frac{D_{o'rt}}{r_c} + 0,016\mu \quad (4.6)$$

Agar tok chastotasi 60 Gts bo'lsa mos ravishda ($\omega = 376,8 \text{ rad/s}$), Om/km

$$X_0 = 0,173 \lg \frac{D_{o'rt}}{r_c} + 0,019\mu \quad (4.7)$$

Agar elektr uzatish tarmoqlarining faza simlari bir biriga yaqinlashsa o'zaroinduksiya EYuK ortadi, natijada uning induktiv qarshiligi kamayadi. Ayniqsa kabel liniyalarida bu sezilarli (3-5 marta) bo'ladi. O'tkazuvchanligi oshirilgan kompakt havo liniyalari ishlab chiqilga, ularda faza simlari bir biriga yaqinlashtirilib induktiv qarshiligi 25–30 % ga oshirilgan. Elektr uzatish tarmoqlari faza simlarining orasidagi o'rtacha geometrik masofasi, m, quyidagicha aniqlanadi:

$$D = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{23}} \quad (4.8)$$

Havo elektr uzatish tarmoqlari faza simlari gorizontali yoki uchburchak uchlarida joylashishi mumkin, podstantsiyalarda faza shinali to'g'ri o'tkazgichlar gorizontali yoki vertikal tekisliklarda, uch tolali kabelning faza sim tolalari ham teng yonli uchburchak uchlarida joylashishi mumkin. $D_{o'rt}$ va r_s larning qiymatlari bir xil o'lchamga ega bo'ladi. Spravochnik ma'lumotlari bo'lmagan holda ko'p tolali simning radiusi r_s simning tok o'tkazuvchi po'lat o'zak qismlarining ko'ndalang kesim yuzalari yig'indisi bo'yicha, buralganligi uchun 15–20 % ga oshirib qabul qilinadi, ya'ni quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$r_c = (1,15 \dots 1,2) \sqrt{\frac{F_{Al} + F_n}{\pi}} \quad (4.9)$$

uning induktiv qarshiligi ikki tashkil etuvchidan iborat bo'ladi: ichki va tashqi. Tashqi induktiv qarshilik X_0' sim atrofida hosil bo'ladigan tashqi magnit oqimiga va tarmoq simlarining $D_{o'rt}$ va r_s kattaliklariga bog'liq bo'ladi. Tabiiyki, faza simlarining bir biriga yaqinlashishida o'zaro induksiya EYuK ta'siri kuchayadi, va induktiv qarshilik kamayadi, simlar uzoqlashganida esa tarmoqning induktiv qarshilik ortadi.

Kabel liniyalarida faza simlari havo elektr uzatish tarmoqlariga nisbatan bir necha darajada yaqin bo'ladi va tarmoqning induktiv qarshiligi kam bo'ladi (3–5 marta). Kabel liniyalarining induktiv qarshiligi X_0 ni aniqlash uchun (4.5) va (4.6) ifodalardan foydalanilmaydi, chunki ularda kabel liniyalarining konstruktiv xususiyatlari hisobga olinmagan. SHu sababli kabel liniyalarining induktiv qarshiligini aniqlashda zavod ko'rsatkichlaridan va kabel liniyalarining induktiv qarshiligini aniqlash bo'yicha yo'riqnomalaridan foydalaniladi.

Kabel liniyalarining ichki induktiv qarshiligi X_0'' o'tkazgich simlardagi ichki magnit oqimi kattaligi bilan aniqlanadi. Po'lat simlarning induktiv qarshiligi tarmoqdagi tokli yuklamaga bog'liq holda o'zgaradi va ma'lumotnomalarda va zavod instruktsiyalarida berilgan bo'ladi. Shunday qilib elektr uzatish tarmoqlarining aktiv qarshiligi o'tkazgich sim materialiga, kesim yuzasiga va haroratiga bog'liq bo'ladi.

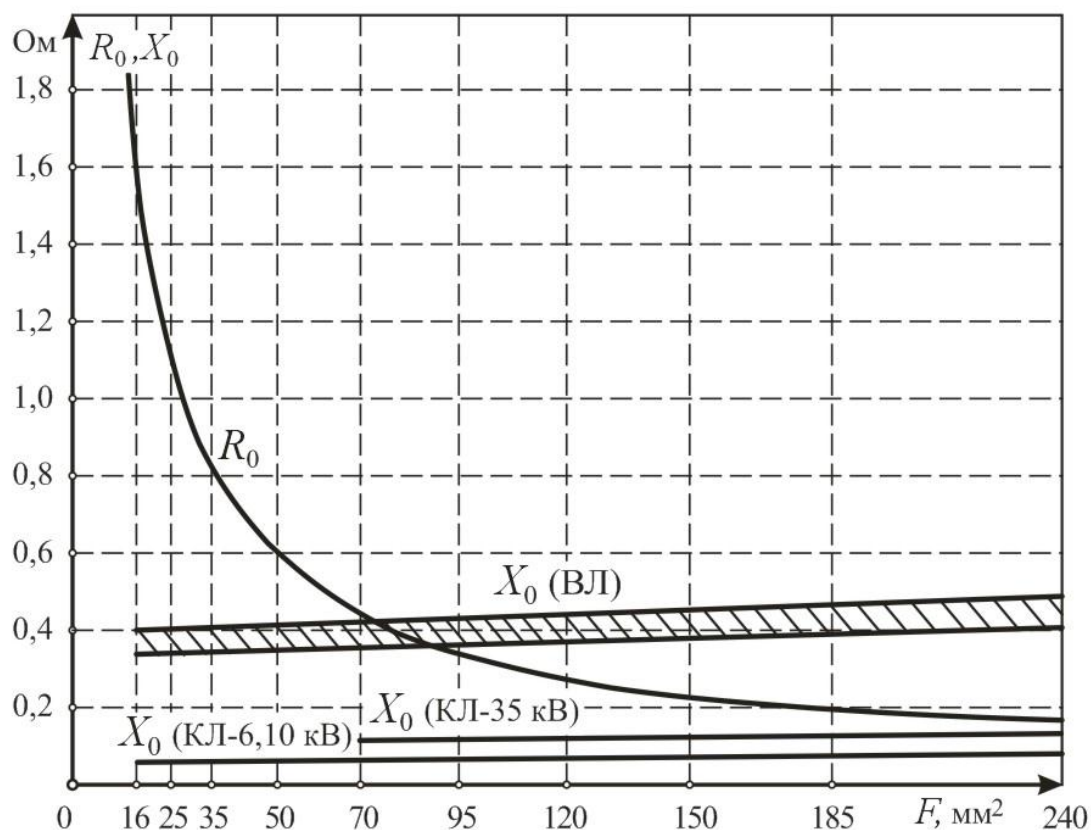
$R_0 = f(F)$ funktsiyadan ko'ramizki, faza simlarining aktiv qarshiligi o'tkazgichning kesim yuzasiga teskari proporsional bo'ladi. Bu bog'lanish ayniqsa kichik kesimli simlarda, aktiv qarshiligi katta bo'lganida, sezilarli bo'ladi. Elektr uzatish tarmoq simlarining induktiv qarshiligi liniya konstruksiyasi, bajarilishi (4.17-rasm) bilan bog'liq bo'ladi va amalda sim kesim yuzasi bilan aniqlanadi, $\lg(D_{cp} r_{pr})$ had doimiy bo'ladi, ya'ni: $(\lg(D_{cp} r_{pr}) \approx \text{const})$.

Elektr sistemadagi elementlarning ko'rsatkichlari ularning qarshiligi va o'tkazuvchanligidir. Qarshilik o'tkazuvchanlik kattaliklarining tarmoq o'tkazgich simlari va kuch transformatorlari uchun 1,2-jadvallarda yozib chiqilgan.

Simmetrik rejim uchun almashinish sxemasi (1) bilan tayyorlaymiz. Bir xil qarshilikli liniyalar uchun.

Tarmoqning to'la qarshiligi:

$$Z_{\Sigma} = R_{\Sigma} + jX_{\Sigma}. \quad (4.10)$$



4.17 -rasm. Rangli metallardan tayyorlanga o'tkazgich simlar va kabellarning R_0 va X_0 qarshiliklarining kesim yuzasiga bog'liqligi

O'tkazgichning o'tkazuvchanligi ham shunga o'xshash bo'ladi:

$$\gamma_{\Sigma} = q_{\Sigma} + j\beta_{\Sigma}. \quad (4.11)$$

bu yerda: q_{Σ} va β_{Σ} - aktiv va reaktiv o'tkazuvchanlik .

Aktiv qarshilik: $R = \frac{l}{\gamma F}$ bo'ladi,

bu yerda: l -tarmoq o'tkazuvchanligi , m

γ -solishtirma o'tkazuvchanlik, sm/m (ko'ndalang)

F -ko'ndalang kesim yuzasi, mm²

- Alyuminiy sim uchun $\gamma_M = 32 \cdot 10^6$ sm/m

- Mis sim uchun $\gamma_M = 53 \cdot 10^6 \text{ sm/m}$

O'zgaruvchan tokda o'tkazgich sim qarshiligi ko'proq bo'ladi. Lekin 50 Gts chastotali tok uchun bu farq 1% atrofida bo'lib, uni hisobga olmasa ham bo'ladi.

Induktiv qarshilik 1 km elektr uzatish tarmog'i uchun aniqlanadi. X_0 –Om/km.

$$X_0 = 2\pi f l = 0,144 l q (D_{ypm} / r) + 12500 \mu \quad (4.12.)$$

bu yerda : L -o'tkazgichning induktivligi, Gn

f-tok chastotasi 50 Gts.

$D_{o'rt}$ -faza simlari orasidagi masofa, m

r-simlarning radiusi, m

μ -magnit o'tkazuvchanlik, Gn/m

Mis va alyuminiy simlar uchun μ doimiy bo'ladi va

$\mu_a = \mu_{MHC} = \mu_{xao} \approx 0,4\pi \cdot 10^{-6} = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ Gm/M.ga}$ (3) teng deb qabul qilish mumkin.

Demak, rangli metallardan tayyorlangan simlar uchun :

$$X_0 = 0.144 l q \left(\frac{D_{ypm}}{r} \right) + 0.016 \quad (4.13.)$$

ko'rinishda bo'ladi. Havo elektr uzatish tarmog'ining faza simlari orasidagi masofa tarmoqning nominal kuchlanishiga bog'liq bo'ladi. Havo elektr uzatish tarmog'ining faza simlari orasidagi masofa va izolyatorlari soni me'yorlarining tarmoq kuchlanishidan kelib chiqib aniqlangan kattaliklari 2.3-jadvalda berilgan.

4.3-jadval.

Havo elektr uzatish tarmog'ining faza simlari orasidagi masofa me'yorlari

U_n, kV	1	6-10	35	110	220	500
$D_{o'rt}, \text{m}$	0.5	1,5	3.5	5	7	14
Izolyatorlar soni	1	1	3	7 (6-8)	12 (10-14)	23 (21-25)

Faza simlari fazoda gorizontal, vertikal yoki uchburchak uchlarida joylashgan bo'ladi.

$$D_{o,rt} = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3}, \text{ m} \quad (4.14)$$

$$D_{o,rt} = \sqrt[3]{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3}, \text{ m} \quad (4.15)$$

3.2 - 3.4 ifodalardagi qarshilikning birinchi qismi sim atrofidagi tashqi magnit maydoni oqimiga bog'liq bo'ladi va simni tashqi qarshiligi deyiladi. - X_0^I , ikkinchi qismi esa o'tkazgich sim ichidagi magnit oqimga bog'liq bo'ladi va ichki qarshiligi bo'ladi - X_0^{II} . Rangli metallar uchun $X_0^I \gg X_0^{II}$ bo'ladi va asosan simlar atrofidagi magnit maydoni bilan aniqlanadi va $D_{o,rt}$ va r o'lchamlarga bog'liq bo'ladi. Kabellarda tarmoq faza simlari bir biriga juda yaqin bo'ladi. Shuning uchun kabellarning induktiv qarshiligi hisobga olinmaydi: $R_{0kab} \gg X_{0kab}$. Demak, havo elektr uzatish tarmoqlari simlari orasidagi masofa kamaysa, uning induktiv qarshiligi kamayib, reaktiv isroflar $\Delta Q = 3I^2 X$ ham kamayadi. Lekin simlar orasidagi masofa (yaqinlashishi) kamayishi kuchlanish bilan chegaralanadi, havo teshilishi va siljish toklari ortib kyetishi mumkin, bunda isroflar ham ortadi. O'tkazgich simlarni induktiv qarshiligini kamaytirish uchun ularni radiusi kattaroq olinadi.

Masalan 35 kVgacha simlar $F=70-150 \text{ mm}^2$ o'tkazgich simlar radiusini oshirish uchun ularning har biri 2, 3, 4, 5, 6 dona simlar bilan almashtiriladi, bunda metall sarfi o'zgarmagan holda, faza o'tkazgichining ekvivalent radiusi ortadi. Simning ekvivalent radiusi quyidagicha bo'ladi:

$$a_{\bar{y}pm} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \quad (4.16)$$

bu yerda: n -simlar soni

a_i - simlar orasidagi fazoviy masofa.

a_{gar} - 3 ta sim bo'lsa, o'rtacha radius

$$a_{\bar{y}pm} = \sqrt[3]{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3}.$$

Bo'laklangan simlar uchun reaktiv qarshilik:

$$X_{\sigma} = 0,144 \lg\left(\frac{D_{\bar{y}pr}}{r_{\sigma KB}}\right) + 0,016/n \quad (4.17)$$

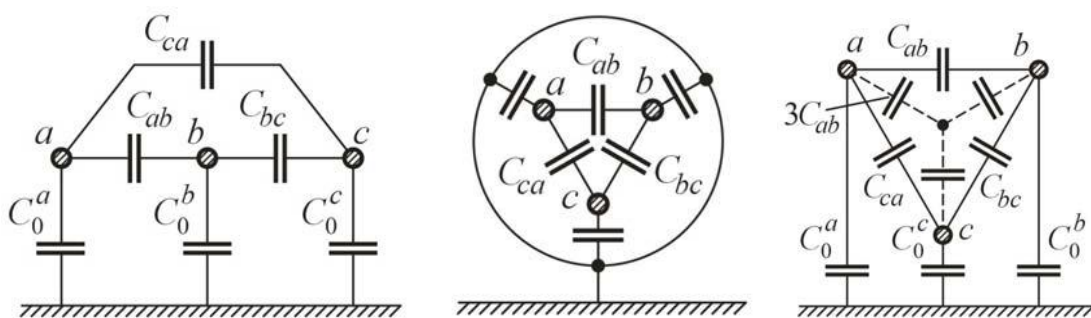
$$R_{\delta} = l / n \gamma F_{\delta}. \quad (4.18)$$

bu yerda: n - o'ralgan simlar soni

F_{δ} – o'ralgan simning kesim yuzasi

Sig'im o'tkazuvchanlik fazalar orasidagi sig'imga va faza simlari bilan er orasidagi sig'imlarga bog'liq ravishda yuzaga keladi. Elektr uzatish tarmoqlarining almashinish sxemasida o'tkazuvchanliklar uchburchagini ekvivalent yulduz ko'rinishiga o'zgartirilgan yulduzning elkalari sig'imi ishlatiladi $S = S_0^a + 3S_{av}$ (4.18, v- rasm). Amaliy hisoblarda bitta faza simi bo'lgan uch fazali elektr uzatish liniyasi sig'imining 1 km liniya masofasiga keltirilgan sig'imi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$S_0 (= \frac{0,024}{lg \frac{D_o'rt}{r_c}} \cdot 10^{-6} \quad (4.19)$$



4.18 rasm. Uch fazali elektr uzatish liniyasi sig'imi: a – havo liniyasi;

b – kabel liniyasi; v – sig'imlar uchburchagidan yulduzga o'tish

Kabel liniyalarining ishchi sig'imi havo liniyalarga nisbatan ancha katta bo'ladi, chunki kabelning faza va nol simlari bir biriga juda yaqin joylashgan bo'lib, ularning orasidagi masofa faqat izolyatsiya va ximoya qoplamalari qalinligi bilan aniqlanadi. Bundan tashqari, kabellar izolyatsiyasining dielektrik singdiruvchanligi birdan, ya'ni havoning dielektrik singdiruvchanligidan sezilarli darajada katta. Kabellarning konstruksiyasining xilma xilligi va tok o'tkazgich simlarining ma'lum bir shaklga ega emasligi ularning sig'imini aniqlashni qiyinlashtiradi, shu sababli amalda ekspluatatsion yoki zavod sinov natijalaridan

va ko'rsatmalaridan foydalaniladi. Kabel va havo liniyalarining sig'im o'tkazuvchanligi, Sm/km, umumiy formula bo'yicha aniqlaniladi:

$$b_0 = \omega c_0. \quad (4.20)$$

(4.10 a) ifodani hisobga olib, havo liniyasi uchun 50 Gts chastotada quyidagi ifodaga ega bo'lamiz, Sm/km:

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{o'rt}}{r_c}} \cdot 10^{-6} \quad (4.21)$$

Tok chastotasi 60 Gts bo'lganida, havo liniyasining sig'im o'tkazuvchanligi uchun quyidagi ifodaga ega bo'lamiz, Sm/km:

$$b_0 = \frac{9,04}{\lg \frac{D_{o'rt}}{r_c}} \cdot 10^{-6} \quad (4.22)$$

Kabel liniyalarining sig'im o'tkazuvchanligi har bir kabelning konstruktsiyasiga bog'liq bo'ladi va zavod-tayolgich tomonidan uning pasportida ko'rsatiladi, lekin taqriban (4.11) ifoda bilan aniqlanilishi mumkin. Kabel liniyalarining ishchi kuchlanishi ta'sirida liniya sig'imi orqali sig'im (zaryadlovchi) tok o'tadi. Bunda kabelning birlik uzunligiga keltirilgan sig'miy toki, kA/km, quyidagi ifodaga ko'ra aniqlanadi:

$$I_{c0} = U_f b_0 = \frac{1}{\sqrt{3}} U b_0 \quad (4.23)$$

va mos ravishda uch fazali elektr uzatish tarmog'ining zaryadlanish quvvati, MVar/km larda liniyaning har bir nuqtasidagi kuchlanishiga bog'liq bo'ladi:

$$Q_{c0} = 3U_f I_{c0} = U_f^2 b_0 = U^2 b_0 \quad (4.24)$$

Butun elektr uzatish tarmoq uchun zaryadlanish quvvati kattaligi liniya boshi va oxirlaridagi haqiqiy (hisobiy) kuchlanish orqali aniqlanadi, MVar:

LEKTSIYA 4. XARAKTERISTIKA I RASCHYOT PARAMETROV SXEM ZAMEЩENIYA VOZDUSHNYYX I KABELNYYX LINIY

$$Q_c = \frac{1}{2} (U_1^2 + U_2^2) b_0 L = \frac{1}{2} (U_1^2 + U_2^2) \cdot B_c \quad (4.25)$$

yoki taqriban liniyaning nominal kuchlanishi bo'yicha quyidagicha bo'ladi:

$$Q_c = B_c U_{\text{nom}}^2 \quad (4.26)$$

6–35 kV kuchlanishli, qog'oz izolyatsiyali va ustida shimdirilgan gidroizolyatsiyali qoplamasi bo'lgan kabellarda bajarilgan kabel liniyalari uchun 1 km masofadagi reaktiv quvvat generatsiyasi ma'lum q_0 ligini hisobga olgan holda kabel liniyalarining sig'imi uchun quyidagini yozishimiz mumkin:

$$Q_{\text{skl.}} = q_0 L \quad (4.27)$$

Ko'ndalang sig'im o'tkazuvchanligi bo'lgan, faza jihatdan tarmoq kuchlanishidan oldinda bo'lgan tok iste'mol qilayotgan elektr uzatish tarmoqlari reaktiv quvvat manbai sifatida qaraladi va ko'pincha, “zaryadlovchi quvvat” deb ataladi. Zaryadlovchi quvvat sig'im xarakterli bo'lib, yuklamaning, liniya bo'ylab iste'molchiga uzatiladigan, induktiv tashkil etuvchisini kamaytiradi. Almashinish sxemalarida, kuchlanishi 110 kV va undan yuqori havo liniyalari va 35 kV va undan yuqori kuchlanishli kabel liniyalarida, sig'im o'tkazuvchanlik ko'rinishdagi (V_s) yoki ular tomonidan generatsiya qilinayotgan quvvat ko'rinishdagi Q_c , ko'ndalang tarmoqni (shuntlar) hisobga olish kerak bo'ladi.

Har bir kuchlanishlar pog'onasida (klassida) elektr uzatish tarmoqlari faza simlari orasidagi masofa, ayniqsa havo liniyalari uchun, amalda bir xil bo'ladi va fazalarning natijaviy magnit oqimi taqsimlanishini va liniyaning sig'im effektini o'zgarishsiz qolishiga asos bo'ladi. SHu sababli faza simlari bo'laklanmagan va maxsus konstruksiyaga ega bo'lmagan havo elektr uzatish tarmoqlarining reaktiv parametrlarining liniya konstruksiyasiga bog'liqligi sezilarsiz bo'ladi, chunki faza simlari orasidagi masofa va o'tkazgich simlar kesim yuzasi (sim radiusi) liniya bo'ylab bir xil qoladi.

35–220 kV kuchlanishli havo liniyasi faza simlari yaxlit bir simli bo'lsa, ularning induktiv qarshiligi kichik oraliqlarda o'zgaradi: $X_0 = (0,40 - 0,44)$ Om/km, sig'im o'tkazuvchanlik esa $2b_0 = (2,6... 2,8) \cdot 10^{-6}$ Sm/km da bo'ladi. Kabel tolalarining kesim yuzasining X_0 ga ta'siri esa havo liniyalariga nisbatan sezilarliroq bo'ladi. Shu sababdan kabel liniyalarida induktiv qarshilik kattaroq oraliqlarda o'zgaradi: $X_0 \approx (0,06 - 0,15)$ Om/km.

0,38–10 kV kuchlanishda kabel liniyalari uchun induktiv qarshilik tor oraliqlarda o'zgaradi: (0,06–0,10 Om/km) va ma'lumotnoma-jadvallarda berilgan bo'ladi. 110 kV kuchlanishli 100 km uzunlikdagi havo elektr uzatish tarmoqlarining zaryadlovchi quvvatining o'rtacha qiymati taxminan 3,5 Mvar atrofida bo'ladi, 220 kV kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlarining zaryadlovchi quvvatining o'rtacha qiymati esa 13,5 MVar bo'ladi. 500 kV kuchlanishli 100 km uzunlikdagi havo elektr uzatish tarmoqlarining zaryadlovchi quvvati esa 95 Mvar bo'ladi. Bu ko'rsatkichlarni hisobga olish hisoblardagi xatoliklarni kamaytirish imkonini beradi yoki ma'lum bir uzunlikdagi elektr tarmoq parametrlarini baholash uchun foydalanish mumkin bo'ladi. Masalan uning induktiv qarshiligi yoki zaryadlovchi quvvati ma'lum bo'lsa, tarmoq uzunligini quyidagi ifoda bilan aniqlash mumkin bo'ladi:

$$L = \frac{x}{x_0} \quad L = \frac{100Q}{Q_c^{1.00}} \quad (4.28)$$

Aktiv o'tkazuvchanlik tarmoqning aktiv quvvat isroflari ΔP ni yuzaga keltiradi, isroflar izolyatsiyaning mukammal bo'lmaganligi tufayli izolyator materiali ustidan o'tadigan tok (siljish toki) va o'tkazgich sim sirtida toj razryadi maxsuloti bo'lgan, ionizatsiya oqibatida bo'ladi. Solishtirma aktiv o'tkazuvchanlik shunt uchun quyidagi umumiy ifoda bo'yicha aniqlanadi, Sm/km:

$$g_0 = \frac{P_f}{U_{nom}^2} 10^{-3} \quad (4.29)$$

bu yerda: U_{nom} – elektr tarmoqning nominal kuchlanishi, kV.

Havo elektr uzatish tarmoqlarining izolyatorlaridan o'tgan isroflari sezilarli bo'ladi. Lekin havo liniyasidagi toj razryadi jarayoni o'tkazgich sim sirtida, elektr maydon kuchlanganligi yetarli bo'lganida, yuzaga keladi. O'tkazgich sim sirtida toj razryadi jarayoni paydo bo'ladigan kritik elektr maydon kuchlanganligi qiymati quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$E = \frac{0,354 U}{r \lg \frac{D_{ort}}{r}} \quad (4.29 a)$$

Elektr maydon kuchlanganligining kritik qiymati havo namligi va bosimiga ko'ra 17–19 kV/sm atrofida bo'ladi. Havo elektr uzatish tarmoqlarida toj razryadi 110 kV va undan yuqori kuchlanishlarda paydo bo'ladi. Toj razryadi isroflari liniya kuchlanishidan tashqari o'tkazgich simlar radiusiga, atmosfera sharoitlariga va o'tkazgich sim sirtining holatiga bog'liq bo'ladi. Tarmoq simlarining sirtidagi elektr maydon kuchlanganligini kamaytirish, va buning natijasi o'laroq toj razryadi isroflarini kamaytirish uchun o'tkazgich simlarning radiusi oshiriladi. Har bir kuchlanish klassi uchun simning minimal kesim yuzasi bo'ladi va uning qiymati ma'lumotnomalarda berilgan bo'ladi. Atmosfera sharoitlarining og'irlashishi (havoning yuqori namligi, qor, qirov tushishi, ifloslanishi), o'tkazgich simlar sirtida qirrali yuzalar paydo bo'lishi ham sim sirtidagi elektr maydon kuchlanganligini kuchaytiradi va uning oqibatida toj razryadga aktiv quvvat isroflarini oshiradi. Havo elektr uzatish tarmoqlaridagi toj razryadi radiopomexlarni yuzaga keltiradi va radio- va televidenie apparatlarining qabul qilish imkonini chegaralaydi, elektr tarmoq o'tkazgich simlari sirtida korroziya paydo qiladi.

Toj razryadi isroflarini kamaytirish, iqtisodiy me'zonlar bo'yicha ruxsat etilgan chegaralarda qolishi uchun, elektr uskunalarni o'rnatish va ekspluatatsiyasi qoidalariga ko'ra (EUO'Q, PUE, PTE) har bir kuchlanish klassi uchun o'tkazgich simi tolasining minimal diametri yoki kesim yuzasi o'rnatilgan. Masalan, VL 110 kV havo liniyasi uchun – AS 70 (11,8 mm), VL 220 kV havo liniyasi uchun – AS 240 (21,6 mm).

Kuchlanishi 220 kV va undan katta bo'lgan havo elektr uzatish tarmoqlari modellarida toj razryadi isroflari hisobga olinadi (4.19 -rasm). Elektr energiya isroflarini hisobga olib bajariladigan texnik-iqtisodiy hisoblarda toj razryadi isroflari 220 kV kuchlanishdan boshlab hisobga olish kerak, kabel liniyalaridagi dielektrik isroflar esa– 35 kV kuchlanishdan boshlab hisobga olinadi. Kabel liniyalarida eng yuqori elektr maydon kuchlanganligi kattaligiga qarab o'tkazgich simlarning izolyatsiyalovchi qoplamalari qalinligi va qatlamlar soni aniqlaniladi. Kabelning ishchi kuchlanishi qancha katta bo'lsa, izolyatsiyadan o'tayotgan ketish

toki va uning dielektrik xususiyatlarining buzilishi sezilarli bo'ladi. Kabel izolyatsiyasining dielektrik xususiyatlarining buzilishi dielektrik isroflar burchagining tangensi bilan xarakterlanadi $-\text{tg}\delta$, uning kattaligi zavod ma'lumotlari va kabelning sinov natijalari bo'yicha qabul qilinadi. Kabelning birlik uzunligiga to'g'ri keluvchi aktiv o'tkazuvchanligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$g_0 = \omega C_0 \text{tg}\delta = b_0 \text{tg}\delta \quad (4.30)$$

va mos ravishda kabel izolyatsiyasidagi o'tish toki, A,

$$I_{o'} = U_f b_0 L \text{tg}\delta = \frac{1}{\sqrt{3}} U B \text{tg}\delta = \frac{1}{\sqrt{3}} U G \quad (4.31)$$

Bunda kabel liniyasi izolyatsiyasi materialidagi dielektrik isroflar, Vt, quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta P_{iz} = 3 I_y^2 \frac{1}{\omega C \text{tg}\delta} = U^2 B_c \text{tg}\delta = U^2 G = q_0 L \text{tg}\delta \delta. \quad (4.32)$$

Bu kattaliklarni nominal kuchlanishi 110 kV bo'lgan kabel liniyalarida hisobga olinadi.

4.4. Fazalari bo'laklangan havo elektr uzatish tarmoqlari

Agar elektr uzatish tarmoqlarining har bir faza simlari kesim yuzasini oshirish maqsadida ikki yoki undan ortiq simlarda bajarilgan bo'lsa, faza simlarining bunday konstruksiyasi bo'laklangan deyiladi. 220 kV nominal kuchlanishli an'anaviy konstruksiyali liniyalar odatda ikki yoki uch simdan iborat qilib bo'laklanadi, 500 kV li liniyalar uch yoki to'rt simga bo'laklanadi. Markaziy zona energosistemasida 220 kV li Toshkent- Sirdaryo, Toshkent – Farg'ona liniyasi ekspluatatsiya qilinadi. Ular uchta simga bo'laklangan. Energosistemamizda 4-5 bo'lak simli eksperimental liniyalar bo'lib, ularning induktiv qarshiligi kamaytirilgan bo'lib, oshirilgan o'tkazuvchanlikka ega. Faza simlarini bo'laklanishining asosiy sababi liniyaning o'tkazish quvvatini oshirish, nominal kuchlanish va o'tkazgichlar kesim yuzasi kattaliklarini saqlagan holda liniyaning induktiv qarshiligini kamaytirish va aktiv quvvatlar isroflarini

kamaytirish bo'ladi. Faza simlarini n ta bir xil kesim yuzali simlar bilan almashinish (bo'laklash) tarmoqning aktiv pogon qarshiligini n marta kamaytirish imkonini beradi, ya'ni:

$$R_0 = \frac{R'_0}{n}$$

Lekin ko'rsatilgan nominal kuchlanishli (110, 220, 500 kV) havo liniyalari uchun aktiv va induktiv qarshiliklarining nisbatlari uchun $R_0 \ll X_0$ ko'rinish xarakterli. Shu sababli liniyaning o'tkazuvchanligini oshirish uning induktiv qarshiligi kamaytiriladi. Fazada simi n simlarga bo'laklanganda o'tkazgich simning ekvivalent radiusi ortadi :

$$r_s^{ekv} = \sqrt[n]{r_c} a^{n-1} \quad (4.33)$$

bu yerda: a – faza bo'laklangan simlari orasidagi masofa, odatda $a = 40\text{--}60$ sm bo'ladi. (4.23) ifodaning tahlili ko'rsatadiki, bo'laklangan simlarning ekvivalent radiusi 9,3 sm dan ($n = 2$ bo'lsa) 16,5 sm gacha ($n = 4$) o'zgaradi va o'tkazgich simlarning ko'ndalang kesim yuzasiga bog'liqligi kuchsiz bo'ladi.

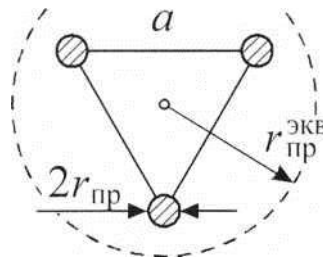
r_s^{ekv} ning o'zgarishini aniqlovchi asosiy faktor fazadagi simlar soni bo'ladi. Bo'laklangan faza simlarining ekvivalent radiusi bitta simning haqiqiy radiusidan bir necha barobar katta bo'ladi ($r_s^{ekv} r_{pr} \gg r_{pr}$), bunday liniyaning induktiv qarshiligi, Om/km, kamayadi va quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$X_0 = 0,144 \lg \frac{D_{o'rt}}{r_s^{ekv}} + \frac{0,016}{n} \mu \quad (4.34)$$

Elektr uzatish tarmoqning induktiv qarshiligi X_0 ni kamaytirish liniyaning kam o'zgaruvchi tashqi qarshiligini X_0' kamaytirish hisobiga erishiladi. Masalan 500 kV li liniya faza simlarini uchta simga bo'laklanganida uning induktiv qarshiligi – 0,29–0,30 Om/km gacha kamayadi, ya'ni taxminan uchdan biriga kamayadi. Mos ravishda tarmoqning qarshiligi $Z = (R_0 + jX_0)L = Ze^{j\psi}$ kamayishi bilan birga liniyaning quvvat o'tkazish imkoniyati $P_{o't}$ ortadi (ideal chegara):

$$P_{o't} = \frac{U_{nom}^2}{Z} \approx \frac{U_{nom}^2}{X} \quad (4.35)$$

Tabiiyki, faza simining ekvivalent radiusi r_s^{ekv} ortishi bilan faza simlari atrofidagi elektr maydon kuchlanganligi kamayadi, natijada toj razryadi energiya isroflari ham kamayadi. Shunday bo'lsada yuqori va o'tayuqori kuchlanishli havo liniyalarida bunday isroflar sezilarli bo'lib, shu kuchlanish klassidagi (220 kV va undan yuqori) havo elektr uzatish tarmoqlari rejimlari tahlilida ularni hisobga olish kerak bo'ladi (4.19-rasm).



4.19-rasm. Bo'laklangan faza simlarining ekvivalent radiusini aniqlash.

Faza simlarini bir necha simga bo'laklash tarmoqning umumiy sig'imini oshiradi va mos ravishda sig'im o'tkazuvchanligini ham oshiradi:

$$b_0 = \frac{9,04}{\lg \frac{D_0 \cdot r_t}{r_c}} \cdot 10^{-6} \quad (4.36)$$

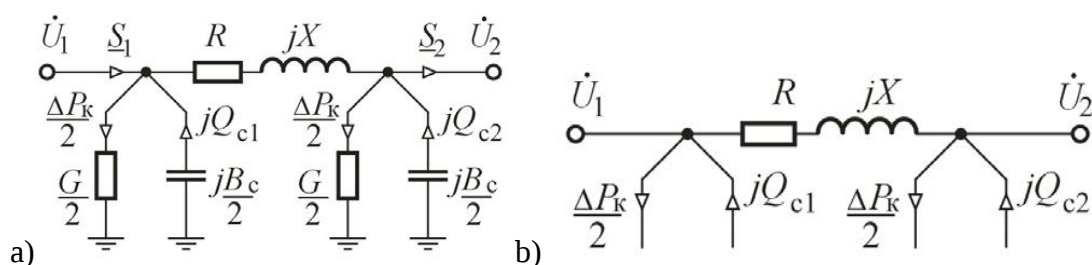
Masalan 220 kV kuchlanishli havo elektr uzatish tarmoqlari faza simlari ikkita simga bo'laklanganida, uning o'tkazuvchanligi $2,7 \cdot 10^{-6}$ dan $3,5 \cdot 10^{-6}$ Sm/km gacha ortadi. U holda uzunligi 200 km bo'lgan 220 kV kuchlanishli havo liniyasining zaryadlovchi quvvati quyidagicha bo'ladi:
 $Q_c = b_0 L U_{nom}^2 = 3,5 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \cdot 220^2 = 33,88 \text{ MVar}$. Bu kattalik shu klassdagi uzatilayotgan quvvatlar bilan bir biriga yaqin bo'ladi, xususan tabiiy quvvatiga.

$$R_{natural} = \frac{U_n^2}{Z_b} = \frac{U_n^2}{\sqrt{\frac{x_0}{b_0}}} = \frac{220^2}{\sqrt{\frac{0,32}{3,5 \cdot 10^{-6}}}} = 160 \text{ MVt.} \quad (4.37)$$

4.5. Elektr uzatish tarmoqlarining almashinish sxemalari

Yuqorida liniyaning almashinish sxemasi ayrim elementlarining xarakteristikalarini keltirilgan. Fizik xususiyatlaridan kelib chiqib, elektr tarmoqlarni modellashtirishda 4.5 –rasm, 4.6-rasm, 4.7-rasm larda keltirilgan havo liniyalari, kabel liniyalari va shina o'tkazgichlarning sxemalaridan foydalaniladi. Bu sxemalarga ba'zi bir umumlashtiruvchi tahlil beramiz. Elektr energetika sistemasining simmetrik barqarorlashgan rejimlarini hisoblash uchun bitta fazasi uchun almashinish sxemasi chiziladi, ya'ni uning bo'ylama parametrlari, $Z = R + jX$ qarshiligi bitta faza simi (tolasi) uchun tasvirlanadi va hisoblanadi, faza simini bo'laklanganida esa – fazadagi simlar soni va havo liniyasi konstruktsiyasining ekvivalent radiusini hisobga olib bajariladi. Sig'im o'tkazuvchanlik V_s , faza simlari orasidagi va faza simlari bilan er orasidagi o'tkazuvchanlikni hisobga oladi va liniyaning yaxlit uch fazali konstruktsiyasining zaryadlovchi quvvati generatsiyasini ifodalaydi:

$$Q_{c1} = \frac{1}{2} B_c U_1^2 \quad Q_{c2} = \frac{1}{2} B_c U_2^2$$



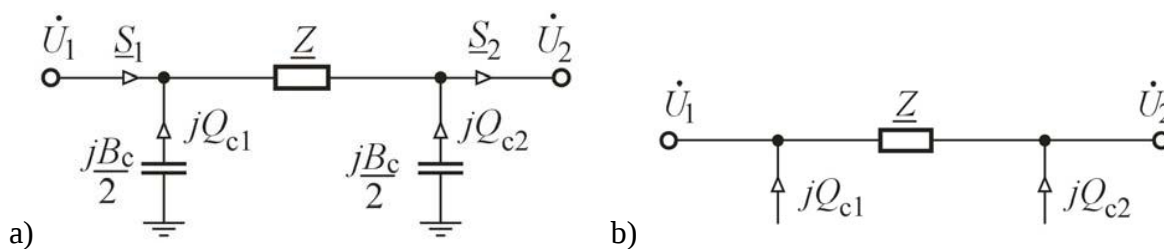
4.20-rasm. VL 220(330)–500 kV va KL 110–500 kV liniyalarning almashinish sxemasi:

a – to'liq ko'ndalang o'tkazuvchanliklari bilan; *b* – hisobiy sxema

Liniyaning aktiv o'tkazuvchanligi G faza simi bilan sxemaning nol potentsialli nuqtasi orasidagi shunt ko'rinishida bo'lib, uch fazadagi toj razryadi (yoki izolyatsiya orqali kyetgan) quvvat isroflari yig'indisini o'z ichiga oladi:

$$\Delta P_{k1} = \frac{1}{2} G U_1^2 \quad \text{va} \quad \Delta P_{k2} = \frac{1}{2} G U_2^2 \quad (4.38)$$

Liniyaning ko'ndalang o'tkazuvchanligi (shuntlar) $Y = G + jX$ almashinish sxemalarida keltirmaslik mumkin, bu shuntlarning quvvatlari bilan almashinish mumkin (4.20, b-rasm; 4.21, b-rasm).



4.21-rasm. VL 110–220 kV va KL 35 kV liniyalarni almashinish sxemasi: a – sig'im o'tkazuvchanlikli; b – o'tkazuvchanlik o'rniga zaryadlanish quvvati

Masalan aktiv o'tkazuvchanlik o'rniga havo liniyasining aktiv quvvat isroflarini ko'rsatadi:

$$\Delta R_{k1} = \Delta R_{k2} = \frac{1}{2} \Delta R_k^o L \quad (4.39)$$

yoki kabel liniyasi izolyatsiyasidagi aktiv quvvat isroflari:

$$\Delta P_{iz1} = \Delta P_{iz2} = \frac{1}{2} q_0 L \operatorname{tg} \delta \quad (4.40)$$

Liniyaning sig'im o'tkazuvchanligi o'rniga generatsiyalovchi zaryadlanish quvvati yozilsa quyidagiga ega bo'lamiz:

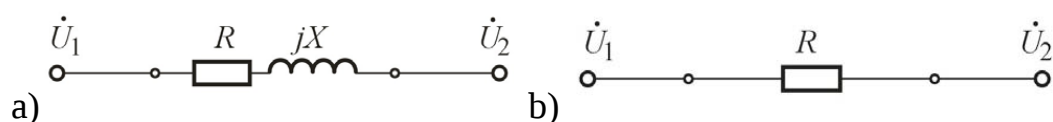
$$Q_{c1} = Q_{c2} = \frac{1}{2} B_c U_{nom}^2 \quad (4.40a)$$

Elektr uzatish tarmoqlarining ko'ndalang zanjirlarini ko'rsatib o'tilganiday yuklamalar ko'rinishda hisobga olish elektr rejimlarini baholashni soddalashtiradi. Liniyalarning bunday almashinish sxemalari hisobiy deb ataladi (4.20, b-rasm; 4.21, b-rasm). Kuchlanishi 220 kV gacha bo'lgan elektr uzatish tarmoqlarida, u yoki bu parametrlarni, ma'lum bir sharoitlarda, agar ularning elektr tarmoq ishiga ta'siri sezilarli bo'lmasa, hisobga olinmasligi mumkin. Yuqorida aytilganlarni hisobga olib, 4.1-rasmda ko'rsatilgan liniyaning almashinish sxemasini, qator holatlarda soddalashtirilishi mumkin.

Kuchlanishi 220 kV gacha bo'lgan havo elektr uzatish tarmoqlarida toj razryadi quvvat isroflari va 35 kVgacha bo'lgan kabel liniyalarida dielektrik

isroflar sezilarsiz bo'ladi. Shu sababli elektr rejimlar hisobida ular hisobga olinmaydi va aktiv o'tkazuvchanlik kattaliklari nolga teng deb qabul qilinadi (4.21-rasm). Havo liniyalarining elektr energiyasi isroflari hisobida aktiv o'tkazuvchanlikni kuchlanishi 220 kV dan boshlab va kabel liniyalarida 110 kV kuchlanishdan boshlab hisobga olish kerak bo'ladi. 500 kVli liniyalarda shu bilan birga elektr rejimlari hisobida ham aktiv o'tkazuvchanlik hisobga olinishi kerak bo'ladi (4.20-rasm). elektr uzatish tarmoqlari sig'imi va zaryad quvvatini hisobga olish zarurati zaryadlovchi va yuklama quvvatlari kattaliklarining bir biriga yaqinligi bilan aniqlanadi. Qisqa masofalarga tortilgan, kuchlanishi 35 kVgacha bo'lgan mahalliy liniyalarda zaryad toki va quvvati yuklama quvvatlaridan anchagina kichik bo'ladi. Shu sababli kabel liniyalarida, sig'im o'tkazuvchanlik, liniya kuchlanishi 35 kV va undan yuqori bo'lganida hisobga olinadi, shu klassli havo liniyalarida esa hisobga olmaslik mumkin.

Olisroq masofalarga tortilgan (40–50 km va undan ortiq), kuchlanishii 110 kV va undan yuqori bo'lgan rayon elektr tarmoqlarida zaryad quvvati yuklama quvvatlari bilan kattaligiga ko'ra bir biriga yaqinlashadi va ularni yoki to'g'ridan to'g'ri (4.21, *b*-rasm), yoki o'rnini olish sxemasiga sig'im o'tkazuvchanlik kiritib (4.21, *a*-rasm) hisobga olish kerak bo'ladi.



4.22-rasm. Havo va kabel liniyalarining almashinish sxemalari: *a* – HEUL 0,38–35 kV va KL 0,38–20 kV uchun; *b* – kichik kesim yuzali KL 0,38–10 kV uchun

Kesim yuzasi 16–35 mm² simli havo elektr tarmoqlarida aktiv qarshilik asosiy qarshilikni tashkil qiladi, induktiv qarshilik hisobga olinmaydi, katta kesim yuzali o'tkazgich simli havo elektr tarmoqlarida, kesim yuzasi 240 mm² va kuchlanishi 110 kV dan yuqori bo'lgan elektr uzatish tarmoqlarining elektr qarshiligi asosan induktiv qarshilik hisobiga bo'ladi, tarmoqning aktiv qarshiligi hisobga olinmaydi. O'rtacha kesim yuzali kuchlanishi 35 kV bo'lgan havo elektr

uzatish tarmoqlari o'tkazgich simlarining (50–185 mm²) aktiv va induktiv qarshiliklari bir biriga yaqin bo'ladi va ikkala qarshilik ham hisobga olinadi. Kuchlanishi 10 kV gacha bo'lgan, nisbatan kichik kesim yuzali kabel liniyalarida (50 mm² va undan kam) asosiy qarshilik aktiv qarshilik bo'ladi, va bunda induktiv qarshilik hisobga olinmasligi mumkin (4.22-rasm). Induktiv qarshilikni hisobga olish zarurati yana umumiy elektr yuklamadagi tokning reaktiv tashkil etuvchisining hissasiga bog'lik bo'ladi.

Past aktiv quvvat koeffitsientli ($\cos\varphi < 0,8$) kabel tarmoqlar rejimlarini tahlilida tarmoqning induktiv qarshiligini hisobga olish kerak bo'ladi. Aks holda xatoliklar yuzaga kelib, kuchlanishlar yo'qolishlarining haqiqiy kattaliklarining kamayishiga olib keladi. Doimiy tok tarmog'ining almashinish sxemasi o'zgaruvchan tok tarmog'ining reaktiv qarshiligi bo'lmagan, $X = 0$ i $b = 0$, xususiy holati deb qabul qilinishi mumkin.

4.6.Po'lat simli elektr tarmoqlar

Po'lat simlarning asosiy afzalligi uning mexanik mustahkamligining yuqoriligidir. Xususan po'lat simlarning vaqt bo'yicha uzilishga qarshiligi 600–700 MPa (60–70 kg/mm²) va undan ortiq bo'lishi mumkin. SHu sababli elektr uzatish tarmoqlari trassasidagi katta masofali to'siqlardan (keng daryolar, tog' daralari va boshqa to'siqlar) o'tishda po'lat simlardan foydalaniladi. Lekin po'latning elektr qarshiligi, og'irligi va zichligi katta bo'lib, katta yuklamalar uchun yaroqsiz bo'ladi. Po'latning solishtirma qarshiligi mis va alyuminiyga nisbatan 3-5 barobar katta bo'ladi. Uning solishtirma qarshiligi $\rho = 130 \text{ Om mm}^2 / \text{km}$ atrofida bo'ladi va uning markasi, tarkibi, tayyorlanish usuli va undan oqib o'tayotgan tok kattaligiga (simning haroratiga) bog'liq bo'ladi. SHu sababli katta quvvatlarni olis masofalarga uzatish uchun po'lat yaroqsiz bo'ladi, tarmoqda elektr energiya isroflari ortib ketadi .

Po'lat simli havo elektr uzatish liniyalari kam yuklangan, kichik quvvatlarni (bir necha o'n kVt gacha) olis bo'lmagan masofalarga uzatishda, elektr energiyasini 6,10 kV taqsimlovchi tarmoqlarda va 1000 voltgacha bo'lgan kuchlanishli ta'minlovchi tarmoqlarda ishlatiladi. Yana po'lat simlar yuqori kuchlanishli liniyalarda (110 kV va undan yuqori) yashinqaytargich ximoya vositasi sifatida qo'llaniladi. Po'lat simlar tsinklangan po'lat simlardan tayyorlanadi. Tsinklanmagan po'latning xizmat muddati qisqa bo'ladi, po'lat simlar tez zanglaydi va havo liniyalarida foydalanishga yaroqsiz bo'lib qoladi. Po'lat – ferromagnit material bo'lib, katta ichki induktivlikka ega bo'ladi. Po'lat simlarning aktiv va reaktiv qarshiliklari undan oqib o'tayotgan tokka bog'liq bo'ladi. Tok kattaligi kam bo'lganida (nolga yaqin bo'lsa), simda magnit maydoni kuchsiz bo'ladi va simning omik va aktiv qarshiligi bir biriga yaqin bo'ladi. Bu qarshiliklar orasidagi farq materialning magnit kirituvchanligi va sim diametri ortishi bilan ortib boradi.

O'zgaruvchan tok tarmog'ida magnit maydoni doimo o'zgarib turganligi uchun, tok ortishi bilan materialdagi energiya isroflari ham ortib boradi. Bundan tashqari materialda uyurma toklar hosil bo'lib, qo'shimcha isroflarga olib keladi. Po'lat simlarda sirt effekti kuchli namoyon bo'ladi. Aytib o'tilgan aktiv quvvat isroflari po'lat simlarning aktiv qarshiligining tashkil etuvchilari sifatida hisobga olinadi: $R_0 = R_0' + R_0''$,

bu yerda: R_0' – po'lat simning doimiy tokdagi qarshiligi (omik qarshilik):

$$R_0'' = R_{0sirt.ef} + R_{0gist} + R_{0uyurma} + R_{0qo'shimcha} \dots$$

Po'lat sim, rangli metallarga nisbatan ko'proq, magnit kirituvchanlikka ega bo'ladi ($\mu > 1$) (mis va alyuminiy). Po'lat simli havo elektr uzatish tarmoqlarining o'zgaruvchan tokka aktiv qarshiligi, shu kesim yuzali mis yoki alyuminiy simli tarmoqlarga nisbatan yuqori bo'ladi. O'tkazgich simlardagi qo'shimcha energiya isroflari miqdori sim kesimidagi magnit oqimiga bog'liq bo'ladi. Magnit oqimi esa o'z navbatida, sim materialining magnit singdiruvchanligiga μ va magnit maydon kuchlanganligiga H bog'liq bo'ladi: $F = BF = \mu HF$,

bu yerda: V – magnit induktsiyasi,

F – o'tkazgich simning ko'ndalang kesim yuzasi.

Magnit maydon kuchlanganligi o'tkazgich simdagi tok kattaligiga proporsional bo'ladi: ($H \sim I$), magnit induktsiyasi kattaligi esa tok kattaligi va po'lat sim materialining to'yinish darajasi bilan aniqlanadi. SHu sababli tok kichik bo'lganida magnit oqimi va simning qo'shimcha qarshiliklari tok ortishiga proporsional o'zgaradi. Tokning ma'lum bir qiymatlaridan boshlab ortishi magnit maydon induktsiyasiga ta'sir qilmay qoladi, (po'lat to'yingan bo'ladi), va qarshilik stabillashadi. Tokning keyingi ortib borishida, materialning qarshiligi, po'latning magnit singdiruvchanligi kamayishi natijasida, kamaya boradi.

Bir va ko'p tolali po'lat simli tarmoqning aktiv qarshiligining yuklama tokiga bog'liqlik egri chiziqlari 4.23- rasmda (1-egri chiziq) ko'rsatilgan. Po'lat simlarning aktiv qarshiligi bir necha faktorlarga bog'liq bo'ladi (po'latning kimyoviy tarkibi, tokli yuklamaga va boshqa lar), va matematik ifoda bilan aniqlanishi qiyin bo'lgan murakkab funktsiyadir. Elektr uzatish tarmog'ining po'lat simlarining aktiv qarshiligini aniqlash uchun jadval va grafik ma'lumotlardan foydalaniladi. Ular simlarning turli kesim yuzalari va yuklama toklari uchun ishlab chiqilgan bo'ladi. Po'lat simning induktiv qarshiligi ham ikki tashkil etuvchilardan iborat bo'ladi: tashqi induktiv qarshilik X_0' va ichki induktiv qarshilik X_0'' , Om/km:

$$X_0 = X_0' + X_0''.$$

Po'lat simning tashqi induktiv qarshiligi, Om/km, tashqi magnit oqimiga bog'liq bo'ladi, liniyaning geometrik razmerlariga bog'liq bo'ladi va quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

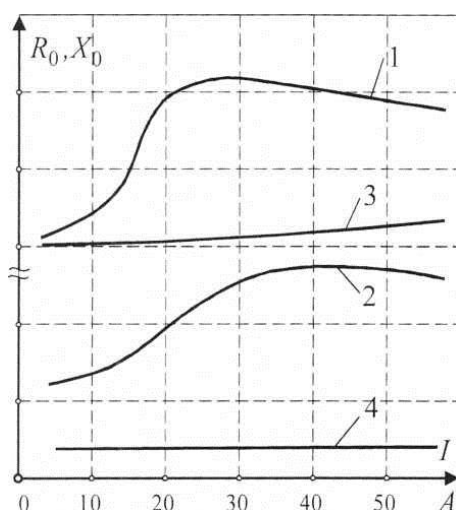
$$X_0' = 2\pi f \cdot 0,46 \lg \frac{D_{o'rt}}{r_s} \cdot 10^{-3} = 0,144 \lg \frac{D_{o'rt}}{r_s} \quad (4.41)$$

Po'lat simning tashqi induktiv qarshiligi, Om/km, po'lat simning ichki qismidagi aylanayotgan magnit oqimiga bog'liq bo'lib, materialning magnit singdiruvchanligiga, va u yana o'z navbatida po'lat simning konstruksiyasi, kimyoviy tarkibiga va yuklama tokiga bog'liq bo'ladi.

$$X_0'' = 2\pi f \cdot 0,05\mu \cdot 10^{-3} = 0,016\mu \quad (4.41-a)$$

Po'lat simning ichki induktiv qarshiligini aniqlash uchun manbalarda keltirilgan eksperimental ma'lumotlardan foydalaniladi. Simning ichki induktiv qarshiligini aniqlash uchun (4.31) qo'llaniladi. Po'lat simning ichki induktiv qarshiligi kattaligi bo'yicha simning tashqi induktiv qarshiligidan va shu konstruktsiyali va o'lchamli rangli metaldan tayyorlangan simlarning qarshiligidan sezilarli darajada katta bo'ladi.

Rangli metallardan tayyorlangan simli elektr uzatish tarmoqlarining qarshiligi asosan tashqi magnit oqimi bilan bog'liq bo'ladi. 4.23-rasmda PS 25 markali simning aktiv (rezistiv) (1-egri chiziq) va reaktiv (2-egri chiziq) qarshiliklarining o'zgaruvchan tok kattaligiga bog'liqlik egri chiziqlari keltirilgan.



4.23.-rasm. Po'lat (1,2) va alyuminiy (3, 4) simlarning qarshiliklari: aktiv (1, 3) va induktiv (2, 4) qarshiligining o'zgarishlari.

Solishtirish uchun o'tkazgich simning doimiy tokka qarshiligining o'zgarishi, 3-egri chiziq, va 4-egri chiziq – alyuminiy simlarning induktiv qarshiligi keltirilgan. Bir tolali simning aktivnye va reaktiv qarshiliklari sim diametri oshgan sari tez ortadi. Shu sababli elektr uzatish tarmoqlarida bir tolali simlar diametri 5 mm gacha bo'ladi.

O'tkazgich simlarning kesim yuzasi 25 mm^2 va undan yuqori bo'lsa ko'ptolali qilib bajariladi. Ko'ptolali simlar birtolali simlarga nisbatan sezilarli darajada yuqori elektr va mexanik xarakteristikalariga ega bo'ladi, va kesim yuzasiga bog'liq bo'lmaydi. Ko'ptolali simlarda simning buralgan tolalari orasida havo bo'shlig'i bo'lganligidan materialning magnit oqimiga qarshiligi keskin ortadi. Sim ichida magnit oqim kamayadi, simning aktiv va reaktiv qarshiligi ham kamayadi. Umuman olganda, po'lat simlarning solishtirma aktiv va reaktiv qarshiliklari shunday kesim yuzali rangli metaldan tayyorlangan simlarning aktiv va reaktiv qarshiliklaridan bir necha barobar katta bo'ladi. Bundan kelib chiqib, po'lat simli elektr uzatish tarmoqlarida yuklama toki ortishi bilan po'lat simlarning qarshiligi ortadi, kuchlanishning pasayishi ham ortadi, tarmoqning quvvat o'tkazish imkoniyatlari kamayadi. SHu sabablarga ko'ra po'lat simli tarmoqlarning qo'llanilishi juda chegaralangan.

Tekshirish uchun savollar

1. Elektr uzatish tarmoqlari konstruksiyasi bo'yicha qanday turlanadi?
2. Elektr uzatish tarmoqlari qanday omillar bo'yicha tanlanadi?
3. Havo elektr uzatish tarmoqlari konstruksiyasi materialiga qanday talablar qo'yiladi?
4. Havo elektr uzatish tarmoqlari qanday konstruktiv elementlardan iborat bo'ladi?
5. Havo elektr uzatish tarmoqlari qanday geometrik xarakteristikalar bilan aniqlanadi?
6. Havo elektr uzatish tarmoqlari da tayanchlar nima vazifani bajaradi?
7. Havo elektr uzatish tarmoqlarida tayanchlar turlarini ayting.
8. Yog'och, temir va temir-beton tayanchlarning qanday afzalliklari bor?
9. Havo elektr uzatish tarmoqlarida qanday o'tkazgich materiallar qo'llaniladi?
10. Mis, alyumin, va po'latli-alyumin simlarni solishtiring?

11. Havo elektr uzatish tarmoqlari qanday tipli izolyatorlar foydalaniladi?
12. Havo elektr uzatish tarmoqlarida qanday armaturlar qo'llaniladi, ularning vazifasi nimadan iborat?
13. Izolyatsiyali simlarda qurilgan EUL konstruksiyasi qanday bo'ladi?
14. Kabel nima, kabelli liniyalar qachon qo'llaniladi?
17. Kabel liniyalarning afzalliklari va kamchiligi nimada?
18. Kabel liniyalarining o'rnatish usullari qanday bo'ladi?
19. Kabel liniyalarining havo EUL dan afzalliklari nimada?
20. Kabel liniyalari qanday tanlanadi uning o'rnatish usullari qanday tanlanadi?
21. Almashinish sxemalari nima maqsadda ishlatiladi?
22. Almashinish sxemalarining bo'ylama va ko'ndalang elementlari nimalardan iborat bo'ladi?
23. Havo elektr uzatish tarmoqlari ning aktiv qarshiligining fizik mohiyatini tushuntiring?
24. O'tkazgich simlarning harorati qachon va kanday holatda hisobga olinadi?
25. Havo va kabel elektr uzatish tarmoqlarining induktiv qarshiligining fizik mohiyatini tushuntiring?
26. Havo va kabel elektr uzatish tarmoqlarining induktiv qarshiligi nimalarga bog'liq?
27. Havo elektr uzatish tarmoqlarining aktiv qarshiligining turli kuchlanishlardagi qiymatlari qanday bo'ladi?
28. O'tkazgich simlarning qarshiligi ularning kesim yuzasiga qanday bog'langan bo'ladi?
29. Havo elektr uzatish tarmoqlarining sig'im qarshiligining mohiyatini tushuntiring, uning kattaligi nimaga bog'liq?
30. Havo elektr uzatish tarmoqlarining sig'im qarshiligining kattaligi uning kesim yuzasiga qanday bog'liqligi bor?
31. Nima uchun havo elektr uzatish tarmoqlarining induktiv qarshiligi shunday kesim yuzali kabeldan kattaroq bo'ladi?

32. Havo elektr uzatish tarmoqlarining sig'im qarshiligini kamaytirish uchun faza konstruktsiyasida kandy o'zgasharishlar qilish kerak bo'ladi?

33. Havo elektr uzatish tarmoqlarining induktiv qarshiligini kamaytirish uchun faza konstruktsiyasida kandy o'zgasharishlar qilish kerak bo'ladi?

34. Nima uchun havo elektr uzatish tarmoqlarida faza simlarining o'rni almashtiriladi ?

35. Havo elektr uzatish tarmoqlarining toj razryadi kandy sharoitlarda yuzaga keladi?

36. Havo elektr uzatish tarmoqlarining toj razryadi nima uchun yomon ob-havoda kuchayadi?

LEKTSIYA 4. XARAKTERISTIKA I RASCHYOT PARAMETROV SXEM ZAMEENENIYA VOZDUSHNYX I KABELNYX LINIY

37. Havo elektr uzatish tarmoqlarining toj razryadi isroflarini kamaytirish uchun qanday chiralalar qo'llaniladi?

38. Kabel liniyasining aktiv qarshiligi nimalarga bog'liq bo'ladi?

39. Elektr uzatish tarmoqlari izolyatsiyasi sifati nimaga bog'liq bo'ladi?

41. Nima uchun birxil kesimli havo va kabel liniyasining induktiv qarshiligi har xil bo'ladi?

42. Nima uchun EUL zaryad quvvati manbai bo'ladi?

43. Elektr uzatish tarmoqlari ning zaryad quvvati konstruktsiyasi va nominal kuchlanishi bilan qanday bog'langan?

44. Almashinish sxemasi parametrlariga qarab elektr uzatish tarmoqlari uzunligi qanday aniqlanadi?

45. Sig'imi (zaryad quvvati) ma'lum bo'lsa elektr uzatish tarmoqlari uzunligi qanday aniqlanadi?

47. Xavo va kabel liniyalarida asosiy izolyatsiya?

48. Nima uchun faza simlari bir nechta simga bo'laklanadi ?

49. 220, 500 kVli havo elektr uzatish tarmoqlari faza simlari nechta simga bo'laklanadi?

50. Bo'laklangan faza simli elektr uzatish tarmoqlari qanday nominal kuchlanishli bo'ladi?

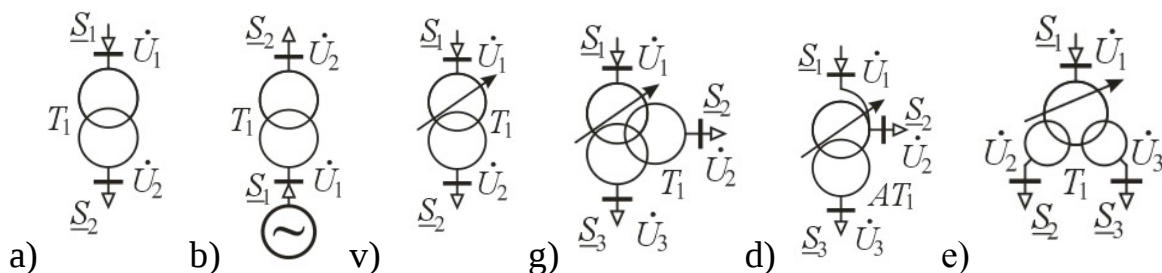
51. Bo'laklangan faza simlarining ekvivalent radiusi qanday aniqlanadi?

5 bob. KUCH TRANSFORMATORLARINING PARAMETRLARI VA ALMASHINISH SXEMALARI

5.1. Ikki chulg'amli transformatorlarning almashinish sxemalari

Elektr energiyasini olis masofalarga uzatish uchun 110, 220 va 500 kV li kuchlanishlar qo'llaniladi. Elektr energiyasini taqsimlash uchun 6–35(110) kV kuchlanishli liniyalar ishlatiladi. Elektr iste'molchilar esa kuchlanishi 0,4... 10 (6) kVli tarmoqlarga ulanadi. Mos kuchlanish pog'onalarini olish uchun, hamda elektr tarmoqning turli kuchlanishli qismlarini bog'lab turish va elektr energiyasini taqsimlash uchun transformatorlar podstantsiyalari ishlatiladi. Elektr tarmoqlarda asosan uch fazali kuch transformatorlari va avtotransformatorlar qo'llaniladi. Elektroenergetika sistemasining elektrostantsiyalari va podstantsiyalarida asosan ikki va uchchulg'amli kuch transformatorlari va avtotransformatorlar ishlatiladi. Katta quvvatli yuklamalarni uzatishda fazalari uch fazali guruxga ulangan uchta bir fazali transformatorlar ham ishlatiladi. Pasaytiruvchi va kuchaytiruvchi kuch transformatorlari va

avtotransformatorlarning elektr ta'minoti sistemalarining elektr sxemalarida shartli belgilanishi 5.1-rasmda keltirilgan

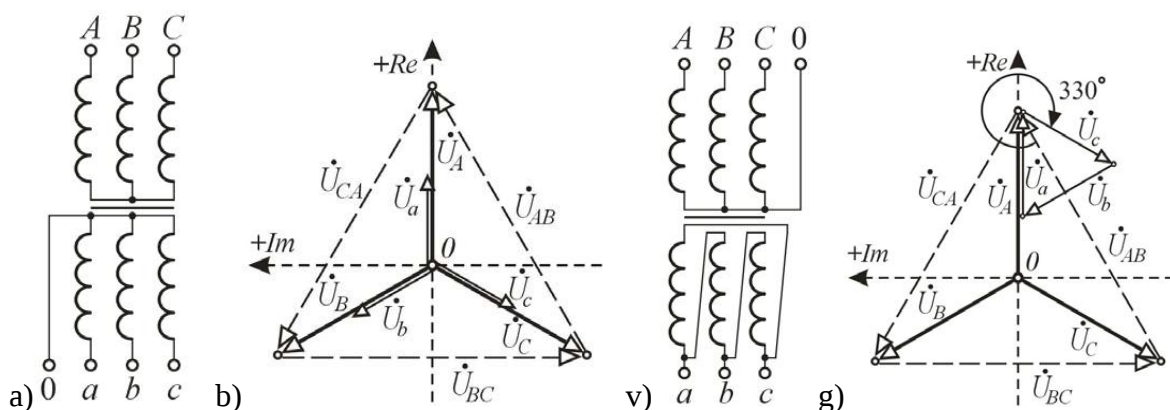


5.1-rasm. Transformatorlar va avtotransformatorlarning sxemalarda shartli belgilanishi: *a, b* – ikkichulg’amli rostlanmaydigan; *v* – rostlanuvchi; *g* – uchchulg’amli rostlanuvchi; *d* – avtotransformator; *e* – rostlanuvchi past kuchlanishli bo’laklangan chulg’amli transformator.

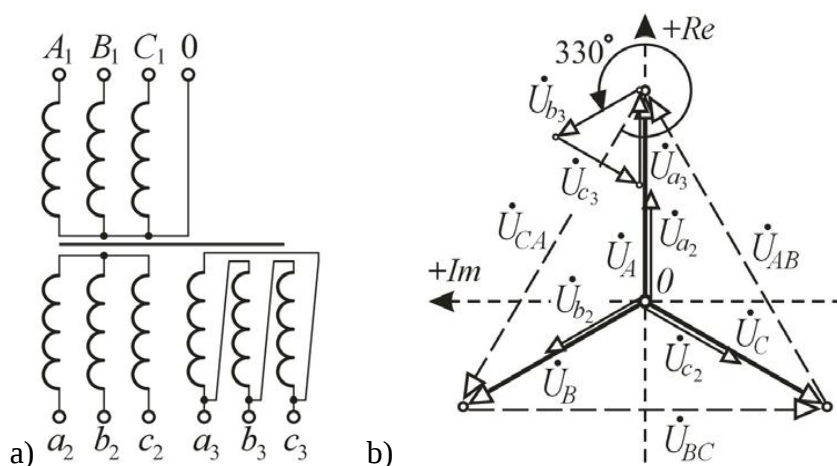
Strelkalar ikki chulg’amli transformatorning past U_2 va yuqori U_1 kuchlanish shinalaridagi S_1 va S_2 elektr yuklamalarni ko’rsatadi. (5.1, a–e-rasm). Uch chulg’amli transformatorlari va avtotransformatorlarda strelkalar yuqori U_1 , o’rta U_2 va past U_3 kuchlanish shinalaridagi S_1 , S_2 va S_3 elektr yuklamalarni ifodalaydi (5.1, *g, d*-rasm). Boshqa strelka esa transformatorlarda kuchlanish ostida rostlash tizimi (KOR) borligini ko’rsatadi. Sxemada strelkasi bo’lmasa transformatorlarda kuchlanish qo’lda rostlanadigan bo’ladi va kuchlanish unda transformatorni manbadan uzib bajariladi.

Ikki- va uch-chulg’amli kuch transformatorlari va avtotransformatorlarining printsiplial elektr sxemalari 5.2 va 5.3- rasmlarda ko’rsatilgan. Ikki chulg’amli kuch transformatorlarining yuqori kuchlanish chulg’amlari (YuK) 6–35 kV ko’proq uchburchak, ayrim hollarda esa yulduz sxemada ulangan (neytrali izolyatsiyalangan yoki nol sim chiqarilgan bo’ladi, past kuchlanishli chulg’amlari esa (PK) 0,4/0,23 kV va 0,69/0,4 kV nol simli yulduz sxemasida ulangan bo’ladi. Masalan ulanish guruxi Y/Y₀–0 ko’rinishda bo’lgan sxema (5.2, *a*-rasm) ko’rsatilgan. Agar kuchlanish yuqoriroq bo’lsa, transformatorning yuqori kuchlanish chulg’amlari (YuK 110, 150, 220 kV) “yulduz” past kuchlanish chulg’amlari esa, PK (6–10 kV), uchburchak sxemada ulanadi, bunda

transformatorning ulanish gruppasi - sxemasi $Y_n / \Delta - 11$ ko'rinishda bo'ladi (5.2, b-rasm).



5.2-rasm. Transformatorlarning chulg'amlarining ulanish sxemalari: a – yulduz – yulduz; b, g – kuchlanishlar vektor diagrammasi; v – yulduz – uchburchak



5.3-rasm. Uchchulg'amli transformatorlarning chulg'amlarining ulanish sxemalari : a – uchchulg'amli transformator nolli yulduz-yulduz-uchburchak; b – kuchlanishlar vektor diagrammasi

(YuK 110, 150, 220 kV) kuchlanishli uch-chulg'amli transformatorning o'rta kuchlanish va past kuchlanish chulg'amlari mos ravishda yulduz neytrali chiqarilgan va izolyatsiyalangan sxemada ulangan. Past kuchlanish chulg'ami 6, 10, 35 kV kuchlanishda bo'lsa u uchburchak sxemada ulanadi, bunda transformatorning ulanish gruppasi mos ravishda $Y_n / Y / \Delta - 0 / 0 / 11$ ko'rinishda bo'ladi (5.3 - rasm).

Yuqori kuchlanishi 110, 220, 330, 500, 750 kV bo'lgan avtotransformatrlarning umumiy chulg'amlari yulduz sxemada ulanadi va neytrali chuqur (gluxo) yerga ulanadi (5.4 - rasm). Kuch transformatorlari va avtotransformatrlari quyidagi ko'rsatkichlari bilan xarakterlanadi:

S_{nom} – transformatorning nominal quvvati, kVA;

U_{nom} – ulanayotgan tarmoqning nominal fazalaroro (liniya) kuchlanishi;

ΔP_k – aktiv quvvat isroflari, kuch transformatorining chulg'amlaridagi qisqa tutashuv isroflari, kVt;

ΔP_x – transformatorning magnit qismidagi salt ishlash aktiv quvvat isrofi, kVt;

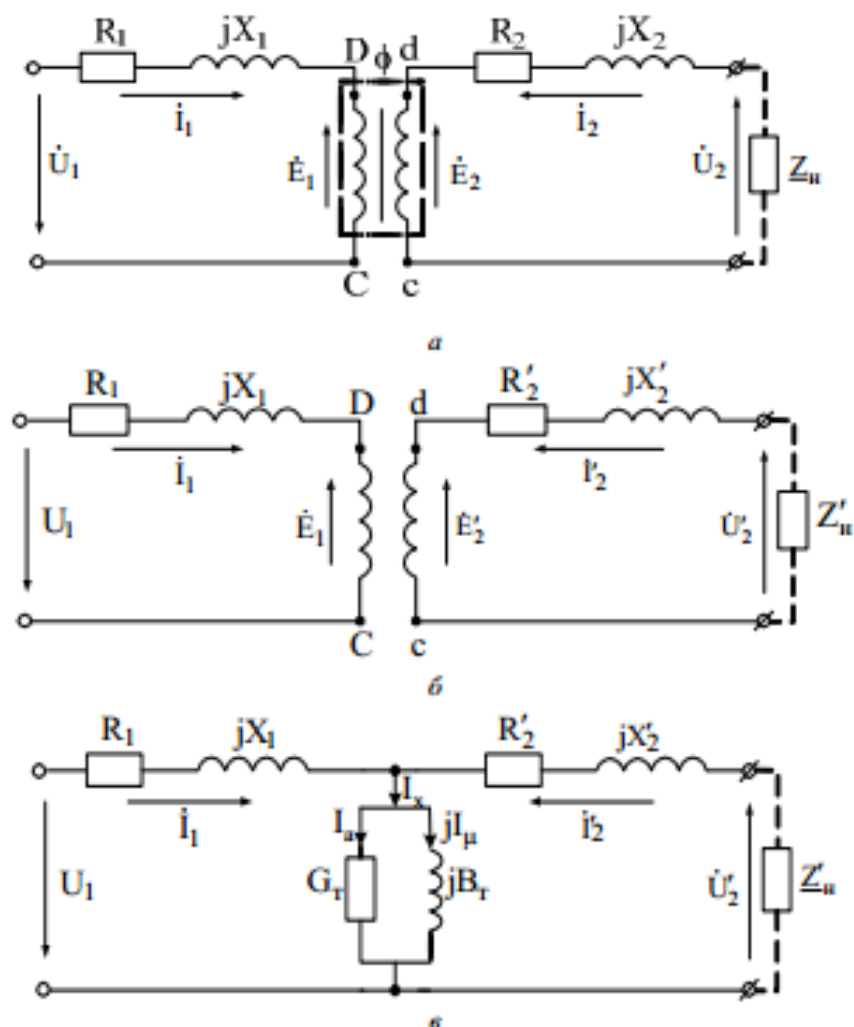
U_k – transformatorning qisqa tutashuv kuchlanishining nisbiy qiymati, %;

I_x – transformatorning salt ishlash tokining nisbiy qiymati, %.

Ko'rsatilgan katalog ma'lumotlariga asosan, transformatsiyalovchi qurilmalarning almashinish sxemasining barcha hisobiy parametrlarini aniqlaymiz: qarshiliklari, o'tkazuvchanligi, transformatsiya koeffitsienti. Ko'rsatilgan parametrlar tarmoqdagi elektr energiyasi va quvvat isroflariga ta'sir qiladi, shu sababli ular, elektr tarmoqlarning ish rejimlarining hisoblarida va tahlilida hisobga olinadi.

Ikki chulg'amli transformatorlar. Fazalari bir xil yuklangan uch fazali elektr tarmoqlarning rejimlarini hisoblashda hisobiy sxemalarda transformatorlar bitta faza uchun bajarilgan o'rnini olish sxemasi bilan ko'rsatiladi. Transformatorlarning o'rnini olish sxemasi bilan uning real sxema-rejim parametrlari orasidagi bog'lanishlarini aniqlanadi. Transformatorning chulg'amlari umumiy magnit o'zakda joylashgan bo'ladi. SHu sababli sxema birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar o'zaro induktivlik bilan bog'langan konturlardan iborat bo'ladi (5.4-rasm). Transformatorlarning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari orasidagi magnitlovchi o'zak orqali bog'liqlik borligi transformator va elektr tarmoqlarning ish rejimlarini o'rganishda qiyinchiliklar

tug'diradi. Shu sababli hisoblarda chulg'amlar orasidagi magnit bog'liqlik elektr bog'lanish bilan almashinish qulay bo'ladi. Bunda rejimlar tahlili soddalashadi va nisbatan oddiy elektr tarmoq hisoblariga keltiriladi. Chulg'amlar orasidagi magnit bog'liqlik elektr bog'lanish bilan almashtirilgan sxema, transformatorning almashinish sxemasi deyiladi. Bunday sxemalar asosida transformator chulg'amlarining sochilgan magnit oqimlari $F_{\sigma 1}$ va $F_{\sigma 2}$ ta'siri, I_1 va I_2 tok oqib o'tayotgan chulg'amlarining induktiv qarshiliklari X_1 va X_2 ta'siriga ekvivalent bo'ladi degan tushuncha yotadi. Shunga mos ravishda transformatorni quyidagi sxema ko'rinishida tasvirlashimiz mumkin 5.4, a-rasm. Sxemada transformatorning har bir chulg'ami aktiv va induktiv qarshilikka ega bo'lgan g'altak bilan almashtiriladi. Magnit bog'langan, aktiv qarshiligi va sochilgan magnit oqimlari hisobga olinmagan haqiqiy chulg'amlarning transformatsiyalash koeffitsienti $k = W_1/W_2$ ko'rinishda bo'ladi.



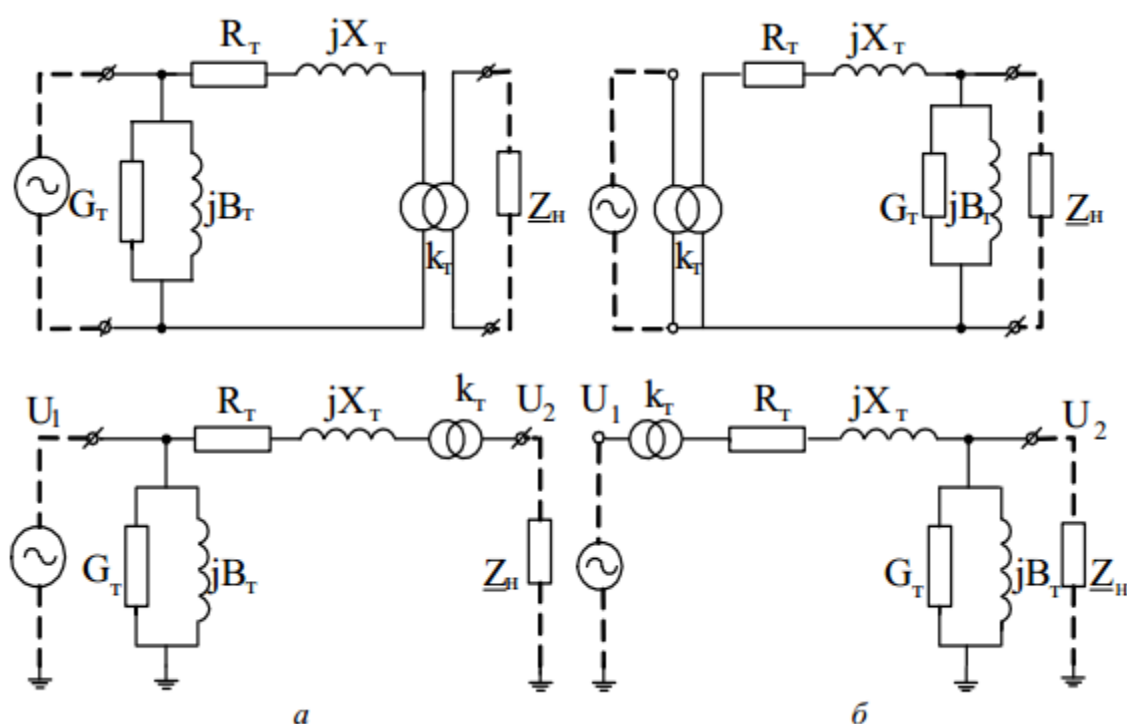
5.4 -rasm. Ikki chulg'amli transformatorning almashinish sxemasi: *a* – alohida chulg'amlarning almashinish sxemasi; *b* – keltirilgan transformator chulg'amlarining almashinish sxemasi; *v* – transformatorning T-shaklli almashinish sxemasi.

Agar ikkilamchi chulg'am birlamchi chulg'amiga, transformatsiyalash koeffitsienti $k = W_1/W_2$ ligini hisobga olib, keltirilsa quyidagi sxema ko'rinishida bo'ladi (5.4, *b*-rasm)

$$E'_2 = E_2 k, \quad U'_2 = U_2 k, \quad I'_2 = I_2 \frac{1}{k}, \quad Z'_2 = Z_2 k^2$$

Natijada ikki chulg'amli transformatorning eng aniq T-shaklli almashinish sxemasi shakllantiriladi (5.4, *v*-rasm). Sxema ko'ndalang va bo'ylama elementlarga ega. Bo'ylama elementlari bitta fazadagi birlamchi chulg'amning aktiv va induktiv qarshiliklari R_1 va X_1 va ikkilamchi chulg'amning aktiv va induktiv qarshiliklari R'_2 va X'_2 orqali tasvirlanadi. Ko'ndalang zanjiri–

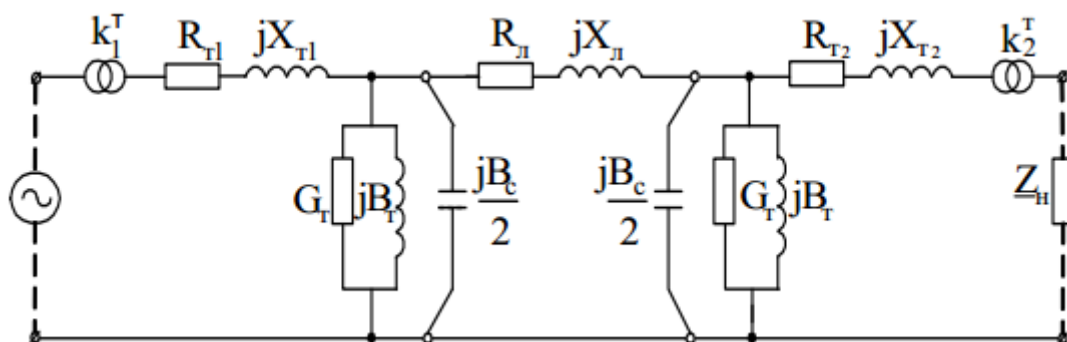
transformatorning magnitlovchi zanjiri, transformatorning I_x magnitlovchi tokining tashkil etuvchilari bo'lmish aktiv I_a va reaktiv I_μ toklari orqali aniqlanadigan aktiv G_T va induktiv jB_T o'tkazuvchanlik orqali tasvirlanadi. Tokning aktiv tashkil etuvchisi transformatorning po'lat o'zagidagi quvvat isroflari bilan, reaktiv tashkil etuvchisi esa transformator chulg'amlarining o'zaroinduktsiya magnitlovchi oqimi bilan aniqlanadi. Elektr tarmoqlar hisobida T-shaklli almashinish sxemasi noqulay, chunki bitta iste'molchisi bo'lgan ikki chulg'amli transformator hisobida hisobiy sxema ikki konturdan iborat bo'ladi. Shu sababli elektr tarmoqlar rejimlari hisobida ikki chulg'amli transformatorlar yetarli aniqlik bilan, oddiyroq bo'lgan, G-shaklli almashinish sxemasi bilan almashtiriladi (5.5-rasm) – o'tkazuvchanlik zanjirining ulanish xususiyatiga ko'ra to'g'ri va teskari ketma-ketlik (5.5, a, b-rasm).



5.5-rasm. Ikki chulg'amli transformatorning G-shaklli almashinish sxemasining turli ko'rinishlari: a – to'g'ri sxema; b – teskari (orqaga qaytish) sxemasi

Bunday sxemada magnitlovchi zanjir, T-shaklli sxemalardan farq qilib, odatda birlamchi tomonidan ulanadi, ya'ni transformator manbadan elektr energiya oladigan tomonga ulanadi (to'g'ri sxema): pasaytiruvchi transformatorlar

uchun – YuK tomonidan ulanadi, kuchaytiruvchi transformatorlar uchun – PK past kuchlanish tomonidan ulanadi. Ayrim holda Γ -shaklli sxema ishlatilganida yuzaga keladigan xatoliklarni qisman kompensatsiya qilish uchun, hamda elektr uzatish reversiv ishlaganida transformatorlardan biri, masalan pasaytiruvchi transformator, to'g'ri sxema bo'yicha ulanadi, ikkinchi transformator esa teskari sxema bo'yicha. (5.6-rasm).



5.6 - rasm. Mos ravishda kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi transformatorlarning G-shaklli to'g'ri va teskari sxemada ulangan almashinish sxemasi bo'lgan elektr uzatishning almashinish sxemasi.

Sxemaning aktiv va reaktiv qarshiliklari transformatorning, bitta kuchlanishga keltirilgan, ikkala chulg'amlarining qarshiliklari yig'indisiga teng bo'ladi. Agar sxema transformatorning yuqori kuchlanishiga keltirilgan bo'lsa, transformatorning chulg'amlari yig'indisi (o'tish qarshiligi) (5.6-rasm) quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$Z_m = Z_1 + Z'_2 = Z_1 + Z_2 \left(\frac{U_1^2}{U_2^2} \right) \quad (5.1)$$

bu yerda:

z'_2 – birlamchi kuchlanishga keltirilgan ikkilamchi chulg'amning to'la qarshiligi.

Agar sxema past kuchlanishga keltirilgan bo'lsa quyidagicha bo'ladi:

$$Z_m = Z'_1 + Z_2 = Z_2 + Z_1 \left(\frac{U_1^2}{U_2^2} \right) \quad (5.2)$$

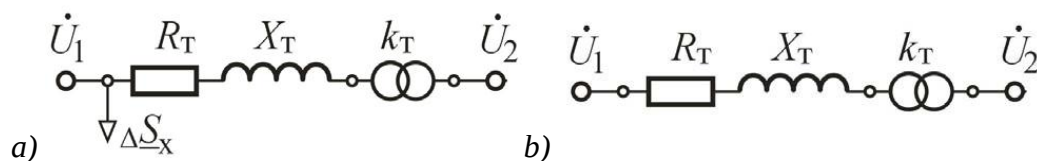
Bu yerda chulg'amlarning qarshiliklari yig'indisi transformatorning qarshiligi (aktiv va induktiv) deyiladi. Aktiv o'tkazuvchanlik – G_t , transformatorning po'lat o'zagida davriy magnitlanish (gisterezis) va uyurma

toklari hisobiga bo'layotgan aktiv quvvat isroflari, reaktiv o'tkazuvchanlik B_T – po'lat o'zagini magnitlovchi quvvat bilan bog'liq ravishda paydo bo'ladi. Bu o'tkazuvchanliklarning borligi transformatorning salt ishlash toki bilan bog'liq bo'ladi (asosan magnitlovchi tok), shu sababli yaqinlashuv hisoblarida transformatorning G-shaklli o'rnini olish sxemasida transformatorning o'tkazuvchanligi (magnitlovchi zanjir) o'zgarmas yuklama: $\Delta S_x = \Delta P_x + j\Delta Q_x$ bilan almashtiriladi. Bu yuklama kattaligi transformatorning salt ishlash quvvat isroflariga teng bo'ladi (5.7, a- rasm). Tenglamadagi birinchi qo'shiluvchi ΔP_x – transformatorning po'lat o'zagidagi aktiv quvvat isroflari, pasport kattalik; ikkinchi kattalik – transformatorning magnitlanish quvvati, u quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta Q_x = \frac{I_x}{100, \% } S_{nom} \quad (5.3)$$

bu yerda: I_x – nominal quvvati S_{nom} bo'lgan transformatorning salt ishlash toki

Magnitlovchi zanjiri salt ishlash quvvat isroflari bilan almashtirilgan o'rnini olish sxemasidan foydalanish kuchlanishi 220 kVgacha bo'lgan tarmoqlar uchun yo'l qo'yiladi. 6-35 kVli mahalliy taqsimlovchi tarmoqlarning rejimlarini hisoblashda transformatorning o'tkazuvchanligining ta'siri hisobga olinmaydi va uning o'rnini olish sxemasi soddalashadi, sxema ketma ket ulangan aktiv va induktiv qarshiliklardangina iborat bo'ladi (5.7, b- rasm).



5.7-rasm. Ikki-chulg'amli transformatorning soddalashtirilgan almashinish sxemasi:

a – ko'ndalang zanjir hisobga olingan; b – ko'ndalang zanjirni hisobga olinmagan holda.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlarda elektr energiyasi isroflarining tahlili va hisoblarida salt ishlash quvvat isroflarini hisobga olish kerak bo'ladi, chunki ular yuklama isroflari bilan qiymatlari bir biriga yaqin bo'ladi. Almashinish sxemalarida (5.7-rasm) transformator ideal deb qabul qilinadi, ya'ni transformatorning qarshiliklari hisobga olinmaydi, faqat transformatsiya borligi

ko'rsatiladi, bunda transformatorida faqat kuchlanish bir klassdan boshqa bir klassga o'tadi, quvvati to'liq saqlanib qoladi. Miqdor jihatdan bunday transformatsiya transformatorning salt ishlash rejimidagi birlamchi va ikkilamchi zanjimlaridagi kuchlanishlar nisbati bilan xarakterlanadi:

$$k_t = \frac{W_1}{W_2} \approx \frac{U_{1nom}}{U_{2nom}} \quad (5.4)$$

Bunday sxemalar elektr tarmoqlarning haqiqiy kuchlanishlarini hisobga olib ularning rejimlarini hisoblashda qo'llaniladi. Agar transformatorli bog'lanishga ega bo'lgan, parametrlari bir kuchlanish klassiga keltirilgan tarmoqlar ko'rib chiqilayotgan bo'lsa ideal transformator hisobga olinmaydi. Ikki chulg'amli transformatorlarning o'rnini olish sxemasining parametrlari transformatorning salt ishlash va qisqa tutashish tajribalari asosida tuzilgan katalog ma'lumotlari bo'yicha aniqlanadi. Transformatorning bitta faza chulg'amining aktiv va reaktiv qarshiliklari transformatorning qisqa tutashish tajribasidan aniqlanadi. Transformatorning qisqa tutashuv rejimi, agar uning birlamchi chulg'amiga kuchlanish berilgan bo'lsa va ikkilamchi chulg'ami chiqishlari qisqa tutashtirilgan bo'lsa, yuzaga keladi (ikkilamchi chulg'am kuchlanishi nolga teng, $U_2 = 0$). Transformatorning qisqa tutashuv rejimi, agar birlamchi chulg'am kuchlanishi nominal qiymatga ega bo'lsa, avariya rejim bo'ladi. Bunda tok kattaligi nominal qiymatidan 10-15 marta ortadi va transformatorning aktiv qismiga xavf tug'diradi. Transformatorning qisqa tutashuv tajribasini kuzatish uchun unga berilgan kuchlanish pasaytirilgan bo'ladi va uning qiymati transformator chulg'amlarida nominal tok bo'lishi uchun yetarli bo'ladi.

Ikki chulg'amli transformatorning qisqa tutashuv tajribasi 5.8, a-rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha o'tkaziladi. Tajribada transformatorga berilayotgan kuchlanish noldan, to transformator chulg'amlarida tok nominal qiymatiga yetganicha, ravon ko'tarilib boriladi. Transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarida nominal tok bo'lganida qisqa tutashtirilgan transformatoridagi

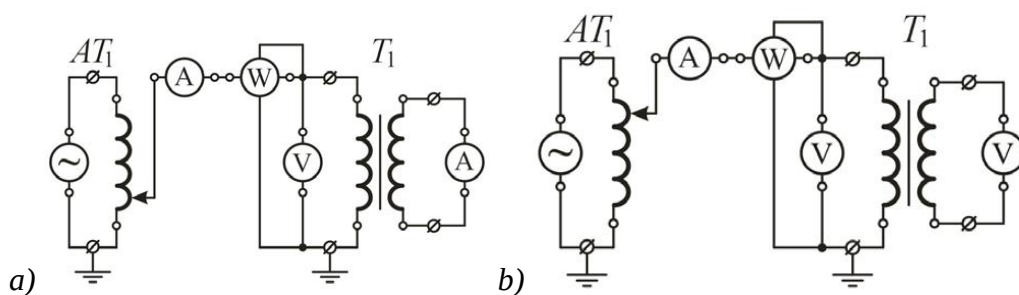
kuchlanish qisqa tutashish kuchlanishi u_k deyiladi va odatda nominal kuchlanishdan foizlarda olingan qiymatlarida ifodalanadi:

$$U_k = \frac{U_{1k}}{U_{nom}} 100\% = \frac{I_{nom}}{U_{nom}} \sqrt{3} Z_t 100\% \quad (5.5)$$

uning qiymati kuch transformatorlari uchun, 3–13 % atrofida bo'ladi.

Sxemada vattmetr W transformatorning chulg'amlari va po'lat magnit o'zagidagi aktiv quvvat isroflarini ko'rsatadi (ΔP_k) Kuchlanish miqdori kam bo'lganligi uchun transformatorning po'lat o'zagidagi quvvat isroflari u_k kam bo'ladi. SHu sababli sarf qilinayotgan quvvat isrofi transformatorning chulg'amlarini qizdirishga sarf bo'ladi. Bu yerda quvvat isrofi transformator chulg'amlarining mis simlarini qizishiga sarf bo'ladi $\Delta P_k = \Delta P_{m nom}$. Demak, injenerlik hisoblari uchun yetarli aniqlik bilan, qisqa tutashush rejimi uchun quyidagi ifodani yozishimiz mumkin:

$$\Delta P_{kf} = \Delta P_{m.nom}^f = I_{nom}^2 R_t = \frac{S_{f.nom}^2}{U_{f.nom}^2} R_t \quad (5.6)$$



5.8-rasm. Ikki chulg'amli transformatorning printsipl sxemasi: a – qisqa tutashuv tajribasi; b – salt ishlash tajribasi.

Quvvat isroflarini kilovatlarda, (kVt), kuchlanishni kilovoltlarda, (kV), va transformatorning nominal quvvati megavoltamperlarda, (MVA), qabul qilsak, qarshilik uchun quyidagi ifodani olamiz, Om:

$$R_t = \frac{\Delta P_{kf} U_{f.nom}^2}{S_{f.nom}^2} * 10^{-3} \quad (5.7)$$

Quvvat isroflarini uch faza uchun olinsa, $\Delta P_k = 3\Delta P_{kf}$, nominal liniya kuchlanishi $U_{nom} = 3U_{fnom}$ va uch fazali kuch transformatorning nominal quvvati $S_{nom} = 3S_{fnom}$, bo'lsa, ikki chulg'amli transformator chulg'amlarining nominal aktiv qarshiligi, Om larda quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$R_t = \frac{\Delta P_k U_{nom}^2}{S_{nom}^2} \cdot 10^{-3} \quad (5.8)$$

Transformatorning induktiv qarshiligining X_T kattaligi U_k qisqa tutashuv kuchlanishi bilan aniqlanadi. (5.5) ifodadan foydalanib transformatorning to'la qarshiligini aniqlash mumkin bo'ladi, Om:

$$Z_t = \frac{U_k}{100\% I_n \sqrt{3}} = \frac{U_k}{100\% S_{nom}} \quad (5.9)$$

Transformator chulg'amlarining reaktiv qarshiligi:

$$X_t = \sqrt{Z_t^2 - R_t^2} \quad (5.10)$$

Yetarli darajada katta quvvatli transformatorlar uchun (1000 kVA dan katta) $X_t \gg R_t$, bo'ladi, ya'ni qarshiliklar uchburchagi to'g'ri chitziqqa aylanadi. SHu sababli katta quvvatli transformatorlar uchun yetarli aniqlik bilan quyidagini qabul qilish mumkin:

$$X_t \approx Z_t = \frac{U_k}{100\% S_{nom}} \quad (5.11)$$

Agar qisqa tutashuv kuchlanishini nisbiy birliklarda ifodallasak va bazis kattalik sifatida transformatorning nominal parametrlari qabul qilinsa quyidagiga ega bo'lamiz:

$$u_t = \frac{U_k}{U_{1nom}} = \frac{I_{nom}}{U_{1nom}} \sqrt{3} Z_t = \frac{Z_t}{Z_b} = Z_t \quad (5.12)$$

(5.11) ifodani S_{nom}/U_{nom} ga ko'paytirib qarshilik ifodasi uchun olamiz:

$$Z_t = \frac{U_k}{100\% S_{nom}} \frac{S_{nom}}{U_{nom}^2} = u_{k*} \quad (5.13)$$

Shunday qilib, qisqa tutashuv kuchlanishi transformatorning ichki qarshiligini xarakterlaydi, va undagi kuchlanishning pasayishi va qisqa tutashuv toki kattaligiga ta'sir qiladi. Transformatorning almashinish sxemasidagi R_t va X_t qarshiliklar, shunday bog'lanish mavjud bo'lsada, qisqa tutashuv rejimida k ga bog'liq emas. Transformatorning chug'amlarini boshqa bo'laklariga o'tilganida

uning qarshiligi qisman o'zgarishi mumkin, lekin bu o'zgarish ayrim hollarda hisobga olinmasligi mumkin. Lekin transformatsiyalash koeffitsienti k_t sezilarli o'zgarsa (mos ravishda chulg'amdagi o'ramlar soni o'zgarishiga qarab) transformatorning qarshiligi pereklyuchatelining real holati uchun hisoblanadi. Transformatorning almashinish sxemasining o'tkazuvchanligi uning salt ishlash tajribasi natijalariga ko'ra aniqlanadi.

Ikki chulg'amli transformatorning salt ishlash tajribasini 5.8, b-rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha o'tkaziladi. Bunda ikkilamchi chulg'am ochiq bo'ladi, iste'molchilar ulanmagan bo'ladi, birlamchi chulg'amiga esa nominal kuchlanish beriladi. Vattmetr W ko'rsatishlari birlamchi chulg'am va po'lat elektromagnit o'zagidagi quvvat isroflarini aniqlaydi. Transformatorning salt ishlash toki juda kichik bo'lganligi uchun (0,7 dan 3,0 %gacha bo'ladi) transformatorning birlamchi chulg'amidagi aktiv quvvat isroflari sezilarsiz darajada kichik bo'ladi. Transformatorning G – shaklli o'rnini olish sxemasini qo'llab, barcha salt ishlash isroflarini po'lat elektromagnit o'zagidagi quvvat isroflari deb qabul qilib, uni salt ishlash rejimining jami isroflariga tenglaymiz: $\Delta P_{st} \approx \Delta P_x$.

Transformatorning bitta fazasi uchun quvvat isroflari quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta P_{fst} = U_{f.nom}^2 G_t = \frac{1}{3} U_{nom}^2 G_t \quad (5.14)$$

Uch fazali transformator parametrlari uchun quyidagicha yozamiz:

$$G_T = \frac{3 \Delta P_{stf}}{U_{nom}^2} = \frac{\Delta P_{st}}{U_{nom}^2}, \quad (5.15)$$

5.15 ifodadagi transformatorning salt ishlash isroflari ΔP_{st} kilovatlarda o'lchanganida, kuchlanishi U_{nom} kilovoltlarda bo'lsa, u quyidagi ko'rinish oladi:

$$G_T = \frac{3 \Delta P_x}{U_{nom}^2} 10^{-3} \quad (5.16)$$

Transformatorning po'lat o'zagidagi isroflarni ifodalovchi salt ishlash tokining aktiv tashkil etuvchisi uning reaktiv tashkil etuvchisidan 5-7 barobar kichik bo'ladi.

Agar salt ishlash rejimida tokning aktiv tashkil etuvchisini hisobga olmasak, to'la tok taxminan tokning reaktiv tashkil etuvchisiga teng bo'ladi: $I_\mu = I_x$, va magnitlovchi zanjirning reaktiv o'tkazuvchanligini V_t quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$I_x \approx U_f B_t = \frac{1}{\sqrt{3}} U B_t = \frac{1}{100\%} I_x I_{nom} = \frac{I_x}{100\%} \frac{S_{nom}}{\sqrt{3} U_{nom}} \quad (5.17)$$

5.16 ifodaga o'xshash transformatorning magnitlovchi zanjirining reaktiv o'tkazuvchanligi, S_m , quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$V_T = \frac{3 \Delta Q P_x}{U_{nom}^2} 10^{-3} = \frac{I_x}{100\%} \frac{S_{nom}}{U_{nom}^2} 10^{-3} \quad (5.18)$$

bu yerda: I_x – transformatorning salt ishlash toki, %;

S_{nom} – transformatorning nominal quvvati, kVA.

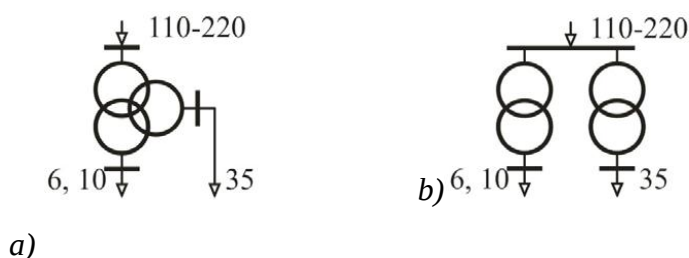
Transformatorning o'tkazuvchanligi va qarshiliklarining hisobiy ifodalarida nominal kuchlanishlar kattaliklari transformatorning almashinish sxemalarida uning parametrlari qaysi kuchlanishga keltirilganligi e'tiborga olinadi (yuqori yoki past kuchlanish). Elektr tarmoqlar rejimlarini hisoblashda hisobiy kuchlanish qilib liniyaga ulangan transformator chulg'amining kuchlanishi qabul qilinadi. Yuqori kuchlanishga keltirilgan R_t , X_t , qarshiliklar, agar transformatorning o'rnini olish sxemalari past kuchlanishga keltirilgan bo'lsa $(U_{vn}/U_{nn})_2$ marta katta bo'ladi va B_t , G_t o'tkazuvchanliklari $(U_{vn}/U_{nn})_2$ marta kichik bo'ladi. **ҚИСҚА** Qisqa tutashuv kuchlanishi U_k , qisqa tutashuv quvvat isroflari ΔP_k , salt ishlash toki I_x va quvvat isroflari ΔP_x va boshqa nominal kattaliklari transformatorning pasportida keltirilgan bo'ladi.

5.2. Uch chulg'amli transformatorlar. Uch chulg'amli transformatorlarning vazifasi.

10(6) va 35 kV elektr tarmoqlarni ta'minlovchi pasaytiruvchi transformator podstantsiyalarda 110–220/35/6–10 kV kuchlanishlar transformatsiyasi bo'lgan uch chulg'amli transformatorlar o'rnatiladi. 10 (6) kV kuchlanishli elektr

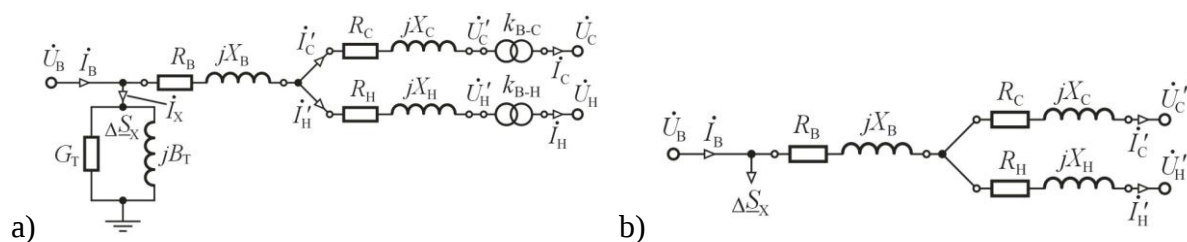
tarmoqlar podstantsiyadan yaqin masofalarda joylashgan (10-15 km masofagacha) iste'molchilarni elektr ta'minoti uchun xizmat qiladi. 35 kV kuchlanishli elektr tarmoqlar podstantsiyadan 40–60 km gacha bo'lgan radiusdagi yuklamalarni elektr ta'minoti uchun ishlatiladi. Agar yaqin va olis masofada joylashgan elektr tarmoqlardagi iste'molchilarining quvvatlari bir biriga yaqin bo'lsa, (ya'ni, farqi 4-5 martadan ortiq bo'lmasa), ikkita ikki chulg'amli transformatorlar 110–220/6–10 i 110–220/35 kV (5.9- 6.1, a-rasm) o'rniga bitta uch chulg'amli 110–220/35/6–10 kV kuchlanishli transformator qo'llanilishi iqtisodiy samaraliroq bo'ladi.

Hozirda ishlab chiqarilayotgan uch chulg'amli 110–220/35/6–10 kV kuchlanishli transformatorlarning uchchala kuchlanish pog'onasi chulg'amlari (YUK, O'K, PK) transformatorlarning to'la quvvatiga (100 %) moslab ishlanmoqda. Amalda ishlab turgan uch chulg'amli transformatorlarning past va o'rta kuchlanish chulg'amlari quvvatlari asosiy (YUK) chulg'am quvvatidan 1,5 barobar kam quvvatga ega bo'lgan, ya'ni $R_{pk} = P_{O'K} = R_{yuk}/1,5 = 66,7\% R_{yuk}$ bo'ladi.



5.9-rasm. Uch kuchlanish pog'onali podstantsiyaning sxemasi:

a – uchchulg'amli transformator; b – ikkita ikki chulg'amli transformatorlar

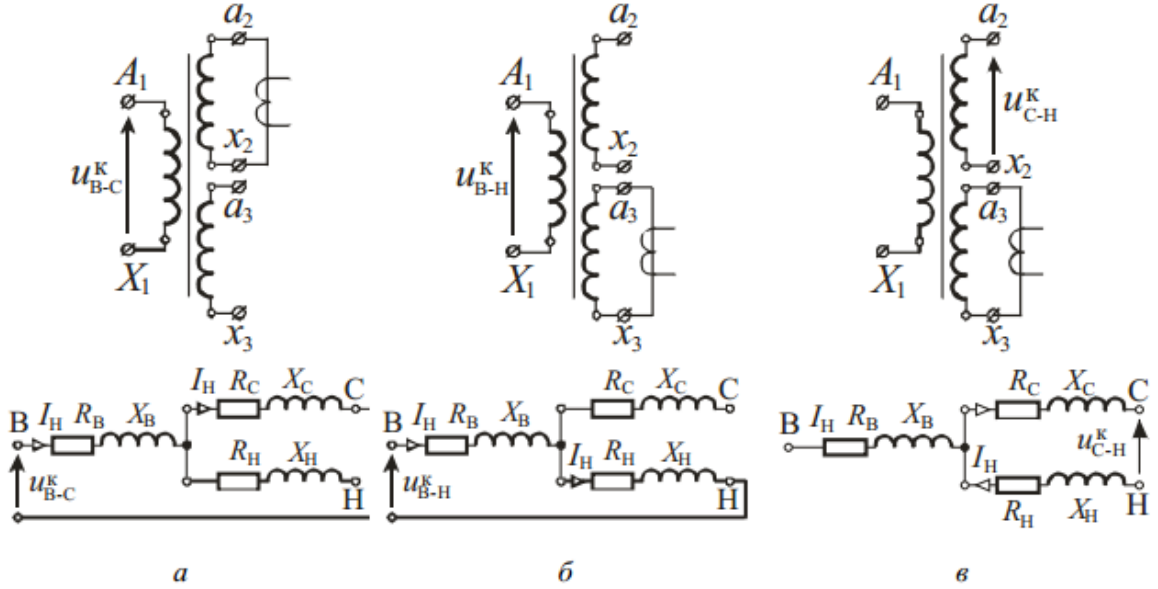


5.10-rasm. Uchchulg'amli transformatorning almashinish sxemasi:

a – transformatsiyani hisobga olib; b – transformatsiyani hisobga olmasdan.

Uch chulg'amli transformatorlarning bitta fazasi uchun almashinish sxemasi uch nurli yulduz ko'rinishida bo'ladi. (5.10-rasm). Bu sxemaning parametrlari – mos chulg'amlarining, YuK, O'K, PK aktiv qarshiliklari R_v, R_s, R_n va induktiv qarshiliklari X_v, X_s, X_n – transformatorning birlamchi chulg'amlarining kuchlanishiga keltirilgan. Magnitlovchi zanjirning parametrlari transformatorning almashinish sxemasida birlamchi chulg'amlarining ulanishlariga ulangan. Uning parametrlari xuddi ikki chulg'amli transformatorning parametrlarini aniqlanganidek hisoblanadi, (5.16) va (5.18) ifodalarga o'xshash.

Transformatorning almashinish sxemasiga ko'ra uch chulg'amli transformator uchun, ikki chulg'amli transformatorning parametrlarini aniqlanganidan farq qilib, har bir chulg'am parametrlari (qarshiligi) alohida qisqa tutashuv tajribasi natijalaridan aniqlanadi. Bu tajribada birlamchi chulg'am tok manbasiga ulangan, ikkinchi chulg'am qisqa tutashtiriladi, uchinchi chulg'am esa ochiq qoladi (5.3-rasm). Bunda qarshiliklarning hisobida uch chulg'amli transformatorning almashinish sxemasini ikkita ketma ket ulangan yulduz ko'rinishda ko'rish mumkin bo'ladi. Qisqa tutashuv tajribasida aktiv quvvat isroflari $_{kv-n} \Delta P, _{kv-s} \Delta P, _{ks-n} \Delta P$ va qisqa tutashuv kuchlanishi $_{kv-s} u, _{kv-n} u, _{ks-n} u$ har bir chulg'amlar juftligi uchun aniqlanadi (almashinish sxemasining nurlari). Masalan o'rtacha kuchlanish (O'K) chulg'ami qisqa tutashtirilgan va transformator yuqori kuchlanish chulg'ami (YuK) orqali tarmoqqa ulangan bo'lsa, sxemada quvvat isroflari $_{v-s} \Delta P$ va qisqa tutashish kuchlanish kattaligi $u_{kv s}$ o'lchab olinadi. Shunga o'xshash boshqa ikki juft chulg'amlar uchun mos chulg'amlardagi quvvat isroflari $_{p-s} \Delta P$ va qisqa tutashish kuchlanish kattaligi $u_{kv p}$ o'lchab aniqlanadi.



5.11-rasm. Uch chulg'amli transformatorning uchta qisqa tutashuv tajribalarining sxemalari.

Quyidagi chulg'amlar uchun: a – YUK – O'K; b – YUK – PK; v – O'K – PK

Transformatorning qisqa tutashuv tajribasi natijasida quyidagi chiziqli tenglamalar sistemasini shakllantirishimiz mumkin:

$$\begin{aligned}\Delta P_{kv} + \Delta P_{ks} &= \Delta P_{k\ v-s}, \\ \Delta P_{ks} + \Delta P_{kn} &= \Delta P_{k\ s-n}, \\ \Delta P_{ks} + \Delta P_{kn} &= \Delta P_{k\ s-n};\end{aligned}\tag{5.19}$$

$$\begin{aligned}u_{kv} + u_{ks} &= u_{k\ v-s}, \\ u_{kv} + u_{kn} &= u_{k\ v-n}, \\ u_{ks} + u_{kn} &= u_{k\ s-n}.\end{aligned}\tag{5.20}$$

6.1 ifodani ΔP_{kv} , ΔP_{ks} , ΔP_{kn} , larga nisbatan echib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned}\Delta P_{kv} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{k\ v-s} + \Delta P_{k\ v-n} - \Delta P_{k\ s-n}), \\ \Delta R_{ks} &= \frac{1}{2} (\Delta R_{v-s} + \Delta R_{ks-n} - \Delta P_{k\ v-n}), \\ \Delta P_{kn} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{k\ v-n} + \Delta P_{k\ s-n} - \Delta P_{k\ v-s}).\end{aligned}\tag{5.21}$$

6.2 tenglmalar sistemasiga o'xshash qisqa tutashuv kuchlanishi uchun yozamiz:

$$\begin{aligned}
u_{kv} &= \frac{1}{2} (u_{kv-s} + u_{kv-n} - u_{ks-n}), \\
u_{ks} &= \frac{1}{2} (u_{kv-s} + u_{ks-n} - u_{kv-n}), \\
u_{kn} &= \frac{1}{2} (u_{kv-n} + u_{ks-n} - u_{kv-s}).
\end{aligned} \tag{5.22}$$

Umumiy holatlarda, uch chulg'amli transformatorning aktiv va reaktiv qarshiliklari xuddi ikki chulg'amli transformatorlar uchun hisoblanganidek aniqlanadi. Boshqa ikki kuchlanishlar pog'onasi chulg'amlari orasida joylashgan bir chulg'amning X_s yoki X_n reaktiv qarshilik kattaligi ustma-ust yoki yonma-yon o'ralgan chulg'amlar magnit maydonining o'zaro induktsiyasi ta'sirida nolga teng yoki sezilarisiz darajada kam bo'ladi, va amaliy hisoblarda hisobga olinmaydi. Transformatorning tipiga ko'ra kataloglardan uch chulg'amli transformatorning u_{kv} , u_{ks} , u_{kn} kattaliklarini aniqlash uchun kataloglarda har doim uch chulg'amli transformator uchun uchta me'yorlangan (nominal quvvatiga keltirilga) qisqa tutashuv kuchlanishi qismlatlari va bitta ($u_{kv-s} \Delta P$ yoki $u_{kv-n} \Delta P$) yoki uchta ($u_{kv-s} \Delta P$, $u_{kv-n} \Delta P$, $u_{ks-n} \Delta P$) qisqa tutashuv isroflari kattaliklari berilgan bo'ladi. Agar juft chulg'amlar uchun qisqa tutashuv isroflari kattaliklari berilgan bo'lsa, ularning aktiv qarshiliklari miqdorini transformatorning biror pog'ona kuchlanishiga keltirilgan deb hisoblab mos chulg'am quvvatiga teskari proportsional ravishda aniqlanadi. Agar transformatorlarning chulg'amlari bir xil quvvatli bo'lsa, shu juft chulg'amlarining qisqa tutashuv isroflari mos chulg'amlar orasida teng bo'linadi, bunda transformatorlarning o'rnini olish sxemasi nurlarining aktiv qarshiliklari quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$R_{yu} = R_o = R_p = \frac{1}{2} \Delta P_k U_{nom}^2 / S_{nom}^2. \tag{5.23}$$

Agar uch chulg'amli transformatorning biror chulg'amining quvvati transformatorning nominal quvvatidan kam bo'lsa (quvvatlar nisbati $S_{vn}/S_{cn}/S_{nn} = 100/100/66,7$ % yoki $100/66,7/100$ % bo'lsa), uning o'rnini olish sxemasidagi qarshiliklar yulduzining 100% nominal quvvatli chulg'amining aktiv qarshiliklari avvalgi holatdagiga o'xshash aniqlanadi:

$$R_{100} = \frac{1}{2} \Delta P_k U_{nom}^2 / S_{nom}^2 \tag{5.24}$$

O'rnini olish sxemasidagi qarshiliklar yulduzining kamroq quvatli chulg'amga mos keluvchi (66,7 %), transformatorning nominal quvvatiga keltirilgan, qirrasidagi qarshilik kattaligini chulg'amlarning qarshiliklari va quvvatlarining o'zaro teskari proportsionalligini hisobga olib aniqlanadi:

$$R_{66,7}/R_{100} = 100/66,7 \text{ bundan kelib chiqib, } R_{66,7} = 1,50 R_{100}. \quad (5.25)$$

Yuqori kuchlanishdan o'rta kuchlanishga, yoki past kuchlanishga transformatsiyalanish (5.11, a-rasm) xuddi ideal transformator parametrlari kabi mos ravishda yoziladi:

$$k_{yu-o'} = \frac{U_{yu}}{U_p} k_{yu-p} = \frac{U_{yu}}{U_p} \quad (5.26)$$

Bir kuchlanish pog'onasiga keltirilgan elektr tarmoqlarning rejimlarini hisoblash 5.11.b-rasm da ko'rsatilgan o'rnini olish sxemasi bo'yicha bajariladi.

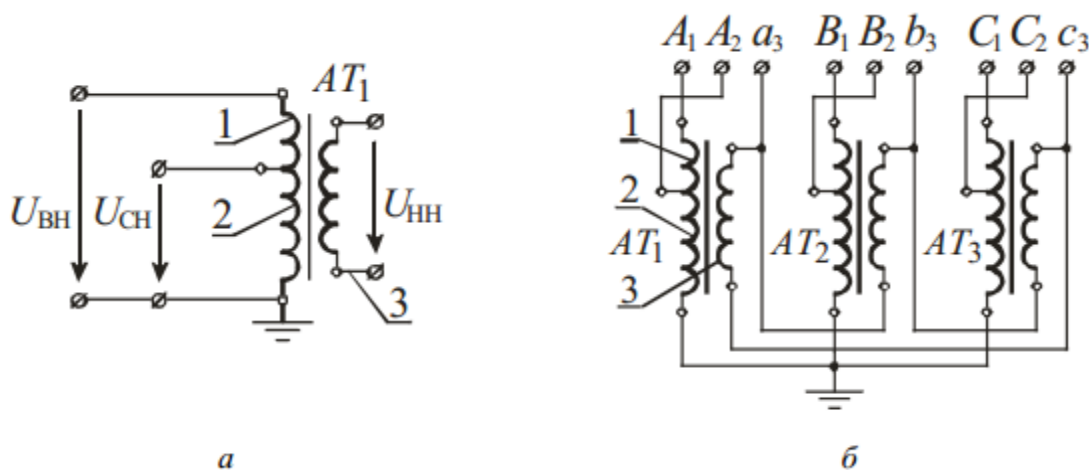
5.1. Avtotransformatorlar

Turli kuchlanish pog'onalaridagi elektr tarmoqlarning elementlarini o'zaro bog'lab turish uchun ishlatiladigan transformatorlar bilan birgalikda elektr energosistemalarda avtotransformatorlar keng qo'llaniladi. Avtotransformator ham ko'pchulg'amli bo'lib, turli kuchlanish olish uchun ishlatiladi, faqat uning turli kuchlanishli chulg'amlari (ikki chulg'ami) ham magnit, ham elektr bog'lanishga ega bo'ladi. Avtotransformatorlar qo'llanilishining iqtisodiy jihatdan samaraliligi kuchlanishi 110 kV va undan yuqori, nominal kuchlanishlar nisbati 3-4 gacha bo'lgan va chuqur yerga ulangan neytralli elektr tarmoqlarda kuzatiladi. Masalan 110 va 220 kV, yoki 220 va 500 kV kuchlanishlarda. Energosistemalarda uch fazali gruppaga yig'iladigan bir fazali va uch fazali uchchulg'amli avtotransformatorlar ko'p tarqalgan.

5.12-rasmda uch fazali uchchulg'amli avtotransformatorning faza chulg'amlarining ulanish sxemasi ko'rsatilgan. Yuqori kuchlanish chulg'ami (YuK) 1 umumiy va ketmaket ulangan ikki chulg'amdan iborat. O'rta kuchlanish chulg'ami (O'K) 2 yuqori kuchlanish chulg'amining bir qismi bo'ladi va umumiy

chulg'am deyiladi, yuqori kuchlanish chulg'amining qolgan qismi esa ketma ket chulg'am deb ataladi. Avtotransformatorning uchinchi chulg'ami 3 boshqa chulg'amlar bilan faqat magnit bog'langan bo'lib, past kuchlanish chulg'ami (PK) 3 deyiladi.

5.12-rasmda ko'rsatilgan uch fazali pasaytiruvchi avtotransformatorning ishlash sharoitlarini ko'rib chiqamiz. Avtotransformatolar avtotransformator va kombinatsiyali rejimlarda ishlab turishi mumkin. Avtotransformator avtotransformator rejimida ishlab turganida uzatilayotgan quvvat yuqori kuchlanish (YuK) tarmog'idan o'rta kuchlanish (O'K) tarmog'iga uzatiladi, yoki aksi bo'lishi mumkin - O'K dan YuK ga, bu yerda uchinchi chulg'am (PK) yuklamasiz bo'ladi. Agar avtotransformatorning alohida (PK) chulg'ami yuklamaga yoki kompensatsiyalovchi qurilmaga ulangan bo'lsa, u kombinatsiyali rejimda ishlab turadi. Bu holda avtotransformatorning ketma-ket va umumiy chulg'amlaridan o'tayotgan jami quvvati avtotransformator rejimida uzatilayotgan va past kuchlanish chulg'amidan uzatilayotgan quvvatlar yig'indisidan iborat bo'ladi.



5.12-rasm. Uchchulg'amli avtotransformatorning printsipl sxemasi:

a – bir fazali; *b* – uch fazali avtotransformatolar gruppasi.

Bir biri bilan elektromagnit bog'langan birlamchi chulg'amidan (YuK) ikkilamchi chulg'amiga (O'K) quvvat magnit oqimi vositasida uzatiladigan transformatorlardan farqli ravishda, avtotransformatorda bir chulg'amdan boshqa chulg'amga uzatilayotgan quvvat bevosita –transformatsiyasiz, ketma-ket va

umumiy chulg'amlarning elektr kontaktli aloqa vositasida amalga oshiriladi. Ketma-ket va umumiy chulg'amlarning quvvati (elektr quvvat):

$$S_{el} = \sqrt{3} U_{o'nom} I_{yunom} \quad (5.27)$$

Yana chulg'amlarni magnit oqimi kesib o'tishi natijasida, ya'ni magnit oqimi yo'li bilan uzatilayotgan quvvat (transformator quvvati) :

$$S_{tr} = \sqrt{3} (U_{yunom} - U_{snom}) I_{yunom} = \sqrt{3} U_{o'nom} (I_{o'nom} - I_{yunom}) \quad (5.28)$$

Avtotransformatorlarning transformatsiyalangan va elektr quvvatlari yig'indisi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$S_{atr} = S_{tr} + S_{el} = \sqrt{3} (U_{yunom} - U_{o'nom}) I_{vnom} + \sqrt{3} U_{o'nom} I_{yunom} \quad (5.29)$$

Avtotransformatorlarning nominal quvvati deganda o'zaro avtotransformator bog'lanishga ega bo'lgan O'K va YuK chulg'amlaridan o'tayotgan eng katta quvvat tushuniladi. Hozirda qo'llanilayotgan avtotransformatorlarda O'K va YuK chulg'amlari bir xil kattalikda nominal yoki o'tkazuvchi quvvatga ega bo'ladi. Bundan kelib chiqib quyidagini yozishimiz mumkin:

$$S_{nom} = S_{pr} = \sqrt{3} U_{vnom} I_{Snom} = \sqrt{3} U_{Snom} I_{Snom} \quad (5.30)$$

Umumiy chulg'amdan O'K va YuK chulg'amlaridagi toklar farqi oqib o'tadi. Shu sababli umumiy chulg'am avtotransformatorning yuqori kuchlanish tomonidagi umumiy quvvatidan kamroq quvvatga mo'ljallanadi va uning kesim yuzasi, shu quvvatli ikki chulg'amli transformator chulg'amlari kesim yuzasidan kamroq bo'lishi mumkin. Avtotransformatorning elektromagnit po'lat o'zagi ham kamroq kesim yuzasiga ega bo'ladi. Natijada avtotransformatorning transformatsiya koeffitsienti k_{vs} birga qancha yaqin bo'lsa, aktiv materiallar sarfi (chulg'am misi, magnit o'zak po'lati va izolyatsiyalovchi materiallar) va taxminan avtotransformatorning narhi:

$$k_{vs} = k = U_{vn} / U_{sn} = I_{sn} / I_{vn}$$

Shu sababli pasaytiruvchi avtotransformatorlar shu nominal quvvatli ikki chulg'amli transformatorlardan arzonroq bo'ladi, hamda avtotransformatorlarning oddiy transformatorlarning o'rniga qo'llanilishi transformatsiyalanuvchi

kuchlanishlar U_{vn} i U_{sn} bir biriga qancha yaqin bo'lsa, shunchalik samaraliroq bo'ladi. Avtotransformator chulg'aming umumiy qismining quvvati:

$$S_{um} = \sqrt{3} U_{o'k} (I_{o'k} - I_{yuk}) = \sqrt{3} U_{yuk} I_{yuk} \left(\frac{I_{o'k}}{I_{yuk}} - 1 \right) \frac{U_{o'k}}{U_{yuk}} = S_{nom} (k - 1) \frac{1}{k} = S_{nom} \left(1 - \frac{1}{k} \right) = \alpha_v S_{nom} \quad (5.31)$$

bu yerda: $\alpha_v = (1 - 1/k) = 1 - U_{sn}/U_{vn}$ —samaradorlik koeffitsienti.

Avtotransformatorlarni baholash uchun yana tipaviy quvvat kattaligi ham kiritilgan, bu quvvat bo'yicha avtotransformatorning ketma-ket chulg'ami hisoblanadi:

$$S_{k.k.} = S_{tip} = \sqrt{3} (U_{yuk} - U_{o'k}) I_{yup} = \sqrt{3} U_{yup} \cdot I_{yup} \left(1 - \frac{U_{o'k}}{U_{yup}} \right) = S_{nom} \left(1 - \frac{1}{k} \right) = \alpha S_{nom}, \quad (5.32)$$

ya'ni $S_{um} = S_{posl} = S_{tip}$.

Tipaviy quvvat avtotransformatorlar konstruksiyasining iqtisodiy tomonlarini xarakterlaydi, ya'ni uning konstruksiyasiga sarf bo'lgan aktiv materiallar sarfini ko'rsatadi. Transformatorlar va avtotransformatorlarning texnik iqtisodiy ko'rsatkichlaridagi farqi ularning nominal va tipaviy (hisobiy) quvvatlari orasidagi farq bilan, ya'ni samaradorlik koeffitsienti bilan α_v aniqlanadi:

$$\alpha_v = \frac{S_{tip}}{S_{nom}} = 1 - \frac{U_{o'k}}{U_{yuk}} = \frac{U_{yuk} - U_{o'k}}{U_{yuk}}$$

Texnik iqtisodiy ko'rsatkichlari orasidagi farq avtotransformatorlarni kuchlanishlar pog'onasi orasidagi farq katta bo'lmagan tarmoqlarda qo'llanilishi samaraliroq ekanligini ko'rsatadi. Past kuchlanish chulg'aming quvvati odatda avtotransformator quvvatining yarmiga mo'ljallangan bo'ladi va uning quvvati tipaviy quvvatini o'tkaza oladi, ya'ni: $S_{pn} = S_{tip} = 3U_{pn} I_{pn}$. Ayrim avtotransformatorlardapast kuchlanish chulg'aming quvvati uning nominal quvvatining 20, 25, 40 % va tipaviy quvvatiga teng bo'lmasligi mumkin. Bu holda samaradorlik koeffitsienti $\alpha_v = (1 - U_{sn}/U_{vn})$ past va yuqori kuchlanish chulg'amlari quvvatlari nisbatidan farq qilishi mumkin. $\alpha = S_{nn}/S_{vn}$, bu kattalikni keyinchalik keltirish (qayta hisoblash) koeffitsienti deb atab ketamiz. Past kuchlanish chulg'amlari PK uchburchak ulanadi, shu yo'l bilan chulg'amlarda paydo bo'ladigan yuqori garmonika EYuKlarini yo'qotiladi, ularni liniyaga chiqishiga

yo'l qo'yilmaydi. Avtotransformatorlarning uchinchi past kuchlanish chulg'ami podstantsiya xududida va yaqin masofalarda joylashgan iste'molchi yuklamalarni ta'minlash va reaktiv quvvatlarni kompensatsiyalovchi qurilmalarni (kondensatorlar batareyalari, sinxron kompensatorlar va boshqalar) ulash uchun uchun xizmat qiladi.

Avtotransformatorlarning uchinchi past kuchlanish chulg'aminin nominal kuchlanishi yuklamalarning olisligiga bog'liq bo'lib, 6,5; 10,5 va 37,5 kV bo'lishi mumkin. Yuqori va o'rta kuchlanish chulg'amlari o'zaro elektr bog'lanishga ega bo'lganidan avtotransformatorlar faqat neytrali chuqur yerga ulangan tarmoqlarda, ya'ni kuchlanishi 110 kV vaundan yuqori bo'lgan tarmoqlarda qo'llaniladi va avtotransformatorlarning o'zlari ko'pincha 220 va 500 kV (ba'zida 110 kV) kuchlanishda ishlab chiqariladi. Agar avtotransformatorning neytrali yerga ulanmagan bo'lsa va yuqori kuchlanish tarmog'ining biror fazasi yerga tegib qolsa, o'rta kuchlanish tarmog'ining boshqa ikki fazalarida yerga nisbatan potentsial keskin oshib ketadi va ruxsat etilgan chegaradan chiqadi.

Agar avtotransformator 115/38,5/11 kV kuchlanishli va neytrali izolyatsiyalangan bo'lsa, va masalan uning 110 kVli tarmog'ining A fazasi yerga tegib qolsa, o'rta kuchlanish faza chulg'amlarida ham kuchlanish $3,5U_{o'r}$ gacha yetishi mumkin. Bunday kuchlanish avtotransformatorning 38,5 kV li chulg'amlari izolyatsiyasiga, hamda 35 kV li apparatlarga ham katta xavf tug'diradi, va bu holatga yo'l qo'yib bo'lmaydi.

Uch chulg'amli avtotransformatorning hisobiy almashinish sxemasi uch qirrali yulduz ko'rinishida bo'lib, xuddi uch chulg'amli transformatorning o'rnini olish sxemasidek bo'ladi va aktiv quvvat isroflari (ΔR_x) va salt ishlash toki ($I_x = I_\mu$) bilan xarakterlanadi. Almashinish sxemasidagi yulduzning uchta qirralarida, xuddi uch chulg'amli transformator sxemasidagidek YUK– R_{yu} , X_{yu} , O'K– R_o , X_o , PK– R_p , X_p aktiv va induktiv qarshiliklar joylashadi.

Avtotransformatorlar chulg'amlarining qarshiliklari, xuddi uch chulg'amli transformatorlardagidek uchta qisqa tutashuv tajribalarida olingan jadvallardan foydalanib aniqlanadi. Avtotransformatorlar nominal yoki pasport

parametrlarining jadvallari uch juft chulg'amlari uchun (ΔR_{kv-s} , ΔR_{kv-n} , ΔR_{ks-n}) yoki bir juft chulg'amlari uchun (ΔR_{kv-n}) qisqa tutashuv quvvat isroflari ko'rinishida berilgan bo'ladi. Jadvalda yana qisqa tutashuv kuchlanishi qiymatlari ($u_{k\ v-s}$, $u_{k\ v-n}$, $u_{k\ s-n}$) ham ko'rsatiladi. Bunda $\Delta R_{k\ v-s}$, $u_{k\ v-s}$ kattaliklarning qiymatlari avtotransformatorning nominal quvvatiga keltirilgan bo'ladi, boshqa ikki juft parametrlar ko'pincha past kuchlanish chulg'ami quvvatiga yoki tipaviy quvvatiga keltiriladi. Avtotransformatolar nominal parametrlarining bunday tartibda keltirilishi qisqa tutashuv tajribasining bajarilish shartlarini ko'rsatadi. Avtotransformatorning nominal quvvatidan ko'ra kamroq quvvatga ega bo'lgan past kuchlanish chulg'amlarining qisqa tutashuvida unda kuchlanish, avtotransformatorning nominal quvvatiga S_{nom} mos ravishda emas, balki past kuchlanish chulg'aming nominal quvvatiga S_{pk} mos keluvchi tok kattaligigacha oshiriladi. O'rta kuchlanish chulg'amlari tomonidagi qisqa tutashuv tajribasida yuqori kuchlanish chulg'amida kuchlanish, avtotransformatorning nominal quvvatiga S_{nom} mos keladigan ketma-ket chulg'am toki qiymatigacha oshiriladi. SHu sababli, avtotransformatorning bir juft chulg'amlarining nominal pasport ma'lumotlari $\Delta R_{k.v-s}$ avtotransformatorning nominal quvvatiga keltirilgan holda ko'rsatiladi, $\Delta R_{k.yu-p}$ va $\Delta R_{k.o'-p}$ (umumiy holda $\Delta R_{k'}$ ko'rinishda belgilab) kattaliklar esa – avtotransformatolarning past kuchlanish chulg'amlarining nominal quvvatiga keltiriladi:

$$\Delta R_{k'} = 3I_{pk}^2 R_{yuk-pk} = \frac{S_{pk}^2}{U_{nom}^2} R_{yup} \quad (5.33)$$

Ular avtotransformatolarning nominal kuchlanishiga ketiriladi:

$$\Delta R_k = 3I_{nom.at}^2 R_{yuk} = \frac{S_{nom}^2}{U_{nom}^2} R_{yup} \quad (5.34)$$

5.33 va 5.34 ifodalarning nisbatini olib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned} \Delta R_{k\ yu-p} &= \Delta P'_{k\ yu-p} \frac{S_{nom}^2}{S_{pk}^2} = \frac{P'_{k\ yu-p}}{\alpha^2} \\ \Delta R_{k\ o'-p} &= \Delta P'_{k\ o'-p} \frac{S_{nom}^2}{S_{pk}^2} = \frac{P'_{k\ o'-p}}{\alpha^2} \end{aligned} \quad (5.35)$$

bu yerda: $\alpha = S_{nn} / S_{nom}$ – keltirish koeffitsienti.

Shundan keyin, (5.21) ifoda bilan mos chulg'amlardagi qisqa tutashuv isroflarini aniqlab, (5.23) ifoda yordamida avtotransformatorning aktiv qarshiliklari kattaligi hisoblanadi. Bir juft chulg'amlari uchun qisqa tutashuv isroflari, masalan $\Delta R_{k\ v-s}$ kattalik berilgan bo'lsa, hisoblar (6.5) ifoda bilan, agar $\Delta R_{k\ v-n}$ kattalik berilgan bo'lsa, quyidagilarni hisobga olib parametrlar aniqlanadi:

$$R_{yu-p} = R_{yu} + R_p = R_{yu} + \frac{S_{nom}}{S_{pk}} R_{yu} = (\alpha + 1 / \alpha) R_{yu}$$

Avtotransformatorning chulg'am qarshiliklari quyidagicha aniqlanadi:

$$R_{yu} = R_s = (\alpha / \alpha + 1) \frac{\Delta R_{kyu-p}}{S_{nom}^2} U_{nom}^2 ; \quad R_{nom} = \frac{R_{yu}}{\alpha} \quad (5.36)$$

Almashinish sxemasi qirralarining reaktiv qarshiliklari X_{yu} , $X_{o'}$, X_p mos ifodalari yordamida hisoblanadi. Bunda uchinchi chulg'amning nominal quvvatiga keltirilgan mos chulg'amlar juftligidagi qisqa tutashuv kuchlanishlari $u_{k\ yu-p}$, $u_{k\ o'-p}$ quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{aligned} u_{kyu-p\%} &= \sqrt{3} I_{pk} X_{yu-p} \frac{1}{U_{nom}} 100 = S_{pk} X_{yu-p} \frac{1}{U_{nom}^2} 100 \\ u_{ko'-p\%} &= \sqrt{3} I_{pk} X_{o'-p} \frac{1}{U_{nom}} 100 = S_{pk} X_{o'-p} \frac{1}{U_{nom}^2} 100 \end{aligned} \quad (5.37)$$

Ularning kattaliklarini avtotransformatorning nominal quvvatiga keltirilgan holda ko'rsatilsa quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{aligned} u_{kyu-p\%} &= \sqrt{3} I_{nom} X_{yu-p} \frac{1}{U_{nom}} 100 = S_{nom} X_{yu-p} \frac{1}{U_{nom}^2} 100 \\ u_{ko'-p\%} &= \sqrt{3} I_{nom} X_{o'-p} \frac{1}{U_{nom}} 100 = S_{nom} X_{o'-p} \frac{1}{U_{nom}^2} 100 \end{aligned} \quad (5.38)$$

Agar (6.19) ifodani (6.20) ifodadagi mos kattaliklarga bo'lib olsak, ularning avtotransformatorning nominal quvvatiga ketirilgan qiymatlariga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned} u_{kyu-p} &= u'_{kyu-p} \frac{S_{nom}}{S_{pk}} = \frac{U'_{kyu-p}}{\alpha} \\ u_{ko'-p} &= u'_{ko'-p} \frac{S_{nom}}{S_{pk}} = \frac{U'_{ko'-p}}{\alpha} \end{aligned} \quad (5.40)$$

Texnik ma'lumotnomalarda odatda $u_{k\ yu-n}$ va $u_{ko'-n}$ ning keltirilgan qiymatlari berilgan bo'ladi va avtotransformatorelarning induktiv qarshiligini aniqlash uchun

hisoblashlarda formulalarga to'g'ridan to'g'ri qo'yib ketiladi. Mavjud ma'lumotlarni keltirilgan kattalik ekanligini bilish uchun bitta avtotransformator uchun (6.4) ifoda bo'yicha u_{kyu} , $u_{ko'}$, u_{kp} qiymatlar hisoblab ko'riladi. Agar qisqa tutashuv kuchlanishi biror pog'ona chulg'amlari uchun, masalan o'rta kuchlanish $u_{ko'}$, nol yoki nolga yaqin bo'lsa, avtotransformatorning jadvaldagi kattaliklari uning nominal quvvatiga keltirilgan bo'ladi.

Uchchulg'amli avtotransformatorlar kuchlanishni yuklama ostida rostlash (KYuOR) uchun bir necha variant sxemalarga ega bo'ladi: YuK va O'K chulg'amlarining neytralida rostlash (5.13, a-rasm), O'K chulg'amlarining chiqishlarida kuchlanishni rostlash (5.13, b-rasm) yoki yuqori kuchlanish chulg'amlari tomonida (5.13, v-rasm). Ideal transformatorlar vositasida transformatsiya kattaligi berilganida o'rnini olish sxemasidagi kuchlanishni yuklama ostida rostlash (KYuOR) tizimini joylashish o'rnini hisobga olish kerak bo'ladi. Chulg'amlarning umumiy neytralida kuchlanishni yuklama ostida rostlash (KYuOR) tizimini joylashgan avtotransformatorlar uchun transformatsiya koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$k_{yu-o'} = \frac{u_{yuk} \pm \delta U}{u_{o'k} \pm \delta U}; k_{yup} = \frac{u_{yuk} \pm \delta U}{u_{pk}}; k_{o'p} = \frac{u_{o'k} \pm \delta U}{u_{pk}}; \quad (5.41)$$

Agar kuchlanishni rostlash tizimi faqat avtotransformatorlarni O'K pog'onasiga qo'yilgan bo'lsa, transformatsiya koeffitsientlari quyidagicha bo'ladi:

$$k_{yu-s} = \frac{u_{yuk}}{u_{o'k} \pm \delta U}; k_{yu-p} = \frac{u_{yuk}}{u_{pk}}; k_{o'p} = \frac{u_{o'k} \pm \delta U}{u_{pk}}; \quad (5.42)$$

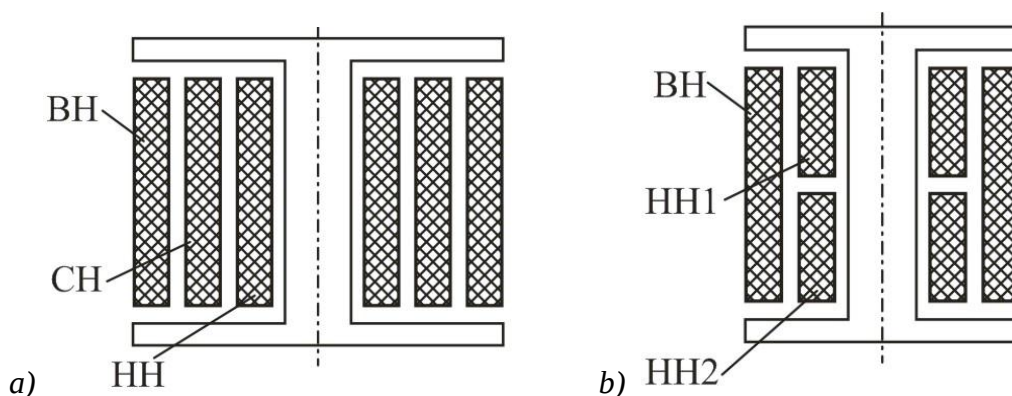
Agar kuchlanishni rostlash tizimi faqat avtotransformatorlarni YuK pog'onasiga qo'yilgan bo'lsa, transformatsiya koeffitsientlari quyidagicha bo'ladi:

$$k_{yu-o'} = \frac{u_{yuk} \pm \delta U}{u_{o'k}}; k_{yup} = \frac{u_{yuk} \pm \delta U}{u_{pk}}; k_{o'p} = \frac{u_{o'k}}{u_{pk}} \quad (5.43)$$

5.4 Chulg'amlari bo'laklangan transformatorlar

5.4.1. Chulg'amlari bo'laklangan ikki chulg'amli transformatorlar

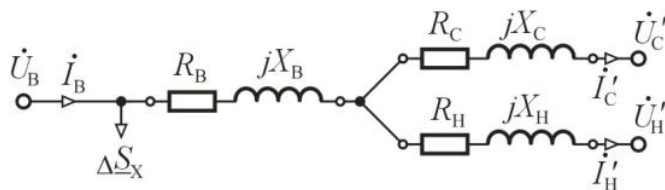
Rayon elektr tarmoqlari va yirik qishloq xo'jaligi va sanoat korxonalari elektr ta'minoti uchun elektrostansiyalarda va taqsimlovchi transformatorli podstantsiyalarda ikkilamchi chulg'amlari ikki yoki undan ortiq chulg'amlarga bo'laklangan uch fazali transformatorlar yoki uch fazali transformatorlar gruppasi o'rnatiladi, natijada turli kuchlanishlar klassidagi mustaqil ravishda ishlab turadigan elektr (yuklamalar) tarmoqlar yoki generatorlar ulanish imkoniyati bo'ladi.



5.15-rasm. Transformator chulg'amlarining joylashishi: *a* – uchchulg'amli transformatorlarda; *b* – ikkilamchi chulg'amli bo'laklangan ikkichulg'amli transformatorlarda

Past kuchlanishli (ikkilamchi) chulg'amlari bo'laklangan transformatorlar ikki-chulg'amli transformatorning bir ko'rinishi bo'ladi. Bunday transformatorlarda past kuchlanishli (ikkilamchi) chulg'amlari ikki (yoki undan ortiq), yuqori kuchlanishli chulg'amga nisbatan simmetrik joylashgan, chulg'amlardan iborat bo'ladi (5.15-rasm). Bo'laklangan chulg'amlarning kuchlanishlari bir xil, quvvatlari esa turlicha bo'lib, yig'indisi yuqori kuchlanish chulg'aming quvvatiga teng bo'ladi. Past kuchlanishli (ikkilamchi) chulg'amlari bo'laklangan transformatorlarning, o'rta va past kuchlanishli chulg'amlarining quvvatlari yig'indisi yuqori kuchlanish chulg'aming quvvatidan doimo katta bo'ladigan ikki-chulg'amli transformatorlardan farqli ravishda, bo'laklangan chulg'amlarning

quvvatlari yig'indisi doimo yuqori kuchlanish chulg'aming quvvatiga teng bo'ladi.



5.16-rasm. Past kuchlanishli chulg'amlari bo'laklangan ikki chulg'amli transformatorning almashinish sxemasi. R_{pn1} , R_{pn2} , X_{pn1} , X_{pn2} – yuqori kuchlanish chulg'amlari kuchlanishiga keltirilgan past kuchlanishli bo'laklangan chulg'amlarining aktiv va induktiv qarshiliklari

Uch fazali ikki-chulg'amli, past kuchlanishli (ikkilamchi) chulg'amlari ikkita chulg'amga bo'laklangan transformatorning ning o'rnini olish sxemasi uch qirrali yulduz ko'rinishda bo'ladi (5.16-rasm). Bunday transformatorni amaliy hisoblashlarda yetarli aniqlik bilan, bitta yuqori kuchlanishli tarmoqdan ta'minlanib turgan ikki, o'zaro bog'liq bo'lmagan transformator deb qarashimiz mumkin. Past kuchlanishli chulg'amlarning har birining quvvati yuqori kuchlanish chulg'ami quvvatining, ya'ni transformatorning quvvatining yarmiga teng bo'ladi. Mos ravishda chulg'am qarshiliklari uchun yozishimiz mumkin:

$$R_{pn1} = R_{pn2} = 2R_v. \quad (5.44)$$

Bunday transformatorlarda past kuchlanishli chulg'amlarning parallel ulangan holatini, past kuchlanishli chulg'amlari ikkita chulg'amga bo'laklangan transformatorni, oddiy ikki chulg'amli transformator sifatida qarashimiz mumkin. Bunda YUK chulg'am chiqishlarida va PK-1 va PK-2 chulg'amlarning umumiy chiqishlarida qarshiliklari bir xil bo'ladi va transformatorning nominal quvvatiga keltirilgan qarshiliklar $R_{um.tr}$ va $X_{um.tr}$ ga teng bo'ladi va transformatorning umumiy yoki o'tkazuvchanlik qarshiliklari deb ataladi:

$$R = R_{um} + \frac{R_{pk1} R_{pk2}}{R_{pk1} + R_{pk2}} = \frac{\Delta P_k}{S_{nom}^2} U_{nom}^2$$

$$X_{um} = X_v + \frac{X_{pk1} X_{pk2}}{X_{pk1} + X_{pk2}} = \frac{u_k}{100} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}^2} \quad (5.45)$$

(7.1)ni hisobga olib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$R_v = 0,5R_{obit}, R_{nn1} = R_{nn2} = R_{obit}. \quad (5.46)$$

YuK chulg'aming induktiv qarshiligini nolga teng deb qabul qilsak, transformatorning reaktiv qarshiligi parallel ulangan PK chulg'amlarining reaktiv qarshiliklariga teng deb hisoblashimiz mumkin bo'ladi. Bunda $X_{nn1} = X_{nn2}$ ligini hisobga olib (5.45) dan

$$X_{nn1} = X_{nn2} = 2X_{obum} \quad (5.47)$$

ifodaga ega bo'lamiz.

Keltirilgan qarshiliklar munosabati, faqat bo'laklangan chulg'amlari alohida transformatorning chulg'amlari deb qabul qilinadigan bir fazali transformatorlar gruppasi uchun o'rinli bo'ladi. Bir fazali transformatorlar uchun bo'laklanish koefitsienti (bo'laklangan chulg'amlar orasidagi qisqa tutashuv qarshiliklari bilan parallel ulangan bo'laklangan chulg'amlar va YuK chulg'ami orasidagi qisqa tutashuv qarshiliklari orasidagi nisbat) 4 ga teng.

Shu bilan birgalikda uch fazali transformatorlardagi bo'laklangan chulg'amlar orasidagi magnit bog'liqlik bir fazali transformatorlardagidan farq qiladi va chulg'amlarning magnit o'tkazgich sterjnida joylashishiga bog'liq bo'ladi. Bo'laklangan chulg'amlar ustma-ust joylashgan bo'lsa bo'laklanish koefitsienti 3,5ga teng bo'ladi, uch fazali transformatorlardagi chulg'amlarning induktivnye qarshiligi esa quyidagicha bo'ladi:

$$X_{yu} = 0,125 X_{um}, X_{pk1} = X_{pk2} = 1,75X_{um} \quad (5.48)$$

Ideal transformatorlarda yuqori va past kuchlanishli chulg'amlar orasidagi bog'liqlik quyidagi transformatsiya koefitsientlari yordamida hisobga olinadi (5.13, b-rasm):

$$K_{yu-p1} = U_{yuk} / U_{pk1}, k_{yu-p2} = U_{yuk} / U_{pk2}. \quad (5.49)$$

Bo'laklangan chulg'amli transformatorlarning o'tkazuvchanligi xuddi ikki – chulg'amli transformatorlardagidek aniqlanadi. Oshirilgan induktiv qarshilikli, past kuchlanish chulg'ami bo'laklangan transformatorlarni qo'llanilishi past kuchlanish chulg'amlar shinasida qisqa tutashuv quvvatini ikki barobar kamayishiga olib keladi, bu esa ko'pchilik hollarda tokni chegaralovchi reaktorlar o'rnatilish zaruratini yo'qotadi. Hozirgi paytda past kuchlanish chulg'amlari bo'laklangan ikki-chulg'amli transformatorlar 110-220 kV kuchlanishli yirik quvvatli qabul

qiluvchi podstantsiyalarda qo'llanilayotgan transformatorlarning asosiy qismini tashkil qiladi.

Elektrotexnika sanoati quvvatlari, nominal kuchlanishi, chulg'amlar soni, sovitish usullari bo'yicha farq qiluvchi uch fazali va bir fazali kuch transformatorlari ishlab chiqaradi. Transformatorning tipiga ko'ra uning fazalar soni, chulg'amlarining sovitish sistemasi, chulg'amlar soni, kuchlanishni rostlovchi vositasi borligi, chulg'amlarining kuchlanish klassi, quvvati, transformator izolyatsiyasining yashin urishiga chidamliligini aniqlash mumkin. Transformatorning harfiy belgilanishlari quyidagicha bo'lishi mumkin: TM, TS, TSZ, TD, TDTS, TMN, TDN, TTS, TDG, TDTSG, OTS, ODG, ODTSG, ATDTSTNG, AOTDTSN va boshqalar. Bu yerda birinchi harf fazalar sonini bildiradi (T – uch fazali, O – birlfazali); keyingi harf sovitish sistemasini ko'rsatadi: M – tabiiy moyli sovitish tizimli, ya'ni transformator moyi o'z-o'zidan aylanadi; S – ochiq ishlangan havoda sovitiluvchi quruq transformator; D – moyli, havo oqimida sovitish, ya'ni transformator baki ventilyator bilan sovitiladi; TS – sovitish sistemasi moyi majburiy aylanuvchi sovitkichli; DTS – transformator havo ventilyatorlari bilan sovitiladi yana moy majburiy tsirkulyatsiya qilinadi (aylanadi). Fazalar sonidan keyingi harf R PK chulg'ami ikkiga yoki uchga bo'laklanganligini ko'rsatadi. Agar belgilanishda ikkinchi T harfi bo'lsa, u transformator uch chulg'amliligini ko'rsatadi, ikki chulg'amli transformatorlarda bu harf bo'lmaydi. Keyingi harfiy belgilanishlar quyidagilarni ko'rsatadi: N – kuchlanish yuklama ostida rostlanadi (RPN), N harf bo'lmasa, transformator kuchlanishi qo'zg'atishsiz rostlanadi (qo'lda) (PBV); G – yashin urishiga chidamli. Belgilanishning oldida A harfi bo'lsa – avtotransformator. Harfiy belgilanishlardan keyin transformatorning nominal quvvati kVA larda va kasr chizig'i ostida yuqori kuchlanishli chulg'aming kuchlanish klassi (kV) ko'rsatiladi. Avtotransformatorlarda shu yerda, kasr chizig'i ostida O'K chulg'aming kuchlanish klassi ham ko'rsatiladi. Ayrim hollarda shu konstruktsiyali transformatorlarning ishlab chiqarish boshlangan yili ham ko'rsatiladi. Kuch transformatorlari va avtotransformatorlarning, yuqori

kuchlanishli tarmoqlar uchun, nominal quvvatlar shkalasi amaldagi davlat standartlariga ko'ra 10 ga ko'paytirib olingan: 20, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600 kVA va hokazo. Ayrim hollarda bu qatordan tashqari transformatorlarning quvvatlari ham bo'ladi, maslan 32000, 80000, 125000, 200000, 500000 kVA.

Hozirda ishlab chiqarilayotgan transformatorlarning me'yoriy xizmat muddati 50 yilni tashkil qiladi, shu sababli bugungi kunda ham 50 yil oldin ishlab chiqarilgan transformatorlarni elektr tarmoqlarda uchratishimiz mumkin. Ular bir necha bor kapital ta'mirdan o'tgan bo'lib, soz holda ekspluatatsi qilinmoqda. Bunday transformatorlarning quvvatlar qatori quyidagicha bo'ladi: 5, 10, 20, 30, 50, 100, 180, 320, 560, 750, 1000, 1800, 3200, 5600, ..., 31500, 40500, kVA va hokazo.

Transformatorlarning tiplarini belgilanishlariga misollar:

TM-250/10 – uch fazali ikki chulg'amli sovitish sistemasi tabiiy, moyli moy tsirkulyatsiyasi o'zining qizishi natijasida amalga oshadi, kuchlanishni rostlash tizimi qo'zg'atishsiz qo'lda boshqariladi (PBV vositasida), nominal quvvati 250 kVA, YUK chulg'amining kuchlanish klassi 10 kV.

TDTN-25000/110 – uch fazali uch chulg'amli, pasaytiruvchi transformator, sovitish sistemasi moyli, transformator havo ventilyatorlari bilan sovitiladi, kuchlanish atomat ravishda yuklama ostida rostlanadi (RPN bilan), nominal quvvati 25000 kVA, YUK chulg'amining kuchlanish klassi 110 kV.

OTS-533000/500 – bir fazali ikki chulg'amli kuchaytiruvchi transformator, sovitish sistemasi moyli moy majburiy tsirkulyatsiyali, quvvati 533000 kVA, 500 kV li tarmoqqa ulanadi (transformatorning nominal faza kuchlanishi 525 kV).

ATDTSTN-250000/500/110-85 – uch fazali uch chulg'amli avtotransformator, sovitish sistemasi moyli, transformator havo ventilyatorlari bilan sovitiladi, yuklama ostida kuchlanish rostlanuvchi (RPN), nominal quvvati 250 MVA, pasaytiruvchi, 500 kV va 110 kV kuchlanishli avtotransformatorli sxema bo'yicha ishlab turadigan avtotransformator (transformatsiya YUK va O'K orasida, PK chulg'ami yordamchi), konstruktsiyasi 1985 yilgi.

TDTSTGA-120000/220/110-60 – uch fazali uch chulg'amli transformator, asosiy ish rejimi kuchaytiruvchi (A), transformatsiyasi past va yuqori (PK – YUK) va past va o'rta kuchlanish chulg'amlari orasida, konstruksiyasi 1960 yilgi.

Kuchlanishni rostlash imkoniyatlari va kuchlanishni o'zgarishlari diapazoni yuklama ostida rostlash (YUOR) va qo'lda qayta ulash (QQU) vositalari parametrlari xarakteristikalariga ko'ra aniqlanadi. YUOR va QQU vositalari xarakteristikalari, transformatsiya koeffitsienti qadamini Δk_t ni va $\pm n \times \Delta k_t$ ni ko'rsatgan holda, rostlanuvchi tarmoqlanishlarining yuqori va o'rta kuchlanish chulg'amlarining asosiy chiqishlariga nisbati bo'lgan musbat va manfiy maksimal son ko'rinishida berilgan bo'ladi. Masalan YUOR (RPN) uchun uning xarakteristikasi: $\pm 6 \times 1,5\%$, $\pm 8 \times 1,5\%$, $\pm 10 \times 1,5\%$, $\pm 9 \times 1,78\%$, $\pm 12 \times 1\%$; QQU (PBV) uchun: $\pm 2 \times 2,5\%$.

Nominal transformatsiyalash koeffitsienti – transformator chulg'amlarining nominal kuchlanishlari nisbati ko'rinishda aniqlanadi:

$$k_{t\ nom} = \frac{U_{1\ nom}}{U_{2\ nom}}.$$

Transformatsiyalash koeffitsientini o'zgartirish transformatorning biror chulg'amlarining o'ramlari sonini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi. Kuchlanishi rostlanuvchi transformatorlar uchun, xususan YuOR (RPN) sistemali bo'lganida, rostlagichning real holatining n – o'rami uchun transformatsiyalash koeffitsienti quyidagicha bo'ladi:

$$k_t = \frac{U_{1\ nom} \pm n \frac{\Delta k_T U_{1\ nom}}{100}}{U_{2\ nom}}$$

Masalan agar $U_1 = U_{yuk} = 115$ kV, $U_2 = U_{pk} = 11$ kV bo'lsa va YUOR (RPN) parametrlari $\pm 10 \times 1,5\%$ bo'lsa YUK chulg'ami tomonida o'ramlar soni W_{min} dan W_{max} gacha o'zgaradi, bu yerda k_t k_{min} dan k_{max} TS gacha o'zgaradi.

$$k_{t\ min} = \frac{115 - 10 \cdot \frac{1,5 \cdot 115}{100}}{11}, \quad k_{t\ max} = \frac{115 + 10 \cdot \frac{1,5 \cdot 115}{100}}{11}.$$

Umumiy holda transformatsiya koeffitsienti quyidagi kompleks raqam bilan aniqlanadi:

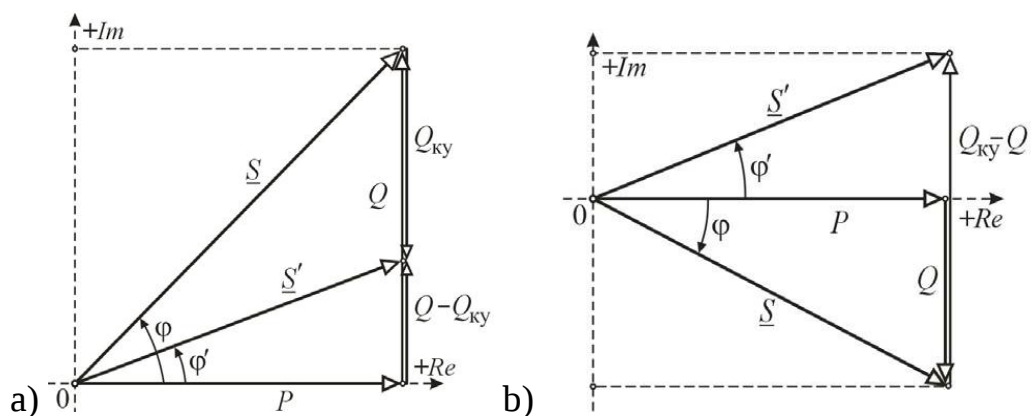
$$k_{t\,nom} = \frac{U_{1\,nom}}{U_{2\,nom}} \cdot e^{-mj\frac{\pi}{6}} \quad (5.50)$$

bu yerda: m – salt ishlash rejimida past kuchlanish fazasining siljish burchagi kattaligini aniqlovchi transformator chulg'amlarining ulanish gruppasi raqami.

5.5. Elektr tarmoqlarda kompensatsiyalovchi qurilmalar.

Turlari va vazifalari.

Reaktiv quvvatni kompensatsiyalovchi qurilmalarga quyidagilar kiradi: Statik kondensator batareyalari, shuntlovchi reaktorlar, statik tiristorli kompensatorlar (STK) va sinxron kompensatorlar (SK), bulardan tashqari yana tarmoqlardagi reaktiv qarshiliklarni kompensatsiyalovchi vositalar: bo'ylama ulangan kondensator qurilmalari va reaktorlar bo'ladi.



5.17-rasm. Kompensatsiyalovchi uzellarning ish rejimi: *a* – tarmoq uzeliida reaktiv quvvat etishmovchiligini kompensatsiya qilish; *b* – tarmoq uzeliida ortiqcha reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish;

Kompensatsiyalovchi qurilmalar (KQ) ularning tipiga va ish rejimiga ko'ra Q_{kq} reaktiv quvvatni generatsiya qilishi yoki iste'mol qilib turishi mumkin, elektr tarmoqdagi ortiqcha yoki etishmay qolgan reaktiv quvvatni kompensatsiya kilib, tarmoqning induktiv qarshiligini kamaytirib yoki oshirib turadi. Elektr tarmoqning

har qanday nuqtasida kompensatsiyalovchi qurilmalarni ulanishi yuklamaning reaktiv tashkil etuvchisini o'zgartiradi. Natijada uzeldagi yuklamaning to'la quvvati ham o'zgaradi, natijaviy vektor diagramma 5.17-rasmda ko'rsatilgan.

Demak, reaktiv quvvatni generatsiya qiluvchi yoki iste'mol qilayotgan kompensatsiyalovchi qurilmalar ulanishi natijasida (masalan sinxron kompensator (SK) yoki statik tiristorli kompensator STK), elektr tarmoq uchastkalaridan uzatilayotgan reaktiv quvvat o'zgaradi va buning oqibatida kuchlanish yo'qolishlari o'zgaradi:

$$\Delta U = \frac{PR + (Q \pm Q_{kq})X}{U} \quad (5.51)$$

Shunday qilib, tarmoq uzellarida va elektr iste'molchilar ulanish zajimlarida kuchlanishni rostlash imkoni tug'iladi:

$$U_{i+1} = U_i \pm \Delta U.$$

Elektrostantsiyadan va boshqa markaziy energiya ta'minoti markazlaridan uzatilayotgan reaktiv quvvat elektr tarmoqning barcha elementlarini yuklab, ularning aktiv quvvatni uzatish imkoniyatlarini kamaytiradi. Shu sababli iqtisodiy nuqtai nazaridan tarmoqning reaktiv quvvatlarga bo'lgan talabini (asosiy qismini) mahalliy reaktiv quvvat manbalari o'rnatish hisobiga qoplash kerak. Bu holda elektr tarmoq uchastkalaridan uzatilayotgan reaktiv quvvat miqdori kompensator quvvatiga kamayadi: $Q' = Q - Q_{ku}$,

ulardagi aktiv va reaktiv quvvat isroflari ham kamayadi:

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_{kq})^2}{U^2} R; \quad \Delta Q = \frac{P^2 + (Q - Q_{kq})^2}{U^2} X; \quad (5.52)$$

Elektr tarmoqning bo'ylama elementlaridagi elektr energiyasi isroflari aktiv quvvat isroflari bilan aniqlanadi:

$$\Delta W = \int_0^T \Delta R(t) dt, \quad (5.53)$$

natijada tarmoq bo'ylab katta aktiv quvvat oqimlarini uzatish uchun sharoit yaratiladi.

Ortiqcha reaktiv quvvat bo'lgan elektr tarmoqlarda (aktiv – sig'im quvvat), xususan 220 kV va undan yuqori kuchlanishli uzellarda, kam yuklamalar

davrlarida kuchlanish miqdori ortib ruxsat, etilgan chegaralaridan kattaroq bo'lishi mumkin. Kuchlanishni ruxsat etilgan chegarada ushlab turish uchun tarmoqdagi ortiqcha reaktiv quvvatni yo'qotish (kompensatsiya qilish) kerak bo'ladi (5.17, b-rasm). Elektr tarmoqdagi ortiqcha reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish uchun ko'ndalang ulangan reaktorlar, STK yoki yetarli darajada qo'zg'atilmagan sinxron mashinalar qo'llaniladi. Elektr tarmoqqa ulangan kompensatsiyalovchi qurilmalar tarmoqdan qisman aktiv quvvat ham iste'mol qiladi, lekin injenerlik hisoblarda ularni borligini hisobga olmaslikka yo'l qo'yiladi, chunki bunday holda natijalardagi o'zgarishlar sezilarsiz bo'ladi.

5.5.1. Kondensator batareyalari

Statik kondensatorlar batareyasi (KB) reaktiv quvvat manbai bo'lib hisoblanadi. Kondensator batareyasi tomonidan generatsiya qilingan reaktiv quvvat kattaligi kuchlanishning kvadratiga bog'liq bo'ladi:

$$Q_{KB} = 3\omega S_{SK} U_f^2 = U^2 \omega C_{KB}, \quad (5.54)$$

bu yerda: C_{KB} – kondensator batareyasining sig'imi, F;

ω – burchak chastotasi, rad.

Kondensator batareyasi tomonidan iste'mol qilinayotgan aktiv quvvat miqdori, reaktiv quvvat generatsiyasiga proportsional bo'ladi:

$$\delta P_{KB} = Q_{KB} \operatorname{tg} \delta \quad (5.55)$$

va kondensatorlar izolyatsiyasining sifatiga, izolyatsiyalovchi materialining dielektrik isroflar burchagining tangensiga ($\operatorname{tg} \delta$) proportsional bo'ladi. Kondensatorlar izolyatsiyasi uchun $\operatorname{tg} \delta$ kattaligi 0,003–0,006 kVt/kVar ni tashkil qiladi, shu sababli kondensatorlar batareyasining aktiv quvvat iste'moli (isroflari) sezilarsiz bo'ladi va natijada ularning yuqori iqtisodiy samaradorligini aniqlaydi. Dastlabki yondoshuvda kondensatorlar batareyasini ulanish joyida sig'im (manfiy) yuklama ko'rinishida beriladi. Lekin kondensatorlar batareyasining asosiy texnik

kamchiligi bo'lgan manfiy rostlovchi effektini ham hisobga olish kerak bo'ladi: Kuchlanishning kamayishida uning chiqishlarida reaktiv quvvat generatsiyasi (ishlab chiqarishi) sezilarli miqdorda kamayadi. Natijada kondensatorlar batareyalarining kompensatsiyalovchi samarasi pasayadi, buning oqibatida esa kuchlanish keyinchalik yana kamayib boradi. Shu sababli elektr tarmoq rejimlari hisobida uzeldagi kondensatorlar batareyasining o'tkazuvchanligini (shuntlashi) hisobga olish kerak bo'ladi (5.18, *a*-rasm).

$$B_{KB} = \omega C_{KB} = 2\pi f C_{KB} = 100\pi C_{KB}, \quad (5.56)$$

tok chastotasi $f = 50$ Gts, va sig'im qarshilik ifodasi quyidagicha bo'ladi:

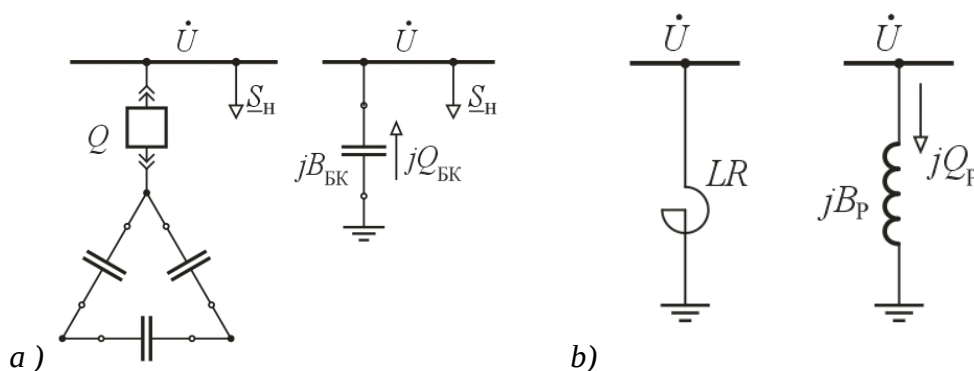
$$X_s = \frac{U_{nom}^2}{Q_{kb}}, \quad (5.57)$$

bu yerda: Q_B – nominal kuchlanishdagi kondensatorlar batareyasi quvvati. U holda kondensatorlar batareyasi quvvati, uning chiqishlaridagi haqiqiy kuchlanish kattaligiga qarab, qo'shimcha ravishda aniqlanadi:

$$Q_{KB} = U^2 B_{KB} \quad (5.58)$$

Kondensatorlar batareyalari yordamida uzelnining reaktiv quvvatga bo'lgan talabining (yuklamasi) bir qismi qoplanadi (kompensatsiya qilinadi), shu yo'l bilan uzelnining tarmoqdan olayotgan reaktiv quvvati δQ ga kamaytiriladi:

$$\delta Q = Q - Q_{KB}.$$



5.18-rasm. Ko'ndalang ulangan kompensatsiyalovchi qurilma:

a – kondensator batareyasi; *b* – reaktor

Kondnsator batareyasi ulanishi natijasida aktiv quvvat koeffitsienti $\cos\varphi$ yaxshilanib, $\cos\varphi'$ qiymatiga erishadi (5.18, *a*-rasm). Ko'pchilik holatlarda (past kuchlanishli aholi turar joy punktlaridagi taqsimlovchi tarmoqlarda va shunga o'xshash joylarda) reaktiv quvvatni to'liq kompensatsiya qilish samaraliroq bo'ladi. Bunda $Q_{KB} = Q$ bo'ladi va yuklama uzeli tarmoqdan faqat aktiv quvvat iste'mol qiladi ($\cos\varphi'=1$). $Q_{KB} > Q$ bo'lsa, ortiqcha kompensatsiya rejimi yuzaga keladi va reaktiv quvvat ortiqcha generatsiya qilinadi, δQ reaktiv quvvat uzeldan tarmoqqa beriladi; yuklama uzeli quvvat koeffitsienti birdan katta bo'ladi.

Rostlanmaydigan kondensator batareyasida kondensatorlar batareyasi (blok) soni o'zgarishsiz bo'ladi. Rostlanadigan kondensatorlar batareyasida (blokida) ulangan kondensatorlar batareyalar soni, elektr tarmoqning ish rejimlariga ko'ra qo'lda yoki avtomat ravishda, o'zgartirib turiladi. Kuchlanishi 6 kV va undan yuqori bo'lgan yirik kondensatorli qurilmalar standart quvvatlari 0,240 dan 0,750 Mvar gacha bo'lgan bloklardan komplektlangan bo'ladi. Standart bloklardan yig'ilgan 6-110 kV kuchlanishli kondensatorlar batareyalar tipaviy loyihalarining keng oraliqdagi nomenklaturasi mavjud. Solishtirma narhining nisbatan pastligi (1 kVar quvvati uchun) va ekspluatatsiyasi engilligi sababli KB va kompensatsiyalash qurilmalari mahalliy elektr tarmoqlarda reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish uchun keng qo'llaniladi. Ularni qo'llanilinish diapazoni keng—alohida olingan individual iste'molchilardagi (bir necha qVar dan, bir necha o'n kVar quvvatli) reaktiv quvvatni kompensatsiya qilishdan tortib to energosistemaning bosh pasaytiruvchi podstantsiyalari shinalaridagi reaktiv quvvatlarni (5–15 Mvar quvvatli kondensatorlar batareyasi) kompensatsiya qilishgacha bo'ladi.

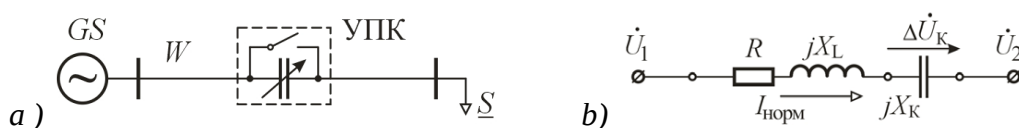
Bo'ylama sig'im kompensatsiyalovchi qurilmalar. Havo elektr uzatish liniyalarining induktiv qarshiligini kamaytirish (kompensatsiya) uchun ketma-ket ulangan kondensatorlar ishlatiladi, ular bo'ylama kompensatsiyalovchi qurilmalar deyiladi (BKQ). BKQ faza liniyalariga ketma-ket ulanadi (5.19, *a*-rasm). Bunday

qurilmalar kuchlanishi 0,38 dan 500 kV gacha bo'lgan elektr tarmoqlarda keng qo'llaniladi. Ko'ndalang – sig'im kompensatsiya sxemalarida kondensatorlar (almashinish sxemalarida) reaktiv qarshilik sifatida ko'rsatiladi:

$$X_k = \frac{1}{\omega C_k} \quad (5.59)$$

bu yerda: ω – burchak chastotasi;

C_k – batareyalar sig'imi.



5.19-rasm. Bo'ylama kompensatsiyalovchi sig'im qurilmasi:

a – ulanish sxemasi; b – o'rmini olish sxemasi.

X_k qiymatini quyidagi ifoda yordamida hisoblash mumkin:

$$X_k = \frac{U_{nom}^2}{Q_k} U, \quad (5.60)$$

bu yerda: U_{nom} , Q_k – kondensatorlar batareyasining (ularning ulanish sxemasini hisobga olib) reaktiv quvvat va kuchlanishning nominal qiymatlari.

Bo'ylama kompensatsiyalovchi qurilmalar ulanganida liniya induktiv qarshiligining bir qismi kompensatsiyalanadi, $X = X_L - X_k$, bunda kuchlanish isroflarining bir qismi ham kamayadi:

$$\Delta U_r = \Delta U_L \Delta U_k; \quad \Delta U = 3[I_a R + I_r (X_L - X_k)] = \Delta U_a + \Delta U_r, \quad (5.61)$$

Bu esa kuchlanishni qo'shimcha oshirilishiga $\Delta U_k = 3I_r X_k$ teng kuchli bo'ladi, kuchlanish esa o'z navbatida yuklama tokining reaktiv tashkil etuvchisiga bog'liq bo'lib, avtomat ravishda o'zgarib turadi. U qanchalik katta bo'lsa, bo'ylama kompensatsiyalovchi qurilmalar ulanganida liniya kuchlanish rejimi yaxshilanishi uchun ta'sirliroq bo'ladi. Lekin bo'ylama kompensatsiyalovchi qurilmalarning qo'llanilishi faqat kuchlanishi 35 kV gacha bo'lgan, aktiv quvvat koeffitsienti nisbatan past bo'lgan ($\cos \varphi \geq 0,75$) yuklamalarni ta'minlovchi elektr tarmoqlarda iqtisodiy samaraliroq bo'ladi. Normal rejimda bo'ylama

kompensatsiyalovchi qurilmalar orqali liniya yuklama toki oqib o'tadi (I_{norm}). Bu holatda, masalan induktiv qarshiligi 95 % kompensatsiya qilingan, AS 50/8 markali simli, 10 km masofaga tortilgan, 10 kV li havo liniyasining yuklamasi 2,0 MVt atrofida bo'lsa, loyihalashtirilgan quvvatni uzatishda kuchlanishga minimal qo'shimcha miqdori 5,0 % atrofida bo'ladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta U_k = 3 I_{\text{norm}} X_k \sin \varphi \quad (5.62)$$

Agar reaktiv yuklamalar kam bo'lsa ($\tan \varphi$ nolga yaqin), kuchlanish isroflari asosan aktiv yuklama va qarshiliklar (ΔU_a tashkil etuvchisi) bilan aniqlanadi va demakki, induktiv qarshilikni kompensatsiya qilish maqsadga muvofiq bo'lmaydi. Yuqoriroq nominal kuchlanishlarda ($U > 35 \text{ kV}$), liniyaning induktiv qarshiligi (X) aktiv qarshiligidan (R) sezilarli darajada oshib ketsa, bo'ylama kompensatsiyalovchi qurilmalar avvalambor elektr tarmoqlarning quvvat o'tazish imkoniyatini oshirish va energosistemaning statik va dinamik turg'unligini oshirish uchun qo'llaniladi. Shuntlovchi reaktor (ko'ndalang ulanadigan reaktor) – bu statik elektromagnit qurilma bo'lib, elektr energosistemalarda kuchlanishni va reaktiv quvvat oqimini rostlash va yerga ketayotgan sig'im toklarini kompensatsiya qilish uchun qo'llaniladi. Shuntlovchi reaktorlar 35–750 kV kuchlanishlarda tayyorlanadi. Ulangan holda reaktorning iste'mol qiladigan reaktiv quvvati kuchlanishning kvadratiga bog'liq bo'ladi (uning elektromagnit xarakteristikasi chiziqli bo'lgan zonada):

$$Q_r = U^2 B_r, \quad (5.63)$$

bu yerda: B_r – reaktorning induktiv o'tkazuvchanligi,

Tarmoq rejimlarining hisobida shuntlovchi reaktorni hisobga olish uchun shuntning induktiv o'tkazuvchanligi kattaligi kiritiladi (musbat shunt):

$$B_r = \frac{Q_{r \text{ nom}}}{U_{\text{nom}}^2}, \quad (5.64)$$

Reaktorning pasport ma'lumotlaridan reaktiv quvvatining nominal miqdori Q_p va nominal kuchlanishi U_{nom} olinadi.

Taqribiy hisoblarda shuntlovchi reaktorlar, ulanish nuqtasidagi reaktor quvvatiga teng bo'lgan, yuklama miqdori bilan beriladi. (5.19, b-rasm).

Shuntlovchi reaktorlardan tashqari, podstantsiyalarda yerga ulovchi reaktorlar qo'llaniladi, ular yerga tutashgan sig'im toklarni kompensatsiya qilish uchun mo'ljallanadi.

5.5.2. Sinxron kompensatorlar

Sinxron a'yon qutbli aylanuvchi (masalan 750 ayl/min) mashina, salt ishlash rejimida sinxron kompensator (SK) rejimida bo'ladi. Sinxron kompensatorlar yirik podstantsiyalarda maxsus reaktiv quvvatni generatsiyasi va iste'molchisi sifatida o'rnatiladi. Sinxron kompensatorlarni ulanishi uzelda reaktiv quvvat balansini boshqarib, kuchlanishni stabillash va uni kichik diapazonlarda rostlash ($\pm 5\%$) uchun ishlatiladi:

$$0,95 U_{\text{nom}} \leq U_{\text{sk}} \leq 1,05 U_{\text{nom}}. \quad (5.65)$$

Sinxron kompensator reaktiv quvvatini belgilangan diapazonda o'zgartirib kuchlanish rejimlariga ta'sir o'tkaziladi:

$$Q_{\text{min}} \leq Q_{\text{sk}} \leq Q_{\text{max}} \quad (5.66)$$

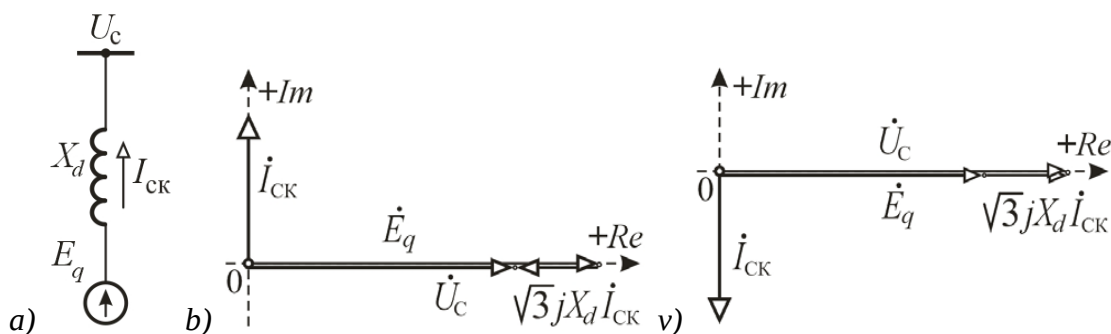
bu diapazonning ortishi bilan rostlash imkoniyati ortadi. Sinxron kompensatorning ortiqcha qo'zg'atilgan rejimida generatsiya qilinayotgan eng katta reaktiv quvvat Q_{max} , uning nominal quvvati bo'ladi. Kam qo'zg'atilgan sinxron kompensator tarmoqdan reaktiv quvvat iste'mol qiladi. Sinxron kompensatorning kam qo'zg'atilgan rejimidagi minimal quvvati Q_{min} uning parallel (sinxron) ishlab turish turg'unligi bo'yicha rejim chegaralanishlaridan aniqlanadi. Sinxron kompensator ishlab turganida kam miqdorda, rotor va statoridagi quvvat isroflariga va podshipniklarining ishqalanishiga sarf qilinuvchi aktiv quvvat iste'mol qilsada, sinxron kompensatorning o'rnini olish sxemasini aktiv qarshiliksiz ko'rsatishimiz mumkin (5.20, a-rasm). Sxemaga mos vektor diagrammalar 5.6, b, v-rasmlarda berilgan. Vektor diagrammalardan sinxron kompensatorning tok miqdorini aniqlaymiz:

$$I_{\text{sk}} = (E_{\text{sk}} - U_s) / 3X_d, \quad (5.67)$$

$R_{sk} \approx 0$ bo'lganligi uchun, uning quvvati quyidagicha bo'ladi:

$$Q = S = \sqrt{3} U_s I_s = (E_d - U_s) \frac{U_c}{X_d} \quad (5.68)$$

Bundan ko'ramizki, sinxron kompensatorning reaktiv quvvatining kattaligi va yo'nalishi SK ulangan elektr tarmoq uzeldagi kuchlanish (U_c) va sinxron kompensatorning EYUK (E_q) orasidagi nisbatlariga bog'liq bo'ladi.



5.20-rasm. Sinxron kompensator: a – soddalashtirilgan o'rnini olish sxemasi;

b – ortiqcha kuchlanish rejimida kuchlanishlar vektor diagrammasi;

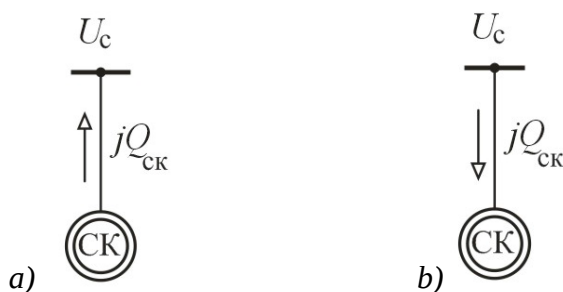
v – kam kuchlanish rejimida kuchlanishlar vektor diagrammasi

EYUK sinxron kompensatorning qo'zg'atish toki kattaligi bilan aniqlanadi: qo'zg'atish toki ortsa sinxron kompensatorning EYUK ham ortadi. Agar $E_q > U_c$, bo'lsa sinxron kompensator tarmoqqa reaktiv quvvatni ishlab chiqaradi, va tarmoqdan kuchlanishdan oldinda bo'lgan tok iste'mol qiladi (5.20, b-rasm).

$$Q_{sk} = -U_s^2 / X_d \quad (5.69)$$

Uning kattaligi nominal qiymatining 50–60 foizni tashkil qiladi. Qo'zg'atish tokining kamayishi natijasida EYUK kattaligi tarmoq kuchlanishiga tenglashishi mumkin, ya'ni $E_q = U_c$ bo'ladi, SKning reaktiv quvvati esa nol bo'ladi, $Q_{sk} = 0$ ($\cos \varphi = 1$). Qo'zg'atish tokining keyingi kamayishida sinxron kompensator yetarli qo'zg'atilmagan rejimiga o'tadi va $E_q < U_c$, bo'ladi, sinxron kompensator elektr tarmoqdan reaktiv quvvat va kuchlanishdan orqada qoluvchi tok iste'mol qiladi (5.20, v-rasm). Chegaraviy kam qo'zg'atilgan rejimida sinxron kompensatorning EYUK nolga yaqinlashadi: $E_q = 0$, qo'zg'atish tokisiz tarmoqqa ulangan sinxron kompensator undan reaktiv quvvat iste'mol qiladi.

Sinxron kompensatorlarning asosiy afzalliklari shundaki, unda rostlash effekti musbat xarakterli, ya'ni reaktiv quvvat ishlab chiqarishni ravon oshirib boriladi va natijada yuklama maksimumi soatlarida yoki elektroenergetik sistemalardagi avariya rejimida kuchlanish oshiriladi yoki stabillashtiriladi. Rostlash tezligi (inertsialiligi) sinxron kompensatorni qo'zg'atilishini avtomat rostlash sistemasi bilan aniqlanadi. Shunday qilib, sinxron kompensator ham kondensatorning, va ham reaktorning imkoniyatlariga ega bo'ladi: ortiqcha qo'zg'atilgan rejimida ishlab tursa, sinxron kompensator generator reaktiv quvvat generatori bo'ladi, kam qo'zg'atilgan rejimida esa – reaktiv quvvat iste'molchisi bo'ladi (5.21-rasm). Elektr rejimlarni EHM lari yordamida hisoblanganida sinxron kompensatorlar $P, U = \text{const}$ bo'lgan va manfiy quvvat generatsiyali – $R_{sk} \approx \Delta R_{xx}$ tayanch uzeli sifatida olinadi, uning aktiv quvvati nominal quvvatdan 1% atrofida deb qabul qilinadi. Reaktiv quvvatning o'zgarish diapazoni kattaligi (7.23) ifodadan sinxron kompensator kuchlanishini U_{sk} ta'minlash uchun kerak bo'lgan qiymatda belgilanadi. Agar bu kuchlanishni ta'minlovchining reaktiv quvvati ko'rsatilgan oraliqdan tashqariga chiqsa, shunga mos sinxron kompensatorning reaktiv quvvati $Q_{sk} = Q_{\text{maks}}$ yoki $Q_{sk} = Q_{\text{min}} = \text{const}$ oraliqda o'rnatiladi va va shu quvvatga mos bo'lgan yuklama (tayanch bo'lmagan) uzeli uchun sinxron kompensator kuchlanishi U_{sk} hisoblab topiladi. Hisoblashlarda sinxron kompensator xuddi tayanch bo'lmagan uzeli ($-Q_{sk} = \text{const}$) yoki hisoblanayotgan kuchlanishga mos keluvchi reaktiv quvvat iste'molchi uzeli ($Q_{sk} = \text{const}$) sifatida olinadi.

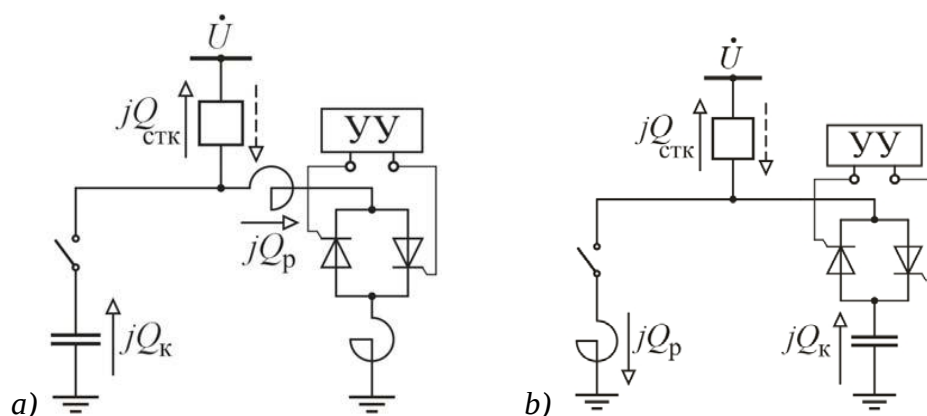


5.21-rasm. SKning ish rejimlari: *a* – ortiqcha qo'zg'atilgan rejimda; *b* – yetarli qo'zg'atilmagan rejimda.

Shu bilan birgalikda sinxron kompensator bu quvvati 320 Mvargacha bo'lgan, yuqori darajada ekspluatatsiya talab qiladigan, xususan elektroenergetik sistemalarda parallel ishlab turishi talab qilinadigan yirik aylanma harakatli elektr mashinadir. Sinxron kompensatorning ishlab turishi sezilarli elektr energiyasi isroflari va yordamchi materiallar sarfi bo'lishini talab qiladi. SHu sababli sinxron kompensatorga nisbatan nisbatan arzon va konstruksiyasi amalda ishlatib ko'rilgan statik kondensatorlar batareyalari elektr tarmoqlarda reaktiv quvvatni kompensatsiya qilishda ko'proq ishlatiladi.

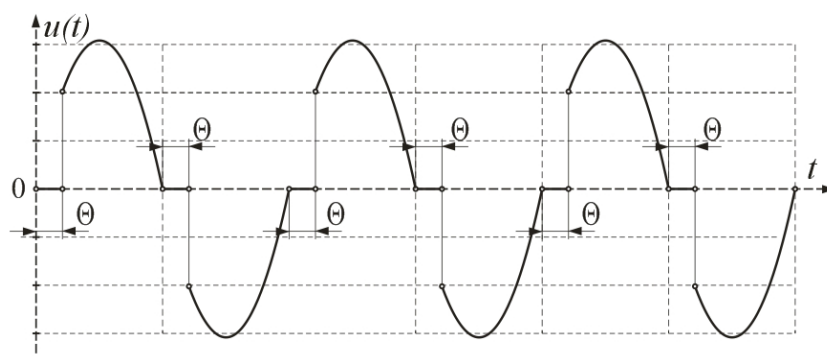
5.5.3. Statik tiristorli kompensatorlar

Statik tiristorli kompensatorlar – reaktiv quvvatni ham ishlab chiqarib berish, ham iste'mol qilish uchun mo'ljallangan kompleks qurilmalardir. Statik tiristorli kompensatorlar tiristorli boshqarilishi sababli u tezkor (operativ) bo'lib, reaktiv quvvat kattaligi ravon boshqariladi. Elektroenergetik sistemalar podstantsiyalariga o'rnatilayotgan statik tiristorli kompensatorlar quvvatlari 100, 150, 250, 300 i 400 MVar bo'lib, 10; 15,75; 20; 35; 110 kV nominal kuchlanishda ishlab turadi. Statik tiristorli kompensatorlar asosini yig'uvchi elementlar (sig'imlar, induktivliklar), reaktor-tiristorli va kondensator-tiristorli bloklar tashkil qiladi.



5.22-rasm. STK ning printsipl sxemalari: a –reaktor quvvatini rostlash bilan;
b –kondensator batareyalar quvvatini rostlash bilan.

5.22–rasmda statik tiristorli kompensatorlarning ikkita printsipl sxemalari keltirilgan. Sxemalar quvvati bir xil bo'lgan kondensator batareyalaridan yoki reaktorlardan (5.22, *b*-rasm) iborat bo'ladi. Statik tiristorli kompensatorlar quvvatini ravon boshqarish, tiristorlarning ochilish va yopilish momentini (rostlash burchagi θ) boshqaruvchi, boshqarish qurilmasi bilan ta'minlangan, qarama-qarshi – parallel ulangan boshqariluvchi ventillar, yordamida amalga oshiriladi (5.23-rasm).



5.23-rasm. Statik tiristorli kompensatorlar yig'uvchi elementlarining kirishidagi kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarish diagrammasi.

Bunday boshqarish reaktoring yoki kondensator batareyasini tarmoqqa ulanish vaqtini har yarim davrda o'zgartirish imkonini beradi. Buning natijasida mos yig'uvchi elementlarning zanjirlaridagi (chiqishlarida) kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati va hosil bo'layotgan quvvati o'zgaradi.

$$Q_{\text{EA}} = U^2 / X_k, \quad Q_r = U^2 / X_p.$$

Statik tiristorli kompensatorlarning quvvati Q_{stk} , uning chiqishlarida 1-2 sanoat chastotasi davri ichida U_c kuchlanishi amalda o'zgarishsiz qolganida, iste'mol qilinuvchi qiymatidan to'ishlab chiqariladigan qiymatigacha o'zgaradi (rostlash diapazoni oralig'ida)

$$Q_{\text{stk}} = Q_p - Q_{\text{KB}} > 0.$$

O'chirilishida kondensator batareyasi yoki statik tiristorli kompensatorlar reaktori reaktiv quvvatni ishlab chiqaradi yoki iste'mol qiladi (mos ravishda 5.22, *a*-rasm va 5.22, *b*-rasm). Statik tiristorli kompensatorlar, turg'unlik rejimlarini hisoblashlarda, xuddi sinxron kompensator sifatida qabul qilinishi mumkin: P , Q –

const tipli tayanch bo'lmagan uzellarda generatsiyasi bilan yoki P , U – const ko'rinishdagi, kompensatsiya qilinayotgan reaktiv quvvat kattaligiga ko'ra aniqlanuvchi $Q_{\min}$, $Q_{\max}$ rostlanish oralig'i bilan, kondensator batareyasi va reaktordagi isroflarga sarf bo'luvchi kam miqdordagi aktiv quvvati bo'lgan tayanch uzeli sifatida ko'riladi.

Tekshirish uchun savollar

1. Kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi transformatorlarning vazifasi nimadan iborat?
2. Nima uchun elektroenergetik sistemalarda elektr energiyasi (kuchlanish) transformatsiyalanadi?
3. Ikki - , uch chulg'amli kuch transformatorlari va avtotransformatorlari qanday belgilanadi?
4. Ikki - , uch chulg'amli kuch transformatorlari va avtotransformatorlari chulg'amlari qanday ulanadi?
5. Kuch transformatorlari va avtotransformatorlari qanday ulanish sxemalari bor?
6. Elektr tarmoqlarda kanday kuchlanishlar pog'onasi transformatorlar yordamida ulanadi?
7. . Kuch transformatorlarining ikkinchi tomonida transformatsiyadan keyin faza sijishi bo'ladimi?
9. Nima uchun TPlarda kuchlanish rostlanadi?
10. Chulg'amlari bo'laklangan ikkichulg'amli transformatorlar qachon qo'llaniladi?
12. Chulg'amlari bo'laklangan ikkichulg'amli transformatorlarning almashinish sxemasi qanday ko'rinishda bo'ladi?
13. Chulg'amlari bo'laklangan ikkichulg'amli transformatorlarning uchchulg'amli transformatorga qanday o'xshashligi bor?
14. Chulg'amlari bo'laklangan ikki chulg'amli transformatorlar qanday kuchlanishli tarmoqlarda ishlatiladi?

15. Chulg'amlari bo'laklangan ikki chulg'amli transformatorlar qanday neytrallik rejimlari va ulanish sxemalari bor?
16. Chulg'amlari bo'laklangan ikki chulg'amli transformatorlarning o'tkazuvchanligi bo'laklanishlar soniga bog'liq bo'ladimi?
18. Chulg'amlari bo'laklangan ikki chulg'amli transformatorlarda q.t.t. qanday chegaralanadi?.
19. Kuch transformatorlarning tiplari qanday belgilanadi, ular qanday ma'noni anglatadi?
21. Chulg'amlari bo'laklangan ikkichulg'amli transformatorlarda qanday sovitish usullari va kuchlanishni rostlash usullari bor?
22. . Kuch transformatorlarning standart nominal quvvatlar qatorini ayting?
23. Kompensatsiyalovchi qurilmalarning turlari, vazifasi va ishlashini ayting?
24. Kompensatsiyalovchi qurilmalarning yordamida kuchlanish qanday rostlanadi?

6-bob. ELEKTR ENERGIYASINING SIFAT KO'RSATKICHLARI VA ME'YORLARI. AKTIV VA REAKTIV QUUVVATLAR BALANSI VA ENERGOSISTEMADA KUCHLANISH VA CHASTOTA DARAJASI.

6.1. Elektr energiyasi sifatining asosiy ko'rsatkichlari va me'yorlari

Elektr tarmoq rejimlarini rostdash printsiplarini shakllantirish elektr energiyasi sifatiga qo'yiladigan ma'lum bir talablarga asoslanadi. Bunday talablar davlat va tarmoq standartlarida shakllantirilgan. Elektr energiyasi sifatining ko'pchilik ko'rsatkichlari uchun normal ruxsat etilgan va chegaraviy ruxsat etilgan qiymatlari o'rnatilgan. Bunda 24 soatdan kam bo'lmagan vaqt ichida nazorat qilinganida, ko'rsatkich qiymatlari chegaraviy ruxsat etilgan qiymatlaridan chiqmasligi va normal ruxsat etilgan qiymatlari ichida 0,95 ehtimoli bilan qolishi kerak bo'ladi. Bu talablar barcha normal, remon, va avariya dan keyingi rejimlar uchun saqlanishi zarur, faqat tabiiy ofatlar va ko'zda tutilmagan holatlar bundan mustasno (to'fon, er qimirlash, suv toshqini, yong'in va shunga o'xshash). Elektr energiyasi sifati o'zgaruvchan tokning chastota va kuchlanishi bilan va doimiy tokning kuchlanishi bilan xarakterlanadi. Chastota sifatini baholash uchun chastotaning og'ishi qabul qilingan. Chastotaning og'ishi deganda chastotaning nominal qiymatiga nisbatan sekin asta ravon o'zgarishi tushuniladi (sekundiga bir foizgacha) va quyidagicha aniqlanadi:

$$\delta f = f - f_{\text{nom.}} \quad (6.1)$$

Chastota kattaligining o'zgarishiga asosan EESdagi generatsiya qilinayotgan va iste'mol qilinayotgan aktiv quvvat balansining buzilishi sabab bo'ladi. Amaldagi davlat standartlarida chastota o'zgarishlariga normal ruxsat etilgan va

chegaraviy ruxsat etilgan qiymatlari belgilangan. Ularning kattaliklari mos ravishda quyidagicha bo'ladi:

$$\delta f_{\text{norm}} = \pm 0,2 \text{ Gts i } \delta f_{\text{chegar}} = \pm 0,4 \text{ Gts.}$$

Kuchlanish sifati bir necha ko'rsatkichlar bilan baholanadi, ularning ko'pchiligi ruxsat etilgan qiymatlari bilan xarakterlanadi (1-jadval). Ulardan asosiylarini ko'rib chiqamiz. Kuchlanish sifat ko'rsatkichlaridan ko'proq elektr tarmoqning biror nuqtasidagi kuchlanishning nominal qiymatiga nisbatan sekin, ravon og'ishlari kuzatiladi. Kuchlanishning og'ishlari elektr tarmoqqa ulangan iste'molchilarning ish rejimlari, qo'shimcha yuklamalarning ulanishi va buning oqibatida kuchlanishning pasayishi bilan bog'langan bo'ladi. Kuchlanishning og'ishlariga yana tarmoq ulangan ta'minot markazidagi (TM), ya'ni elektrostantsiya shinalaridagi yoki pasaytiruvchi podstantsiyalar shinalaridagi kuchlanishlarning o'zgarishlari ham ta'sir ko'rsatadi.

6.1-jadval

Kuchlanish sifati ko'rsatkichlarining me'yorlari

Kuchlanishning sifat ko'rsatkichlari	Kuchlanish sifati ko'rsatkichlarining me'yorlari	
	Normal ruxsat etilgan	CHegaraviy ruxsat etilgan
Kuchlanishning barqaror og'ishlari, δU_y , %	± 5	± 10
Kuchlanish o'zgarishlarining qamrovi, δU_t ,	-	Takrorlanish chastotasiga bog'liq ravishda
Kuchlanish o'zgarishining sinusodadan og'ishi kU , %, U_{nom} , kV kuchlanishda: 0,4 6,10 35 110,220,500	8 5 4 2	12 8 6 3
Kuchlanishning n -y garmonika tashkil etuvchisi koeffitsienti, $kU(n)$, %	Garmonika tartib raqamiga, ET shakliga va kuchlanish kattaligiga bog'liq	$1,5kU(n)_{\text{norm}}$
Teskari ketma-ketlik bo'yicha kuchlanishning nosimmetriyalik koeffitsienti, $k2U$, %	2	4
Nol ketma-ketlik bo'yicha kuchlanishning	2	4

nosimmetriyalik koeffitsienti, $k0U$, %		
Kuchlanishning sakrash davomiyligi, Δt_p , sek	-	30

Kuchlanishning og'ishlari bevosita tarmoqdan ta'minlanayotgan iste'molchilarning ish rejimlariga, hamda elektr tarmoq elementlari holatiga ta'sir ko'rsatadi. Masalan eng asosiy iste'molchilar bo'lgan elektr dvigatellar kuchlanishning og'ishlarida tezligini o'zgartiradi va ishchi mexanizmlarning ish unumiga ta'sir ko'rsatadi. Kuchlanishning pasayishi tomonga o'zgarishi, ayniqsa yoritish vositalariga kuchli ta'sir ko'rsatadi, ularning yoritish imkoniyatlari pasayib, ishlab chiqarish jarayoniga ta'sir ko'rsatadi.

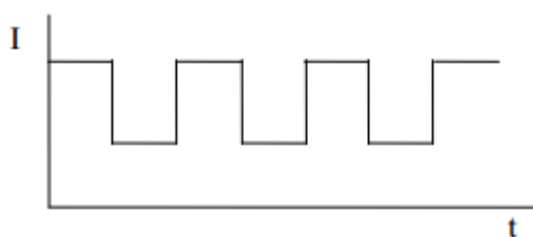
Kuchlanishning og'ishlari transformatorlar va elektr uzatish liniyalaridagi yuklama va salt ishlash isroflariga, elektr tarmoqlarning zaryadlovchi quvvatiga ta'sir ko'rsatadi. Kuchlanishning og'ishlari kuchlanishning barqaror og'ishlari kattaligi bilan quyidagi ifoda bo'yicha baholanadi:

$$\delta U_b = \frac{U_b - U_n}{U_n} \cdot 100\% \quad (6.2)$$

Amaldagi Davlat standarti bilan kuchlanishi 1000 V bo'lgan tarmoqlarga ulanishi mumkin bo'lgan, hamda 6-10 kVli tarmoqlarga ulanadigan, elektr iste'molchilar ulanish shinalaridagi kuchlanishning ruxsat etilgan og'ishlari me'yorlari belgilangan (6.1-jadval). Bunda 6,10-110 kVli taqsimlovchi tarmoqlarda, rayon va sistemaviy xaraktyerdagi elektr tarmoqlarda kuchlanish sifati kattaligi shunday o'rnatiladiki, barcha iste'molchilarda kuchlanish kattaligi standart talablari bo'yicha bo'lib qolsin. Shu bilan birga izolyatsiya sharoitidan kelib chiqib, kuchlanishning qisqa muddatlarga maksimal ortishi 6–20 kV nominal kuchlanishlarda – 20 % qilib o'rnatilgan, boshqa kuchlanishlarda ham mos ravishda: 35–220 kV – 15 %, 330 kV – 10 %, 500 kV – 5 %. Eksploatatsiya sharoitlarida har bir iste'molchilarda kuchlanish kattaligini nazorat qilish murakkab masala hisoblanadi. Shu sababdan elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sistemasida ma'lum bir nazorat nuqtalari belgilanadi va nuqtalar uchun kuchlanishning ruxsat etilgan kattaliklari o'rnatiladi. Agar shu xarakterli nazorat

nuqtalarida kuchlanish kattaligi standart me'yorlarida bo'lsa, demak, iste'molchilarda ham ruxsat etilgan me'yorda bo'lib qoladi.

Nazorat nuqtalari odatda, asosiy uzal nuqtalari uchun ikkilamchi kuchlanish shinalarida va elektrostantsiya chiqishlarida olinadi. Kuchlanishning tebranishi deganda kuchlanishning nominal kattaligi atrofida keskin qisqa muddatlarga o'zgarishlari (sekundiga 1 %dan yuqori tezlik bilan o'zgarishi) tushuniladi. Ular qo'qisdan katta amplituda bilan yuzaga keladi, masalan elektr dvigatelni ishga tushirishda. Yana bunday rejim payvandlash agregatlarida, qisqa muddatli - qayta ishga tushiriluvchi rejimlardagi agregatlarda paydo bo'ladi (6.1-rasm).



6.1- rasm. Qayta ishga tushiriluvchi qisqa muddatli ish rejimida ishlovchi iste'molchining tok kattaligini o'zgarish grafigi.

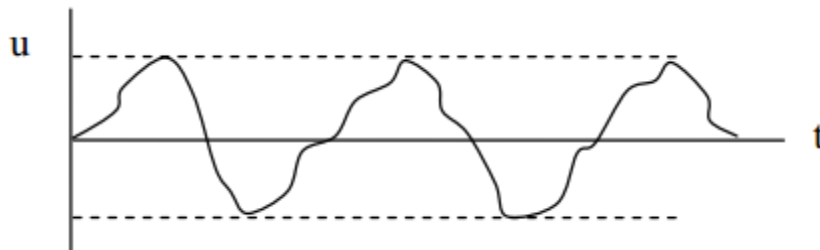
Bunda tok kattaligining keskin o'zgarishlari tarmoq uzellaridagi kuchlanishning keskin pasayishiga olib keladi. Kuchlanishning tebranishi yoritkichlarda ham lipillashni yuzaga keltiradi, ish unumi pasayishi mumkin. Bunday vaziyatlar odatda 1000 V gacha bo'lgan elektr tarmoqda bo'ladi. Kuchlanishning tebranishi miqdori bo'yicha kuchlanish o'zgarishi qamrovi bilan baholanadi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\delta U_{\%} = \frac{U_i - U_{i+1}}{\sqrt{2} U_n} \cdot 100\%, \quad (6.3)$$

bu yerda: U_i , U_{i+1} – kuchlanishning ketma-ket kelgan amplitudaviy qiymatlari.

Kuchlanish tebranishining ruxsat etilgan qamrov miqdorlari uning paydo bo'lish chastotasiga qarab belgilanadi. Kuchlanish tebranishining paydo bo'lish chastotasi ortgan sari ruxsat etilgan qamrov miqdori kamaya boradi. Kuchlanish tebranishini baholash uchun yana *fliker dozasi* degan tushuncha qabul qilingan. *Fliker dozasi* inson organizmining belgilangan vaqt ichida flikerning ta'siri

o'lchovi sifatida xarakterlanadi. Bunda fliker so'zi inson organizmining kuchlanish o'zgarishi oqibatida bo'ladigan yorug'lik oqimi to'lqinlari o'zgarishlariga sub'ektiv ta'sirlanishi tushuniladi. Kuchlanishning nosinusoidalligi uning davriy o'zgarishlarining sinusoidadan farqliligi bilan baholanadi (6.2-rasm).



6.2-rasm. Kuchlanishning nosinusoidalligi.

Kuchlanish nosinusoidalligining paydo bo'lishi elektr tarmoqda noxiziqli elementlar borligi bilan tushuntiriladi. Ularga yuklanib ishlayotgan elektromagnit qurilmalar (magnit yuritkich g'altigidan tortib to kuch transformatorigacha), hamda sanoat korxonalarining boshqa chastotali tokda ishlaydigan to'g'irlash qurilmalari, elektrlashtirilgan temir yo'l transporti va boshqalar misol bo'ladi. Elektr tarmoqda nosinusoidallik bo'lsa, tarmoq elementlaridan qator nomutanosibliklar tug'diruvchi yuqori garmonikali toklar oqib o'tadi: ya'ni liniya, generatorlar, transformatorlar, dvigatellar simlari ko'proq qiziydi, kuch kondensator batareyalari zararlanadi, rele ximoyasi va avtomatika vositalarining bemaxal ishga tushib kyetishiga olib keladi va hokazo. Kuchlanishning nosinusoidalligi miqdori kuchlanish o'zgarish egri chizig'ining sinusoidalligining buzilish koefitsienti bilan baholanadi (6.1-jadval), i -chi kuzatuv natijasi bo'yicha quyidagicha yoziladi:

$$U_i = U_{(n)i} \cdot k_{U_i} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)i}^2}}{U_n} \cdot 100\% \quad (6.4)$$

bu yerda: $U_{(n)i}$ – i -kuzatuvdagi n -garmonika uchun kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati.

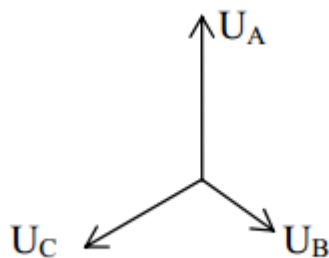
Bundan tashqari kuchlanishning n -garmonika tashkil etuvchisi *koefitsienti* me'yorlanadi (jadval.):

$$k_{U(n)i} = \frac{U_{(n)i}}{U_n} \cdot 100\% \quad (6.5)$$

Normal ruxsat etish koeffitsienti kattaligi $k_{U(n)\text{norm}}$ tarmoqning nominal kuchlanishiga, tarmoqning bajarilishiga (uch yoki bir fazali), garmonika raqamiga qarab belgilanadi. Kuchlanish qanchalik katta bo'lsa, shunchalik garmonikalarning ruxsat etilgan darajasi kam bo'ladi. Garmonikalarning ruxsat etilgan darajasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$K_{U(n)\text{chegar}} = 1,5U_{U(n)\text{norm}}.$$

Kuchlanishning nosimmetriyasi turli fazalardagi kuchlanishlar kattaliklarining farqi bilan xarakterlanadi. Bu holat har xil fazalarga har xil quvvatli iste'molchilar ulanishi va bir fazali iste'molchilarning turli qismlarining tasodifan turlicha ulanib qolishi (ehtimollik simmetriya) bilan yuzaga kelishi mumkin. Natijada har xil fazalarda turlicha yuklama bo'lib, ularda kuchlanishlar pasayishi turlicha bo'ladi, buning oqibatida tarmoq uzellarida fazalardagi kuchlanishlar bir birdan farq qiladi. Yirik bir fazali iste'molchilari bo'lgan tarmoqlarda, masalan kommunal maishiy iste'molchilarda, nosimmetriya katta bo'ladi.



6.3-rasm. Uch fazali nosimmetrik kuchlanishlar sistemasi.

Kuchlanishning nosimmetriyasi nol va teskari ketma-ketlik toklarining paydo bo'lishiga olib keladi. Bu esa tarmoq elementlarida (liniya, transformatorlarda) va elektr motorlarda qo'shimcha elektr energiyasi isroflariga va ularning qizishiga olib keladi. Yuklamalar nosimmetriyasi ayrim fazalarda

kuchlanishning haddan tashqari katta og'ishlariga olib keladi. Kuchlanishning nosimmetriyasi miqdor jihatidan quyidagi ko'rsatkichlar bilan baholanadi:

i -chi kuzatuvdagi teskari ketma-ketlik bo'yicha kuchlanishining nosimmetriyasi koeffitsienti:

$$k_{2U_i} = \frac{U_{2(1)i}}{U_{nom}} \cdot 100 \% \quad (6.6)$$

i -chi kuzatuvdagi nol ketma-ketlik bo'yicha kuchlanishining nosimmetriyasi koeffitsienti:

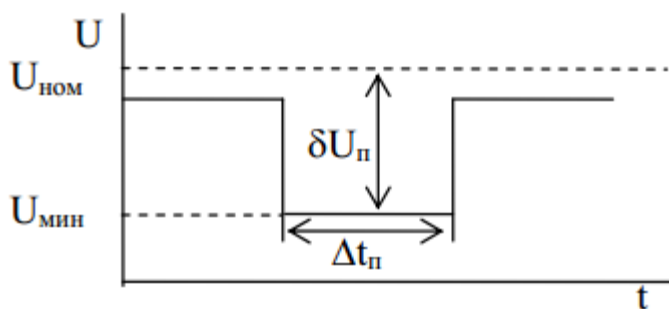
$$k_{0U_i} = \frac{U_{0(1)i}}{U_{nom}} \cdot 100 \%, \quad (6.7)$$

bu yerda: $U_{2(1)i}$ — uch fazali sistema asosiy chastota kuchlanishining i -chi kuzatuvdagi teskari ketma-ketlik bo'yicha fazalararo kuchlanishining ta'sir etuvchi kattaligi;

$U_{0(1)i}$ — asosiy chastota kuchlanishining i -chi kuzatuvdagi nol ketma-ketlik kuchlanishining ta'sir etuvchi kattaligi;

U_{nom} — nominal fazalararo kuchlanish.

Yana kuchlanish sifatini baholovchi ko'rsatkichlar sifatida kuchlanishning sinishi olinadi. Bu kuchlanishning $0,9U_{nom}$ darajasidan keskin pasayib kyetishi va ma'lum vaqt ichida yana tiklanishi. Kuchlanish qiymatining bunday keskin o'zgarishiga elektr tarmoqdagi o'zgarishlar sabab bo'ladi. Eng birinchi sabab tarmoqdagi qisqa tutashuvlar bo'ladi.



6.4-rasm. Kuchlanishning $0,9U_{nom}$ darajasidan keskin pasayib kyetishi va tiklanishi.

Ma'lumki, elektr tarmoqdagi muddatli qisqa tutashuvlarga yo'l qo'yilmaydi, chunki bunda kuchlanish keskin pasayib, tok keskin oshib ketadi, bu esa iste'molchilar uchun katta xavf tug'diradi, ularning faoliyati izdan chiqadi. Shu sababli kuchlanish provalida uning davomiyligi katta rol o'ynaydi (6.4-rasm):

$$\Delta t_p = t_k - t_n, \quad (6.8)$$

bu yerda: t_n va t_k – kuchlanish sakrashining (sinishi) boshlang'ich va oxirgi qiymatlari.

Me'yoriy xujjatlarda kuchlanish sakrashining chegaraviy ruxsat etilgan davomiyligining kattaligi belgilangan. Bunda kuchlanish sakrashining avtomat ravishda yo'qotilishining chegaraviy ruxsat etilgan davomiyligi kattaligi me'yorlanmaydi, va rele ximoyasi va avtomatika vositalarining to'xtalish vaqti bilan aniqlanadi. Kuchlanish sakrashining chuqurligi ham me'yorlanmaydi va quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$\delta U_{savr} = \frac{U_{nom} - U_{min}}{U_{nom}} \cdot 100\%$$

Kuchlanishning sifati yana kuchlanish impulsi kattaligi bilan ham xarakterlanadi, kuchlanish impulsi atmosferaviy va kommutatsiyaviy o'takuchlanishlar bilan xarakterlanadi. Bundan tashqari elektr tarmoqda bo'ladigan rejim buzilishlarida yuzaga keladigan vaqtinchalik o'takuchlanishlarni baholovchi vaqtinchalik o'takuchlanishlar koefitsienti bo'ladi. Bu kattaliklarning chegaraviy qiymatlari me'yorlanmaydi.

6.2.Chastotaning elektr qurilmalar ishlashiga ta'siri.

O'zgaruvchan tok chastotasining o'zgarishlari elektr iste'molchilarning ish rejimlariga ta'sir qiladi. Elektr tarmoqlardagi elektr energiyasining asosiy iste'molchilari o'zgaruvchan tok dvigatellari bo'ladi. O'zgaruvchan tokning chastotasini o'zgarishlarida o'zgaruvchan tok elektr dvigatellarining ishlashini og'irlashtiradi, aylanish tezligi, iste'mol qilinayotgan aktiv va reaktiv quvvat o'zgaradi. Lekin tok chastotasining o'zgarishlari issiqlik va yoritish vositalari

faoliyatiga kam ta'sir ko'rsatadi. O'zgaruvchan tok chastotasining o'zgarishlarining o'zgaruvchan tok elektr dvigatellarining qarshilik momentiga ta'siri turlicha bo'ladi.

O'zgaruvchan tok chastotasining o'zgarishlari elektr stantsiya qurilmalari uchun eng katta xavf tug'diradi. Ishchi mashina va mexanizmlarning ish unumi kamayadi, masalan elektrostantsiyadagi xususiy iste'mol uchun ishlayotgan ta'minlovchi nasoslarga bug' qozoni tomonidan berilayotgan suv yoki parning bosimini engib o'tish qiyinlashadi. Bundan tashqari chastotaning nominal qiymatidan og'ishi stantsiyaning alohida agregatlari orasida yuklamaning samarali taqsimlanishini buzadi, chunki yuzaga kelayotgan quvvatlar ortishi har doim ham optimal bo'lavermaydi. Energosistema uchun aktiv R va reaktiv Q quvvatlarning chastotaga bog'liqlik grafigi 6.5-rasmda keltirilgan. Bu bog'lanishlar yuklamaning chastota bo'yicha o'zgaruvchi statik xarakteristikasi deyiladi.

Energosistemada chastota yetishmovchiligi tufayli, generatsiya bo'layotgan aktiv quvvatning kamayishida elektr iste'molchilar yuklamasini kamaytirib chastotani avvalgi darajasida saqlashga intiladi. Chastotaning o'zgarishlarida yuklamaning o'zgarish darajasi miqdor jihatidan dP / df hosila bilan baholanadi va yuklamani rostlovchi effekti deb ataladi. Elektr stantsiyalar, tarmoqlar va elektr iste'molchilarning avariyasiz, va samarali rejimlarda ishlab turishi uchun chastota sifatiga qattiq talablar qo'yiladi va chastotaning og'ishi, elektr vaqtini og'ishi va chastotaning tebranishi kabi ko'rsatkichlar bilan baholanadi. Chastotaning og'ishi deganda uning sekin o'zgarishlarida chastotaning nominal va haqiqiy qiymatlari orasidagi algebraik farq tushuniladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta f = f - f_N, \text{ yoki } \Delta f_{\%} = \frac{f - f_N}{f_N} 100$$

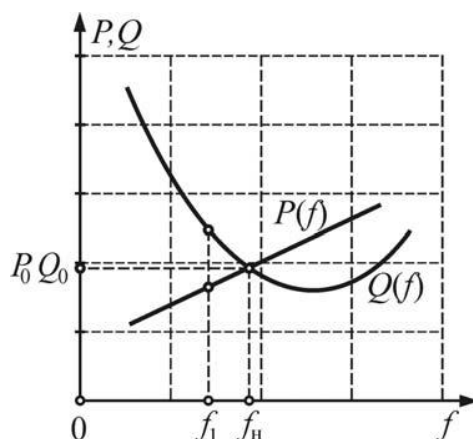
Elektr energiyasi sifatiga qo'yilgan talablarning amaldagi me'yorlariga ko'ra energosistemaning normal ish rejimlarida chastotaning og'ishi uchun $\pm 0,2 \%$ ($\pm 0,1$ Gts) kattalik belgilangan. Uzoq muddatli chastotaning og'ishlarini baholash uchun elektr vaqtini og'ishi qo'llaniladi. Elektr vaqtini og'ishi deganda nisbiy chastotaning vaqt bo'yicha integrali tushuniladi:

$$t_e = \int_0^{t_a} \frac{f}{f_{nom}} dt_a$$

bu yerda: t_a – astronomik soat bo'yicha hisoblangan vaqt.

Elektr vaqtning astronomik vaqt dan og'ishi deb mos ravishda nisbiy chastotaning vaqt bo'yicha integrali tushuniladi va quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta t_e = t_e - t_a = \int_0^{t_a} \frac{\Delta f}{\Delta f_{nom}} dt_a \Delta \quad (6.9)$$



6.5-rasm. Aktiv va reaktiv quvvatning chastotaga bog'liqlik grafigi.

Elektr vaqt aylanma harakati kinematik sistema vositasida soat strelkasiga ulangan sinxron elektrodvigatel ko'rinishida bo'lgan elektr soat bo'yicha hisobga olinadi. Agar tarmoqda nominal chastota bo'lsa bu soat vaqti astronomik soat vaqti bilan bir xil bo'ladi. Elektr va astronomik soatlarni ko'rsatishini yetarli darajada katta vaqt ichida solishtirib, chastotaning og'ishini aniqlash mumkin bo'ladi. Energosistemada yana chastotaning qisqa muddatli tezkor o'zgarishlari ham kuzatiladi, bu kattalik chastotaning tebranishi deyiladi. Chastotaning tebranishi kattaligi tarmoqdagi ruxsat etilgan chastota og'ishidan 0,2 Gts gacha oshishi ruxsat etiladi. Har qanday vaqt ichida energosistemada aktiv quvvatlar balansi saqlanib qoladi, u quyidagicha aniqlanadi:

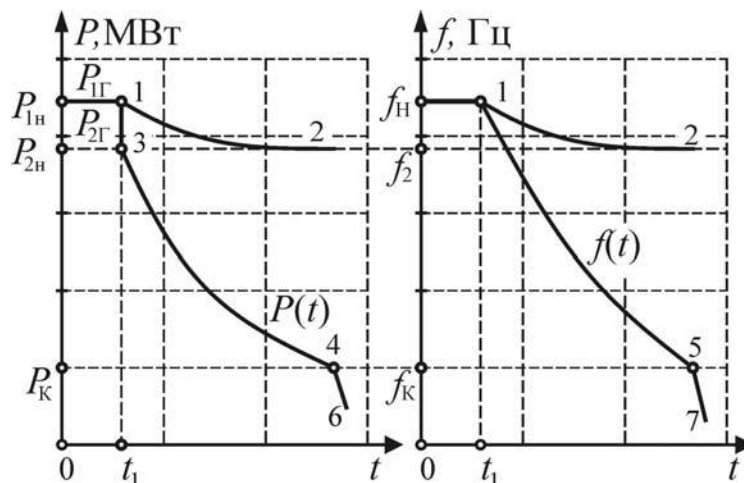
$$\Sigma P_g = \Sigma P_{ist} - \Sigma \Delta P, \quad (6.10)$$

bu yerda: ΣP_g – elektr stantsiya generatorlarining jami quvvati;

ΣP_{ist} – elektrostantsiya xususiy iste'molini qo'shib hisoblangan energosistemadagi iste'molchilarning jami quvvati;

$\Sigma \Delta P$ – elektr tarmoqlardagi jami elektr energiyasi isroflari.

Har qanday chastotada elektrostantsiyalar tomonidan generatsiya bo'layotgan quvvat bilan elektr tarmoqda iste'mol qilinayotgan quvvatlar balansi saqlanadi. Agar tarmoqda nominal chastota bo'lsa, energosistemada generatsiya bo'layotgan quvvat kattaligi iste'molchilar olayotgan quvvatga yetarli bo'ladi. Agar chastota kam bo'lsa, energosistemada generatsiya bo'layotgan quvvat kattaligi etishmayotganligini, agar chastota katta bo'lsa, energosistemada ortiqcha quvvat ishlab chiqarilayotganligini ko'rsatadi. Aktiv quvvat balansining keskin o'zgarishlarida chastotaning o'zgarish xarakterini ko'rib chiqamiz. Energosistemalar uchun chastotaning kamayish holatini o'rganish muximroq bo'ladi. Chastotaning keskin pasayish holati generatsiya quvvatining quqqisidan yo'qolishida va rezerv liniya bo'lmagan holda yoki to'liq yuklangan sistemaviy liniyaning o'chirilishida va liniyani, sistemani nosinxron qismga ajratilganida yuzaga keladi. Dastlabki holatda nominal chastotali sistemada barcha generatorlar quvvatiga P_{1G} teng bo'lgan iste'molchilarning yuklama quvvati R_{1n} bo'lsin (6.6-rasm). Bunda barcha generatorlar to'liq yuklangan va sistemada aktiv quvvat rezervi yo'q deb hisoblaymiz. Endi ma'lum bir t_1 (1-nuqta) vaqtda generatsiya bo'layotgan ($R_{1G} - R_{2G}$) ga teng bo'lgan aktiv quvvat tanqisligi yuzaga keldi deb qabul qilamiz (3-nuqta). Bunda quvvatlar balansi buziladi, va iste'molchilarning yuklamasi chastotaviy statik xarakteristika bo'yicha balansni pastroq chastotada tiklashga intiladi.



6.6-rasm. Aktiv quvvat rezervi bo'lmagan holda sistema parametrlarining o'zgarishi:

a – quvvatning o'zgarishi; b – chastotaning o'zgarishi.

Agar stantsiyaning quvvati chastotaga bog'liq bo'lmasa, jarayoni 1-2 chiziq bo'yicha kyetgan bo'lar edi, iste'molchilarning yuklama quvvati $R_{2n} = R_{2G}$ bo'lganida boshqa, pastroq f_2 chastotada balans tiklanar edi. Lekin chastotaning kamayishi, generatsiya quvvati rezervi bo'lmagan vaziyatda, butun issiqlik elektr stantsiyalar quvvatining pasayishiga olib kelar edi (3-4 egri chiziq). Shu sababli generatsiya bo'layotgan quvvat bilan iste'mol qilinayotgan quvvat orasidagi farq ortadi, bu esa chastotaning yana kamayib kyetishiga olib keladi (1-5 egri chiziq).

Chastota kattaligi kritik nuqtaga f_K yetganida issiqlik elektr stantsiyalar quvvatining pasayishi 0 gacha boradi va chastota keskin pasayib ketadi (4–6 va 5–7 egri chiziqlar). Chastotaning pasayish quyuni (lavina) yuzaga keladi. Bunday sistemada ishlab turgan dvigatellar va generatorlar, keskin tormozlanadi. Dvigatellar oshirilgan reaktiv quvvat iste'mol qila boshlaydi, generatorlar esa tezligi kamayganligi va EYUK kamayganligi uchun quvvat yetkazib bera olmay qoladi. Elektr tarmoqda kuchlanish keskin pasayib boradi. Sistema rejimi ishdan chiqadi.

Tekshirish uchun savollar

1. Elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlarini sanang?
2. Chastota sifati qanday baholanadi?

3. Kuchlanish sifati qanday ko'rsatkichlar bilan?
4. Kuchlanishning og'ishi nima?
5. Kuchlanishning og'ishi elektr iste'molchilar ishiga qanday ta'sir ko'rsatadi?
6. Kuchlanishning og'ishining chegaraviy ruxsat etilgan qiymatlari qanday (35 – 500 kV)?
7. Kuchlanishning nosinusoidalligi nima va u qanday yuzaga keladi?
9. Kuchlanishning nosimmetriyasi nima va u qanday yuzagakeladi?
11. Chastotaviy xarakteristika qiyaligi nima va chastota qanday rostlanadi?
16. Energosistemada chastota pasayishi qanday oqibatlarga olib keladi?
17. Quvvatlar balansi bilan chastotani rostlash qanday bog'langan?
20. Energosistemada quvvatlar zaxirasi nima va u nima uchun kerak?
21. Chastotani birlamchi rostlash jarayoni nima?
22. Chastotani ikkilamchi rostlash jarayonining mazmuni nima?
23. Chastotani rostlash jarayonida qanday texnik vositalar qo'llaniladi?
24. Chastotaning pasayish quyuni (lavina) qanday yuzaga keladi?
25. Chastotaning pasayish quyuni qanday oqibatlarga olib keladi?
26. Elektrostantsiya tok chastotasi kattaligi qanday omillarga bog'liq bo'ladi?

7-bob. ELEKTR TARMOQLARNING HISOBI.

7.1.Elektr tarmoqlarini hisoblashning umumiy masalalari

Elektr tarmoqlarini hisoblashda ularning elementlarini va yuklamalarning ko'rsatkichlarini hisobga olish zarur. Aktiv va reaktiv quvvat manbalari, barcha elektr stantsiyalar, balanslovchilaridan tashqari belgilangan grafigi bo'yicha ishlaydi deb hisoblanadi, ularning quvvatlari manfiy yuklama deb qabul qilinadi. Balanslovchi elektrostantsiyalar erkin grafik bo'yicha ishlab turadi va tarmoqda qo'shimcha yuklamalar va quvvat isroflari hosil qilishi mumkin. Reaktiv quvvat manbai bo'lib generatorlar, kompensatorlar, kondensator batareyalari, sinxron dvigatellar, yana yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlari xizmat qilishi mumkin.

Elektr energiya iste'molchilari almashinish (hisobiy) sxemalarda to'liq quvvat ko'rinishida ifodalanadi. $S = \sqrt{3}UI$ yil davomida, mavsumlari bo'yicha, yuklama maksimumiga to'g'ri kelgan, iste'mol grafigi xarakteriga ko'ra (sanoat turi, qishloq va suv xo'jaligi, transport, maishiy iste'molchilar va boshqalar) iste'mol qilinayotgan yuklama quvvatlarining o'zgarishlarida energosistema tarmoqlarida

quvvat oqimlari o'zgaradi. Bunda tarmoqlarda mos ravishda kuchlanish ham o'zgaradi, natijada iste'molchilarga ketayotgan quvvatlar ham ortadi yoki kamayadi. Elektr tarmoqlarda chastota pasayganida mashina va mexanizmlarning ish unumi kamayadi, aktiv yuklama pasayadi. Bu holat iste'molchilarning aktiv quvvati elektrostansiya generatorlarining aktiv quvvatidan katta bo'lganida yuzaga keladi. Bunda chastotaning o'zgarishi (pasayishi) butun energosistema bo'yicha birdaniga bir xil yuz beradi.

Natijada elektrosistemada yangi muvozanat (balans) yuzaga keladi. Ishlab chiqarilayotgan aktiv quvvat bilan iste'mol qilinayotgan aktiv quvvat tenglashadi, lekin chastota va yuklama miqdori boshqa bo'ladi. Bunda yuklama toklari ortadi, kuchlanish esa pasayadi.

Iste'molchilarning statik xarakteristikalar tarmoqda kuchlanish va chastota o'zgarishlarida iste'mol qilinayotgan yuklama quvvatining o'zgarishini ko'rsatadi. Turli iste'molchilar uchun statik xarakteristikalar turlicha bo'lib ularning barchasini hisobga olish qiyin bo'ladi. Shuning uchun hisoblarda umumlashtirilgan statik xarakteristikadan foydalaniladi. Umumlashtirilgan statik xarakteristikalar iste'molchilarning hususiyatlarini ularning nisbiy quvvati va jami yuklamasi orqali hisobga oladi. Kuch va yoritish iste'molchilar aralash bo'lganida kuchlanish bo'yicha statik xarakteristikalar ko'proq kuch iste'molchilarga bog'liq bo'ladi. Statik xarakteristikalar nisbiy kattaliklarda quriladi. Aktiv va reaktiv quvvatlar birligi sifatida ulardagi nominal kuchlanishlar qabul qilinadi. O'tish jarayonlarida kattaliklar vaqt bo'yicha o'zgaradi va buni ifodalovchi xarakteristikalar dinamik xarakteristikalar deyiladi. O'tish jarayonlari qisqa vaqt ichida tugaydi va barqaror rejim yuzaga keladi.

7.2. Elektr tarmoqlarning almashinish sxemalarida elektr yuklamalarni ko'rsatish

Elektr tarmoqlarning almashinish sxemalarida elektr tarmoqlarning elektr yuklamalarini ko'rsatish usullari tarmoq xiliga va hisoblash maqsadlariga bog'liq

bo'ladi. Elektr tarmoqlarning ko'rsatilgan vaqtdagi turg'un rejimlarini hisoblashda elektr yuklamalarning asosiy xarakteristikasi, yuklamaning xususiyatlarini eng aniq hisobga oluvchi yuklamaning kuchlanish bo'yicha statik xarakteristikasi bo'ladi. Yuklamani bunday ifodalash, uning zanjimlarida kuchlanishning o'zgarishlarida quvvat o'zgarishlarini hisobga olish bajarilmay qolib, noto'g'ri natijalar olinayotgan holatlarda zarur bo'ladi. Bunday vaziyat, ayniqsa kuchlanishning nominal qiymatidan sezilarli darajada og'ishlari kuzatilayotgan elektr tarmoqlar rejimlarining hisoblarida, masalan yuklama ostida rostlash vositasi bo'lmagan transformatorli va boshqa kuchlanishni stabillashtirish vositalari bo'lmagan elektr tarmoqda og'ir, avariya dan keyingi (remontli) rejimlarni hisoblashda yuzaga keladi. EHMda amalga oshiriladigan elektr tarmoqlar rejimlarini hisoblash algoritmlarida yuklamaning statik xarakteristikasini (YuSX) hisobga olish ko'zda tutilgan. Lekin ko'pchilik ekspluatatsion va loyihalash hisoblarida bunday aniq usullar zarur emas, rejimlarni qo'lda hisoblashlar esa katta mehnat xajmini talab qiladi. Shu sababli yuklama xususiyatlari engilroq ifodalanishlar bilan chegaralanadi. Elektr yuklamalarni hisobga olishda quyidagi usullar ko'proq qo'llaniladi: modul va fazasi bo'yicha o'zgarishsiz tok; o'zgarishsiz aktiv i reaktiv quvvat; o'zgarishsiz o'tkazuvchanlik va o'zgarishsiz qarshilik;

Yuklamani modul va fazasi bo'yicha o'zgarishsiz tok orqali berish (modellashtirish) 7.1, b –rasmda ko'rsatilgan. Umumiy holda tarmoqdagi tok qo'yilgan kuchlanish U va yuklama quvvati S ning o'rnatilgan kattaliklari bo'yicha aniqlanadi:

$$I = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{S}{U_f^*} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{S^*}{U^*} \text{ const} \quad (7.1)$$

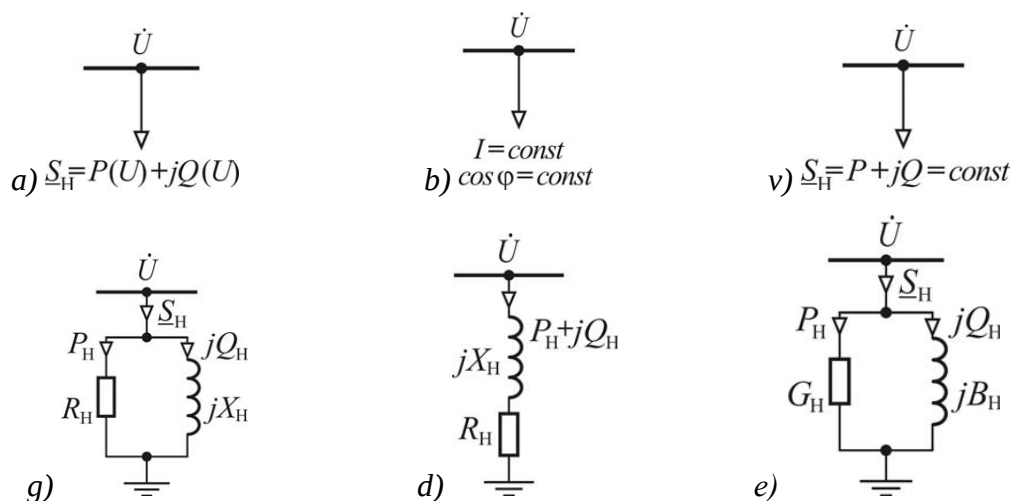
bu yerda:

S^* , U_f^* , U^* -quvvat, faza va liniya kuchlanishlarning keltirilgan komplekslari.

$I = \text{const}$ bo'lganida yuklama ulanadigan nuqtadagi kuchlanishning o'zgarishi yuklama quvvatini o'zgarishini aniqlaydi, chunki:

$$S = 3U_f I_f^* = \sqrt{3} U I^* \quad (7.2)$$

Shunday qilib, yuklamaning ulanish nuqtasida kuchlanishning kamayishida uning quvvatini kamayishini va kuchlanishning ortishida uning quvvatini ortishini aniqlovchi yuklamaning haqiqiy statik xarakteristikasi bilan ma'lum darajada mos kelishi erishiladi, va proporsional bog'lanish bilan xarakterlanadi.



7.1-rasm. Elektr yuklamalarni modellashtirish usullari:

a – statik xarakteristikalar bilan; b – o'zgarishsiz tok bilan; v – o'zgarishsiz quvvat bilan; g – parallel ulangan qarshiligi bilan; d – ketma-ket ulangan qarshiligi bilan; e – o'tkazuvchanlilar (shuntlar) bilan ifodalash.

Lekin elektr tarmoq rejimini hisobigacha uzellardagi kompleks kuchlanishlar no'malum bo'ladi, - ular izlanayotgan kattalik bo'lib, yuklamani belgilash uchun aniq ifodalardan (7.1-rasm) foydalanish imkoniyati bo'lmaydi. Eksploatatsiya sharoitida $U_{(0)}$ kuchlanishni o'lchov natijalaridan foydalanish yoki kuchlanishning nominal qiymati U_n qabul qilinishi mumkin. Bu holatda tokli yuklamalar quyidagicha bo'ladi:

$$I^* \approx \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{P-jQ}{U^{(0)}} \approx \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{P-jQ}{U_{nom}} = I_a - jI_p = const \quad (7.3)$$

Dastlabki kuchlanishlar $U_{(0)}$ yoki U_n bo'yicha hisoblangan kattaliklar tok moduli bilan beriladi:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} \quad (7.4)$$

Tokning fazasi $\varphi = \arctg(I_r/I_a)$ bo'ladi, (7.5)

O'rtacha belgilangan yuklamaning aktiv va reaktiv quvvat koeffitsientlari amalda quyidagicha ko'rsatiladi:

$$\cos \varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}, \quad \text{yoki} \quad \tg \varphi = \frac{W_p}{W_a} \quad (7.6)$$

W_a va W_p aktiv va reaktiv quvvatlar kattaligi aktiv va reaktiv quvvat schetchiklari yordamida aniqlanadi, masalan xarakterli sutka rejimlari uchun. Ko'rib chiqilgan modelni (7.4), (7.6) real yuklamada, (7.1) aniq ifoda bilan aniqlanadi:

$$I^* = \frac{S e^{-j\varphi}}{\sqrt{3} U \cdot e^{-j\delta}} = I e^{j(\delta-\varphi)} = I [\cos(\delta-\varphi) + j \sin(\delta-\varphi)] = I_a - jI_p = const \quad (7.7)$$

Kuchlanish o'zgarishlari kichik bo'lgan elektr tarmoq uchun tok kattaligi uning fazasi δ kamayishi bilan ortadi. Tok fazasi o'z navbatida elektr tarmoqning nominal kuchlanishi va uning yuklamasi ortishi bilan ortadi. Kuchlanishi $U_n \leq 35$ kV bo'lgan nisbatan past kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmoqlarda kuchlanish kattaligi moduli bo'yicha nisbatan kichik oraliqda joylashgan bo'lib, amalda faza bo'yicha ustma-ust tushadi (kuchlanishlar vektorlarining faza jihatidan siljishi 1–2 gradusdan oshmaydi). Shu sababli yuklamaning bunday ifodalanishi ($I = const$, $\cos \varphi = const$) barcha past kuchlanishli elektr tarmoq hisobida qabul qilinadi. Odatda, $U_n \leq 35$ kV bo'lgan o'rta kuchlanishli taqsimlovchi tarmoqlarning rejimlarini hisoblashda yuklamasi ham beriladi. Kuchlanishlarining kattaligi va fazasi bo'yicha o'rnatilgan qiymatlaridan katta oraliqlarda og'ishlari xos bo'lgan, kuchlanishi $U_n \geq 110$ kV bo'lgan ta'minlovchi tarmoqlarning hisobida elektr yuklamalarni o'zgarishsiz tok ko'rinishida taqdim qilish hisoblarda katta xatoliklarga olib kelishi mumkin va ruxsat etilgan deb hisoblab bo'lmaydi.

Yuklamani o'zgarishsiz quvvat ko'rinishida berish (7.1, v-rasm). Ta'minlovchi va taqsimlovchi elektr tarmoqlardagi turg'un rejimlarni hisobida yuklama odatda o'zgarishsiz (doimiy) aktiv va reaktiv quvvat $P_H = \text{const}$, $Q_H = \text{const}$ ko'rinishda beriladi, ya'ni:

$$S = 3U_f I_f^* = \sqrt{3} U I^* = S e^{j \arctg(Q/P)} = S e^{j\varphi} = S(\cos\varphi + j \sin\varphi) = P + jQ = \text{const}, \quad (7.8)$$

bu esa, elektr tarmoqlarning va elektr ta'minot tizimlarining ko'p yillik ekspluatatsiya tajribasi bilan tasdiqlanadi. Yuklamani $S = \text{const}$ ko'rinishida berishning asosiy omili shundaki, iqtisodiy hisoblar iste'mol qilingan elektr energiyasi uchun amalga oshiriladi. Shunga o'xshash shartlar va $S_n = \text{const}$ yuklama modeli, iste'molchilarda kuchlanishning nominal qiymatidan og'ishlari kichik bo'lishi talab qilinadigan elektr tarmoqlarning loyiha hisoblarida qabul qilinadi. Agar iste'molchilarda kuchlanish kattaligi o'zgarishsiz ushlab turish talabi bajarilmyotgan bo'lsa, elektr tarmoq yuklamasi quvvatni o'zgarishsiz deb qabul qilish cheklashlari yuklamani $P_H(U)$, $Q_H(U)$ statik xarakteristikalarini bilan hisobga olishga (ko'rsatishga) nisbatan elektr tarmoqlarni turg'un rejimlarini hisobida, ko'proq xatoliklarga olib keladi. Bu xatoliklar elektr tarmoq yuklanishiga bog'liq bo'ladi, agar elektr tarmoq o'rta yuklangan bo'lsa, xatoliklar kam bo'ladi, og'ir yuklangan rejimlarda ishlab turgan va kuchlanishi nominal qiymatidan sezilarli farq qilgan elektr tarmoqlarda xatoliklar ortib, ruxsat etilgan chegaralardan chiqib ketadi va elektr tarmoq yuklamasini quvvatni o'zgarishsiz deb qabul qilib modellashtirishga yo'l qo'yib bo'lmaydi.

Elektr tarmoq yuklamasini o'zgarishsiz qarshiliklar (o'tkazuvchanliklar) yordamida modellashtirish. Elektr tarmoq yuklamalari chiqishlaridagi kuchlanishning sezilarli o'zgarishlari xos bo'lgan tarmoq rejimlarini hisobida yuklamani parallel yoki ketma ket ulangan o'zgarishsiz aktiv va reaktiv qarshiliklar yoki ularga mos o'tkazuvchanliklar yordamida ifodalash qulay bo'ladi (7.1, g-e-rasm). Yuklamani yuklama ulangan uzellarga parallel yoki ketma ket ulangan o'zgarishsiz aktiv va reaktiv qarshiliklar (o'tkazuvchanliklar)

yordamida ko'rsatish umuman olganda ularning parabola ko'rinishdagi (kvadrat bog'lanishli) statik xarakteristikalariga mos keladi. Bu qarshiliklarning kattaliklari shunday olinadiki, ulardan foydalanib normal rejim kuchlanishida quvvat kattaligi hisoblanganida, berilgan yuklama quvvati kelib chiqsin. U holda agar qarshiliklar parallel ulangan bo'lsa, (7.1, *g*-rasm) quyidagiga ega bo'lamiz:

$$I_a = \frac{U_f}{R_n} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U}{R_n}; \quad I_r = \frac{U_f}{X_n} = \frac{U}{\sqrt{3} X_n} \quad (7.9)$$

bulardan qarshiliklarni aniqlaymiz:

$$R_n = \frac{U}{\sqrt{3} I_a} = \frac{U^2}{R_n}; \quad X_n = \frac{U}{\sqrt{3} I_r} = \frac{U^2}{Q_p}; \quad (7.10)$$

agar qarshiliklar ketma ket ulangan bo'lsa, (7.1, *d*-rasm) yozishimiz mumkin:

$$Z_n = r_n + jx_n = \frac{U}{\sqrt{3} I} = \frac{U^2}{S_n^*} = \frac{U^2}{S_n^2} (P_n + jQ_n) \quad (7.11)$$

Bundan kelib chiqib qarshiliklarni aniqlaymiz:

$$r_n = \frac{U^2}{S_n} \cos \varphi; \quad x_n = \frac{U^2}{S_n} \sin \varphi. \quad (7.12)$$

Olingan qarshiliklar uchun quyidagi munosabatlar to'g'ri bo'ladi:

$$R_n > r_n; \quad X_n > x_n, \quad (7.13)$$

Tabiiyki yana yozishimiz mumkin:

$$Z_H = r_n + jx_n = \frac{R_n \cdot X_n}{R_n + jX_n} \quad (7.14)$$

U holda modellashtirilgan quvvat o'tkazuvchanlik (shunt) quyidagi ko'rinishda aniqlanadi (7.1, *e*-rasm):

$$Y_n = \frac{1}{Z_n} = \frac{r_n}{r_n^2 + x_n^2} - j \frac{x_n}{r_n^2 + x_n^2} = \frac{1}{R_n} - j \frac{1}{X_n} = G_n - jB_n \quad (7.15)$$

Elektr tarmoq yuklamalarini kvadrat bog'lanishga ega bo'lgan o'zgarishsiz o'tkazuvchanlik yoki qarshiliklar orqali ko'rsatish ifodalari quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$R_n = \frac{U^2}{G_n} = G_n U^2; \quad Q_n = \frac{U^2}{B_n} = B_n U^2, \quad (7.16)$$

Elektr tarmoq yuklamalarini o'zgarishsiz o'tkazuvchanlik yoki qarshiliklar orqali ko'rsatish natijalarning yuqori aniqlikligini ta'minlay olmaydi, chunki modeldagi o'tkazuvchanlik va qarshiliklar elektr tarmoqdagi kuchlanish kattaligiga bog'liq bo'lib o'zgarishsiz deb hisoblanishi noto'g'ri bo'ladi. Shunday bo'lsada, elektr tarmoqdagi yuklamani bunday hisobga olish usuli qo'yilgan kuchlanishga bog'liq bo'lmagan, quvvatlarni o'zgarishsiz deb qabul qilish usuliga ko'ra kamroq xatoliklarga yo'l qo'yadi va natijalar aniqroq bo'ladi.

7.3. Elektr tarmoqning turg'un rejimlarini tahlili va hisoblash masalalari.

Elektr energiyasi elektrostantsiyadan iste'molchilarga elektr tarmoqlar vositasida uzatiladi. Elektroenergetik sistemalar nazariyasi va amaliyotida "elektr tarmoqlar" termini (elektricheskaya set'), bir tomondan, elektr uzatish tarmoqlari va podstantsiyalarni o'z ichiga olgan, elektr energiyasi manbalarini iste'molchilar bilan o'zaro bog'lab turadigan, elektr energiyasini uzatish va taqsimlash uchun mo'ljallangan elektroenergetik sistemalarning nimsistemasi degan tushunchaga mos keladi. Boshqa tomondan, bu berilgan nimsistemaga mos bo'lgan elektr tarmoqdir. Tabiiyki, bunday elektr tarmoq, elektr energiyasi manbalari va iste'molchilarni, tarkibiy qismlar sifatida, albatta o'z ichiga olgan, va yaxlit mazmundagi elektroenergetik sistemasining bir qismi sifatida (uchastkasi sifatida) ko'rishimiz mumkin bo'ladi. Uzatilayotgan quvvatining kattaligiga va elektr iste'molchilar turiga, iste'molchilarning elektrostantsiyalardan olisligiga qarab, elektr energiyasi, turli nominal kuchlanishli va konfiguratsiyali elektr tarmoqlar orqali masofaga uzatiladi va elektr iste'molchilarga taqsimlanadi. Bunday baholash, belgilangan quvvatni uzatishda, yangi quvvatlarning ulanishida va ishlab turgan elementlarining (EUL, transformatorlar, yuklamalar va boshqalar)

o'chirilishida, tahlil qilinayotgan rejimning mumkinligini o'rnatish imkonini beradi. Bundan tashqari, bunday baholashda bajariladigan hisoblar elektr energiyasining talab darajasidagi sifatini ta'minlash uchun choralar ko'rish va elektr energiyasini ishlab chiqarish, taqsimlash va masofaga uzatish parametrlarini optimallashtirish uchun sharoitlarni aniqlash imkonini beradi. Rejali va avariya viy yuklama o'zgarishlari, elektr tarmoqning elektr sxemasi tarkibi va konfiguratsiyasidagi o'zgarishlar elektr tarmoqning ish rejimlarini o'zgarishiga olib keladi.

Elektr tarmoqning barqaror, ishchi parametrlarini aniqlash (elektr muvozanat holatini, tok va quvvatlar oqimi taqsimotini, kuchlanish va quvvat isroflarini) elektr tarmoq rejimlarini hisoblash masalasini, yoki ba'zida aytiladiganidek, tarmoqning elektr hisobini tashkil qiladi. Elektr tarmoqning barqaror turg'un rejimlari parametrlarini hisoblash va tahlil qilish elektroenergetik sistemalarining loyihalarini ekspluatatsiya ishonchliligi va iqtisodiy omillarni hisobga olib ishlab chiqishda asosiy masala bo'lib hisoblanadi.

Umuman olganda elektr tarmoqlarning ishchi rejimlari nosimmetrik va nosinusoidal bo'ladi. Simmetrik va sinusoidal rejimlarni esa xususiy holatlar sifatida ko'rilishi lozim. Lekin tok va kuchlanishlarning egri chiziqlarining nosimmetrikligi va nosinusoidalligi nisbatan kichik (sezilarsiz) bo'lsa, bunday vaziyat ko'pincha uchrab turadi, bunday holda rejim xuddi simmetrik va sinusoidalday qabul qilinadi, bunda hisoblar ancha engillashadi. Elektr tarmoqlar rejimini hisoblash umumiy holda ancha murakkab masala bo'lib qoladi. Bu ham zamonaviy elektr tarmoqlarni tashkil qiluvchi elementlarining ko'psonliligi bilan bog'langan, ham dastlabki ma'lumotlarni berilishining o'ziga xos xususiyatlari bilan bog'langan.

Elektr tarmoqlarning ish rejimlarini hisoblash uchun dastlabki ma'lumotlar sifatid quyidagilar olinishi mumkin: elektr ulanishlar sxemasi va elektroenergetik sistemalar tarmoqlarining parametrlari, elektr energiyasi manbalari (elektrostantsiyalar) va iste'molchilar (yuklamalar) haqida ma'lumotlar. Real elektr tarmoqning yuklamalari, ularni loyihalashda va ekspluatatsiyasida, odatda ularning

iste'mol qilayotgan aktiv va reaktiv ($R_i + jQ_i = S_i$) quvvatlari yoki toklari ($I_i, \cos\varphi$) orqali beriladi. Ular amalda o'zgarishsiz yoki yuklama ulanish nuqtalaridagi kuchlanishga bog'liq ravishda o'zgaradigan deb beriladi, ya'ni:

$$I_i = f(U_i), S_i = f(U_i).$$

Manbaning dastlabki ma'lumotlari sifatida odatda generatorlar tomonidan elektr tarmoqga berilayotgan aktiv quvvat ($P_i = \text{const}$) va ulanish joylaridagi kuchlanish moduli ($U_i = \text{const}$) deb olinadi; ko'pchilik holatlarda manbalar xuddi yuklamalarga o'xshash doimiy aktiv i reaktiv quvvat kattaliklari ($P_i = \text{const}, Q_i = \text{const}$) sifatida ham berilishi mumkin. Undan tashqari manbalardan biri, balanslovchi rol o'ynaydigani, odatda eng yirik, katta quvvatli elektrostansiya, kompleks kuchlanish qiymati bilan berilgan bo'ladi. ($U_b = \text{const}$).

Elektroenergetik sistemalarning elektr tarmog'i, bo'ylama parametrlari - elektr energiyasini uzatish va taqsimlash tarmog'ining ketma ket zanjiri tarkibiga kirgan (EUL va transformatorlar va boshqa elementlarning qarshiliklari), va ko'ndalang parametrlari – sxemadagi shuntlarga to'g'ri keladigan (EUL va transformatorlar va yuklamalarning o'tkazuvchanligi)ni o'z ichiga olgan almashinish sxemasi bilan tasvirlanadi. Elektroenergetik sistemalar rejimlari tahlilida rangli metaldan tayyorlangan o'tkazgich simli elektr tarmoqlarning bo'ylama parametrlari (aktiv va reaktiv qarshiliklar) va ko'ndalang parametrlari (aktiv va reaktiv o'tkazuvchanliklari) elektr rejimlar parametrlariga bog'liq bo'lmagan doimiy kattaliklar deb qabul qilinadi.

Po'lat simli havo liniyalarini ko'rib chiqishda uning parametrlarini yuklama tokiga bog'liq ravishda noxiziqli o'zgaradigan deb qabul qilinishi kerak. Uch fazali elektr tarmoqlarning simmetrik turg'un ish rejimlarida har bir fazasida parametrlari qiymatlarining bir xilligi bilan va tok va kuchlanish egri chiziqlari shaklining sinusoidalligi bilan xarakterlanadi. Bunday sharoitda uch fazali tarmoqning to'la quvvatining kattaligi (uch fazali quvvat) kompleks kattalik ko'rinishda aniqlanadi.

$$S' = 3 S'_f = 3 U'_f I_f^* = P + jQ \quad (7.17)$$

Elektroenergetik sistemalar uzellarining analitik masalalari tarkibiga eng ko'p noxiziqlikni uzellardagi elektr yuklamalar yuzaga keltiradi. Elektroenergetik sistemalarning turg'un rejimlarini hisoblashda uzal yuklamalari (elektr iste'molchilari va manbalari) umumiy holda o'zgarishsiz quvvatlar ko'rinishda yoki shu quvvatlarning izlanayotgan rejim parametrlari (kuchlanish, sinxron mashinalarning rotorini aylanib olish burchagi va hokazo) bilan, statik xarakteristikalarini deb ataladigan bog'liqliklari orqali beriladi. Agar elektr tarmoq uzalidagi yuklamalar talab qilinadigan aktiv va reaktiv kattaliklari orqali hisobga olinsa, har bir faza yuklamasining toki faqat kuchlanish va faza toki hisoblari davomida aniqlangan yuklama uzalidagi kuchlanish (U_i) ma'lum bo'lsagina hisoblanishi mumkin bo'ladi:

$$I_i' = \frac{1}{3} \cdot \frac{S_i^*}{U_{if}^*} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{S_i^*}{U_i^*} \quad (7.18)$$

Bu holat bir xil yechim olish uchun Kirxgoff qonunlarini bevosita qo'llanilishiga to'sqinlik qiladi. Shu bilan elektroenergetik sistemalar rejimlarining tahlil usullari, elektr tarmoqlar manbaa va iste'molchilarni mos qarshiliklar orqali EYuK manbai va tok manbai ko'rinishida qabul qilinadigan elektr tarmoqlarning klassik tahlilidan farq qiladi. Elektroenergetik sistemalar tahliliga bunday yondoshish shu bilan tushuntiriladiki (bog'langanki), bu yerda energetik xarakteristikalar asosiy ahamiyat kasb etadi, va ular sistema rejimlari uchun aniqlovchi ko'rsatkichlar bo'lib qoladilar. Shu bilan birga, bu rejimlarning tahlilini, tabiiyki, tok va kuchlanishlar orqali mos quvvatlarni hisoblab chiqish bilan, elektr tarmoq nazariyasining algoritmlari asosida, bevosita, amalga oshirish mumkin.

Turg'un rejim parametrlarining hisobi odatda EXMlari yordamida avtomat ravishda shakllantirilgan usullar vositasida bajariladi. Matematika nuqtai nazaridan masala tok va kuchlanish bilan quvvatning bog'liqligining noxiziqlikligi uchun noxiziqli tenglamalar sistemasini yechishga keltiriladi. Ko'pincha elektroenergetik sistemasining turg'un rejimi, toklar balansi shaklida ko'rsatilgan, tugun kuchlanishlar tenglamalari bilan ifodalanadi:

$$Y_{ij} U_i - \sum_j Y_{ij} U_j = \frac{S_i^*}{U_i^*} + X_{ib} U_b \quad i = 1 \dots n \quad (7.19)$$

Yoki quvvatlar balansi shaklida:

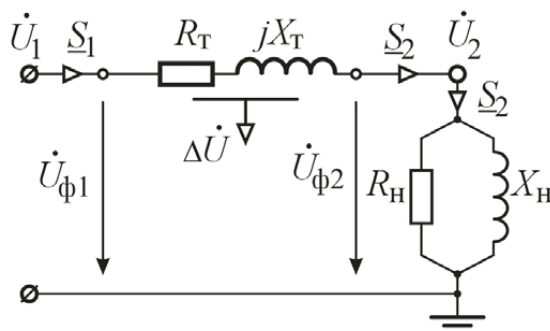
$$Y_{ij} U^2 - U_i^* \sum_j Y_{ij} U_j = S_i^* + U_i^* Y_{ib} U_b \quad i = 1 \dots n \quad (7.20)$$

Bunday tenglamalarni yechish uchun xilma xil usullar klassi ishlab chiqilgan. Elektroenergetik sistemalarni loyihalashtirish va ekspluatatsiyasi jarayonlarida turg'un (barqaror) rejim parametrlarini injenerlik nazari bilan baholash an'anaviy usullar bilan bajarilishi mumkin, bunda hisoblar qo'lda amalga oshiriladi. Bu usullar asosan elektr zanjirlarning asosiy qonunlaridan (Kirxgoff, Om va Djoul – Lents) to'g'ridan to'g'ri foydalanishga va vektorli aylanmali diagrammalar yordamida rejim parametrlari orasidagi munosabatlarni keng interpretatsiya qilish bilan ularni ekvivalent o'zgartirishlari usullariga asoslanadi. An'anaviy usullarning afzallikli xususiyatlari ularning katta ko'rinimlilikida, elektr rejimlarning ma'nosini tushuntirish uchun oddiyligida bo'lib, hozirgi kunda elektr tarmoqlarning rejimlarini hisobida keng qo'llanilmoqda. Undan tashqari bu usullar muhim o'quv metodik ahamiyatga ega, chunki talabalarga elektr tarmoq rejimlari tahlilining takomillashgan va universal zamonaviy usullarni o'rgatadi. Keyingi bo'limlarda, oddiy elektr tarmoqlar uchun raqamli masalalarda qo'llaniladigan, an'anaviy injenerlik xisoblari usullarida amalga oshiriladigan ayrim nazariy tushunchalar, eng ko'p qo'llaniladigan munosabatlar ko'rib chiqiladi. Hisoblarda elektr uzatish tarmoq elementlari, uchastkalari uchun almashinish sxemalaridan foydalaniladi. Shu yo'l bilan analitik amallarni minimal xatolik bilan bajarish imkoni bo'ladi.

7.4. Elektr tarmoq uchastkasi rejimlarining tahlili.

Simmetrik uchfazali elektr yuklamada toklar va kuchlanishlar. Toklar va kuchlanishlarni vektor tasvirlash.

7.2 –rasmda bir fazasining o'rnini olish sxemasi ko'rsatilgan, $Z = R + jX$ qarshilikli bo'ylama zanjirdan; masalan elektr uzatish tarmoq yoki transformatordan iborat bo'lgan elektr tarmoqlarning bir bo'lagini (zveno) ko'rib chiqamiz.



7.2.-rasm. Elektr tarmoq uchastkasining bir fazasining almashinish sxemasi.

Elektr tarmoqning bu bo'lagi simmetrik uch fazali elektr yuklamani ta'minlab turadi, uchastka oxirida tok kattaligi I yoki uch faza quvvati (uch fazali quvvat) S_2 berilgan, yuklama qarshiliklari R_n, X_n (7.2-rasm, ular shtrix liniyalar bilan ko'rsatilgan). 7.2.-rasmda va keyinchalik ham uchastka boshiga tegishli (sxemaning ta'minlovchi chiqishlari) barcha parametrlar 1 yoki N indeksga ega va uchastka oxiriga tegishli (sxemaning qabul qiluvchi chiqishlari) barcha parametrlar – K yoki 2 indeksi bilan belgilanadi. Bir xil yuklamalar va fazalardagi chulg'amlar qarshiliklarida uchastka simlardagi tok kattaliklari va faza siljishi bo'yicha bir xil bo'ladi:

$$\begin{aligned} i_a &= I_m \sin(\omega t - \varphi_a) = I_m \sin(\omega t - \varphi), \\ i_b &= I_m \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_b) = I_m \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi), \\ i_c &= I_m \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_c) = I_m \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi) \end{aligned} \quad (7.21)$$

uchastka oxirida mos faza kuchlanishlariga nisbatan (soddalashtirish uchun parametrlarning indeksidagi 2 raqam tushirib qoldirilgan):

$$\begin{aligned} u_a &= U_m \sin(\omega t - \delta_a) = U_m \sin(\omega t - \delta), \\ u_b &= U_m \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \delta_b) = U_m \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \delta) \end{aligned} \quad (7.22)$$

$$u_c = U_{mc} \sin(\omega + \frac{2}{3}\pi - \delta_c) = U_m \sin(\omega + \frac{2}{3}\pi - \delta)$$

Keyinchalik aylanuvchi tok va kuchlanish vektorlari moduli amplitudaviy qiymatlari o'rniga ta'sir etuvchi qiymatlari $U = U_m / 2$, $I = I_m / 2$ qabul qilinadi. Sinxron ishlab turgan elektroenergetik sistemaning tok va kuchlanishlarining sinusoidal kattaliklari bir xil chastota $\omega = 2\pi f$ bilan o'zgarib turganligi sababli vektorlarning faza burchaklari bir payt (moment) vaqti bilan beriladi (masalan 7.2 rasmda kuchlanish U uchun faza burchagi δ bo'ladi, tok vektori I uchun faza burchagi φ bo'ladi). Uch fazali elektr tarmoqlarning simmetrik ish rejimlarini hisobida uchastkaning bitta fazasini ko'rib chiqishning o'zi, ya'ni tok va faza kuchlanishlarining bitta faza uchun tahlil qilish yetarli bo'ladi, chunki boshqa fazalardagi tok va kuchlanishlar kattaligi birinchi fazadagidek bo'ladi, faqat faza jihatidan $2/3\pi$ rad. burchakka farq qiladi. Keyinchalik liniya kuchlanishlariga o'tishimiz mumkin. Uchastkaning almashinish sxemasiga murojaat qilamiz. Liniya oxirida kuchlanish vektorini $U_{f2}' = U_{f2} e^{j\delta}$ haqiqiy o'q bilan ustma ust tushiramiz. Bu holda $\delta = 0$ va $U_{f2}' = U_{f2}$ bo'ladi. Yuklama quvvati o'zgarishsiz bo'lganida, $S_2 = P_2 + jQ_2$ liniyaning faza simidagi tok kattaligini aniqlaymiz:

$$I = \frac{S_2^*}{3U_{f2}} = \frac{R_{f2}}{U_{f2}} - j\frac{Q_{f2}}{U_{f2}} = I_a - jI_p = Ie^{-j\varphi} \quad (7.23)$$

Tok vektori faza kuchlanish vektoridan φ burchakka orqada qoladi (aktiv-induktiv yuklama), ya'ni agar U_{2f} , I va φ kattaliklar ma'lum bo'lsa, U_{1f} va U_{2f} vektorlari orasidagi burchak δ . Hisoblar yuklama toki I va quvvati S_2 bo'yicha bajariladi. Zanjirning uchastkasi uchun Om qonunini faza kuchlanishiga nisbatan qo'llab yozishimiz mumkin:

$$U_{f1} = U + jIZ. \quad (7.24)$$

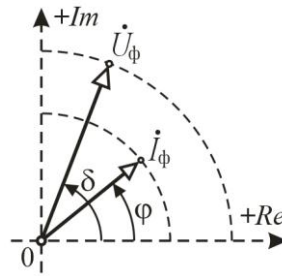
Uchastka boshidagi kuchlanish vektori U_{1f} bilan uchastka oxiridagi kuchlanish vektori orasida (7.2-rasm) kattaligi va fazasi bo'yicha ma'lum bir farq bor. ΔU kattalik faza kuchlanishidan φ burchakka orqada qoladi (aktiv-induktiv

yuklama), ya'ni agar U_{2f} , I va φ ma'lum bo'lsa va U_{1f} kuchlanish kattaligini topish kerak bo'lsa, hisoblarni tok I va yuklama quvvati S_2 bo'yicha bajariladi. Tok vektori kuchlanish vektoridan φ buxakka orqada bo'ladi (aktiv-induktiv yuklama) 1-2 uchastkaning boshi U_{2f} va oxiridagi kuchlanish U_{2f} orasida kattaligi va fazasi bo'yicha ma'lum bir farq bo'ladi (7.3-rasm).

$$\Delta U_f = IZ = U_{f1} - U_{f2} \quad (7.25)$$

(7.25) ifodada aniqlangan kattalik ΔU_f kuchlanishning pasayishi bo'lib, uchastka boshi va oxiridagi faza kuchlanishlarining kompleks ta'sir etuvchi qiymatlarining farqi ko'rinishida aniqlanadi. 7.25 ifodadagi kompleks kattaliklarini haqiqiy va mavhum tashkil etuvchilari bilan almashtiriladi va quyidagi ifodaga ega bo'ladi:

$$\Delta U_f = (I_a - jI_p)(R + jX) = I_a R + I_p X + j(I_a X - I_p R) \quad (7.26)$$



7.3-rasm. Tok va kuchlanishlarning vektor tasviri

ΔU_{f2} vektorni tashkil etuvchilari orqali ifodalaymiz. ΔU_{f2} liniya kuchlanishi pasayishi vektorining bo'ylama tashkil etuvchisi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta U_f' = I_a R + I_p X = I (R \cos \varphi + X \sin \varphi). \quad (7.27)$$

Liniya kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi (U_{f2} vektori yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan) quyidagicha bo'ladi:

$$\delta U_f'' = I_a X - I_p R = I (X \cdot \cos \varphi - R \cdot \sin \varphi). \quad (7.28)$$

Kuchlanish pasayishining tashkil etuvchilarini bilgan holda uchastka boshidagi kuchlanish vektorini aniqlash mumkin bo'ladi:

$$\begin{aligned} U_{f1} &= U_{f2} + \Delta U_f = U_{f2} + \Delta U_f' + j\delta U_f'' = \\ &= U_{f2} + (I_a R + I_p X + j(I_a X - I_p R)) = U_{f1} U_{f1} e^{j\delta}, \end{aligned} \quad (7.29)$$

bu kuchlanish moduli:

$$U_{\delta 1} = \sqrt{(U_{f2} + \Delta U'_{f2})^2 + (\delta U''_{f2})^2} \quad (7.30)$$

va uning fazasi:

$$\delta = \arctg \frac{\delta U''_{f2}}{U_{\delta 2} + \Delta U'_{f2}} \quad (7.31)$$

Elektr tarmoq uchastkasi uchun Om qonunini (9.9 ifoda) quyidagi ko'rinishda qayta yozamiz:

$$I = \frac{U'_n - U'_n}{Z} = \frac{\Delta U'_f}{Z} \quad (7.32)$$

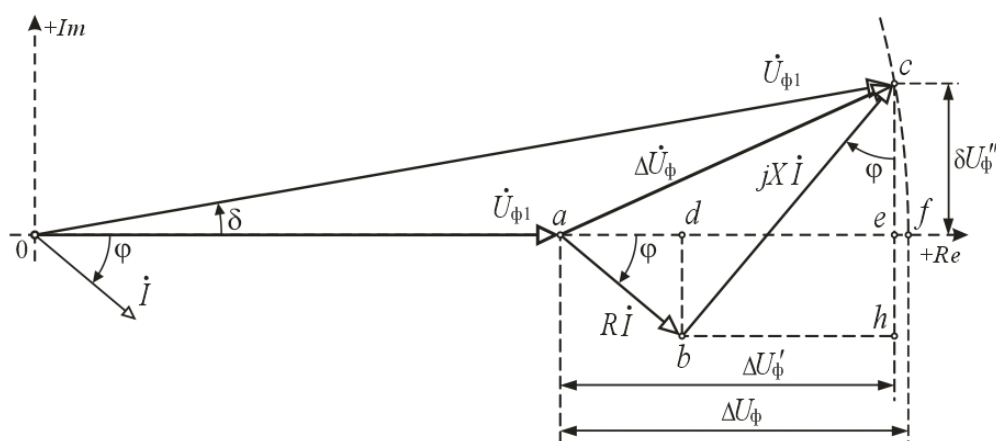
Faza kuchlanish isrofi uchastka boshi va oxiridagi kuchlanishlar modullari farqi ko'rinishda aniqlanadi:

$$\Delta U_f = U_{f1} - U_{f2}, \quad (7.33)$$

Tarmoq uchastkasi rejimlarini xarakterlovchi yuqorida olingan ifodalarni faza kuchlanish va toklarining vektor diagrammasi yordamida geometrik ko'rinishda tasvirlaymiz (7.4-rasm). Vektor diagrammasini qurishni koordinata markazidan boshlaymiz, haqiqiy o'q yo'nalishi bo'ylab kuchlanish U_{2f} vektorni chizamiz, tok vektori I undan φ burchakka orqada qoladi. U_{2f} vektor oxiridan tok vektoriga parallel aktiv qarshilikdagi IR kuchlanishning pasayishi vektorini chizamiz. Induktiv qarshilikdagi kuchlanishning pasayishi jIX vektori tok vektoriga perpendikulyar qo'yiladi. Bu vektorlarning yig'indisi ΔU_f kuchlanishning pasayishi vektorini hosil qiladi. SHunday qilib kuchlanishning pasayishi uchburchagini *abs* hosil qiladi. Koordinata boshini **0** va kuchlanish pasayishi uchburchagining uchi bilan tutashtirib U_{1f} vektorini olamiz. Uchastka boshida (vektor **os**), U_{f1} vektor olamiz. Uchastka boshidagi kuchlanish vektori U_{1f} U_{2f} vektori bilan ΔU vektorlarning geometrik summasi ko'rinishida olinadi. Vektor diagrammadan ko'ramizki, kuchlanish pasayishi vektori ΔU (vektor **as**) – bu uchastka boshidagi va oxiridagi kuchlanishlar U_{f1} va U_{2f} vektorlarining geometrik farqi bo'ladi. Kuchlanish isrofi – bu uchastka oxirlaridagi kuchlanishlarning modullarining algebraik farqi bo'ladi, uning kattaligiga af kesma to'g'ri keladi. (f nuqtasi haqiqiy kattalik o'qi bilan U_{f1} vektori kesishish natijasida olingan.

$$\Delta U_f' = ad + ae = IR \cos \phi + IX \phi \sin \phi, \quad (7.34)$$

$$\delta U_f'' = ch - eh = IX \cos\phi - IR \sin\phi. \quad (7.35)$$



7.4-rasm. ET uchastkasi tok va kuchlanishlarining vektor diagrammasi

Elektr hisoblarni bajarish uchun liniya (fazalararo) kuchlanishi va “uch fazali” quvvat kattaliklaridan foydalanish qulay bo’ladi. Bu kattaliklarga o’tish uchun (9.8) ifodaning ikki tomonini ham 3 ga ko’paytiramiz va quyidagi ko’rinishda yozamiz:

$$\begin{aligned} U_1 &= U_2 + 3\Delta U_f = U_2 + \Delta U'' + j\delta U''' = \\ &= U_2 + \sqrt{3}(I_a R + I_v X) + j\sqrt{3}(I_a X + I_v R) = U_1 e^{j\delta} \end{aligned} \quad (7.36)$$

Xuddi shunga o'xshash liniya va faza kuchlanishlar munosabatlarini hisobga olib ($U = 3U_f$), Om qonunini (9.4) quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$I = \frac{U'_1 - U'_2}{\sqrt{3}Z} = \frac{\Delta U}{\sqrt{3}Z} \quad (7.37)$$

Tarmoq uchastkasi faqat bo'ylama qarshiliklardan iborat bo'lganligi uchun (7.2-rasm) zvenoning boshi va oxiridagi tok o'zgarishsiz qoladi. SHunga e'tibor qilish kerakki, ko'rsatilgan hisobiy fazalararo kuchlanish kattaligi shartli bo'ladi.

Bunda faqat liniya kuchlanishlarining moduli to'g'ri aniqlanadi, ularning argumentlari esa (faza siljishlari) shartli ravishda, xuddi faza kuchlanishi qiymatlaridek olinadi. Elektr tarmoqlarning ish rejimlarini hisoblash uchun qabul qilingan cheklanishlar rol o'ynamaydi. Lekin buni liniya kuchlanishlari uchun argumentlarining haqiqiy qiymatlarini aniqlashda hisobga olinishi lozim. Liniya kuchlanishi vektori U_l mos faza kuchlanishi vektoridan U_f 30° ortda qoladi. (9.16) da toklarni (8.18) ifodaga ko'ra uchastka oxiridagi parametrlar bilan almashinish natijasida quyidagiga ega bo'lamiz:

$$I_a = P_2 3U_2, I_p = Q_2 3U_2. \quad (7.38)$$

Uchastka boshi va oxiridagi kuchlanishlarni bog'liqliligini (7.36) dan foydalanib quyidagi ifoda bilan yozamiz:

$$U_1 = U_2 + \Delta U_2' + j\delta U_2'' = U_2 + \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} + j \frac{P_2 X + Q_2 R}{U_2} = U_1 e^{j\delta} \quad (7.39)$$

Bu yerda liniya kuchlanishi moduli quyidagicha bo'ladi:

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_2')^2 + (\delta U_2'')^2} \quad (7.40)$$

va uning fazasi

$$\delta = \arctg \frac{\delta U_2''}{U_2 + \Delta U_2'} \quad (7.41)$$

(7.30) va (7.31) ifodalardagiga o'xshash holda faza tashkil etuvchilari bilan hisoblanadi. Kuchlanish moduliga ko'ndalang tashkil etuvchisining ta'siri quyidagicha hisobga olinishi mumkin:

$$U_1 \approx U_2 + \Delta U_2' + \frac{(\delta U_2'')^2}{2(U_2 + \Delta U_2')} \approx U_2 + \Delta U_2' + \frac{(\delta U_2'')^2}{2U_{nom}} \quad (7.42)$$

Agar liniya boshidagi kuchlanish kattaligi U_1 va quvvati S_1 ma'lum bo'lsa, liniya oxiridagi kuchlanish kattaligi U_2 quyidagicha hisoblanadi:

$$U_2 = U_1 + \Delta U_1' + j\delta U_1'' = U_1 + \frac{P_1 R + Q_1 X}{U_1} + j \frac{P_1 X + Q_1 R}{U_1} = U_2 e^{j\delta} \quad (7.43)$$

Kuchlanishning modul kattaligi quyidagi ifoda bilan aniq hisoblanadi:

$$U_2 = \sqrt{(U_1 + \Delta U_1')^2 + (\delta U_1'')^2} \quad (7.44)$$

Yoki taqriban quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$U_2 \approx U_1 + \Delta U_1'' + \frac{(\delta U_1'')^2}{2(U_1 + \Delta U_1'')} \approx U_1 + \Delta U_1' + \frac{(\delta U_1'')^2}{2U_{nom}} \quad (7.45)$$

Shuni ta'kidlash joizki, (7.42) va (7.45) ifodalar yordamida U_1 va U_2 kattaliklarni katta aniqlik bilan hisoblash mumkin, va shu sababdan ular elektr tarmoqlarning barcha injenerlik hisoblarida qo'llanilishi mumkin.

Faza kattaliklari quyidagicha topiladi:

$$\delta = \arctg \frac{-\delta U_1''}{U_1 + \Delta U_1''} \quad (7.46)$$

va moduli bo'yicha, (7.21) dagidek, uchastka oxiri parametrlari orqali aniqlanadi. Kuchlanishlarning tahlilining ishonchli bo'lishi uchun 9.3 rasmdagi vektor diagrammadan uchastka boshi va oxiridagi kuchlanishlar bog'lanishini ko'rsatuvchi bir bo'lak kesib olamiz (fragment). (7.5-rasm). Bu yerda uchastka oxiridagi S_2 va U_2 parametrlar orqali hisoblangan, alohida kompleks qarshilikdagi (Z) kuchlanishlar pasayishi uchburchagi ko'rsatilgan:

$$\Delta U_2 = \Delta U_2' + j\delta U_2'' = \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} + j \frac{P_2 X + Q_2 R}{U_2}. \quad (7.47)$$

Uni uchastka boshidagi S_1 , U_1 parametrlar orqali hisoblangan, kuchlanishlar pasayishi uchburchagi bilan to'ldiramiz (9.4 rasmda punktir chiziq bilan chizilgan).

$$\Delta U_1 = \Delta U_1' + j\delta U_1'' = U_1 + \frac{P_1 R + Q_1 X}{U_1} + j \frac{P_1 X + Q_1 R}{U_1} \quad (7.48)$$

Shuni ta'kidlash lozimki, ΔU_1 va ΔU_2 kuchlanishlar pasayishi vektorlari turli xil kuchlanish vektorlariga nisbatan yo'naltiriladi: ΔU_1 uchastka boshidagi kuchlanish vektoriga nisbatan va ΔU_2 vektori uchun esa uchastka oxiridagi kuchlanish vektoriga nisbatan yo'nalishi aniqlanadi. Shu sababli bir xil nomdagi kuchlanish pasayishining kattaliklari uchastka boshi va oxiridagi parametrlar bo'yicha aniqlangan qiymatlari bir biriga teng bo'lmaydi, ya'ni turlicha bo'ladi, va quyidagilarni yozishimiz mumkin:

$$\Delta U_1' = \frac{P_1 R + Q_1 X}{U_1} \neq U_2' = \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2}, \quad (7.49)$$

$$\delta U_1'' = \frac{P_1 X - Q_1 R}{U_1} \neq \delta U_2'' = \frac{P_2 X + Q_2 R}{U_2} \quad (7.50)$$

$$|\Delta U_1^*| = \sqrt{(\Delta U_1')^2 + (\delta U_1'')^2} = |\Delta U_2^*| = \sqrt{(\Delta U_2')^2 + (\delta U_2'')^2}, \quad (7.51)$$

Umumiy holda, tarmoq uchastkasining fazalararo kuchlanishiga U_{max} qonunini qo'llab yozishimiz mumkin:

$$\Delta U = \sqrt{3}\Delta U_o' \text{ p} = \sqrt{3}I \cdot Z = \Delta U' + j\delta U'' \quad (7.52)$$

$$\begin{aligned}\Delta U' &= \sqrt{3}(I_a R + I_p X), \\ \delta U'' &= \sqrt{3}(I_a X - I_p R),\end{aligned}\tag{7.53}$$

191

qiladi. Kuchlanish pasayishi uchburchagining gipotenuzasi kuchlanish pasayishining modulini beradi. Uchastka boshidagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblarda (U_1, P_1, Q_1) U_1 vektor haqiqiy o'q bilan ustma-ust tushiriladi (7.5-rasm), shunday qilib koordinata o'qlari, soat strelkasi yo'nalishiga teskari yo'nalishda δ burchakka burilib, yangi holatini qabul qiladi. Fazoda U_1 vektor oxiridan teskari yo'nalishda kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisi $\Delta U_1'$ vektorini, keyin unga perpendikulyar yo'nalishda – ko'ndalang tashkil etuvchisi $U_1'_{\delta}$ qo'yiladi, ularning geometrik yig'indisi esa ΔU_1 vektorni beradi. (7.5-rasm, punktir chiziqlar). $\delta U_1''$ vektora oxirini koordinata boshi bilan tutashtirib, zveno oxiridagi U_2 kuchlanish vektorini olamiz. Kuchlanishlar pasayishi uchburchagini ajratib, kuchlanishlar diagrammasini qurish kompleks qarshilik Z va kompleks quvvatning S (I tok) tashkil etuvchilarining o'zaro ta'sirini ko'rishimiz mumkin. Vektor diagrammadan kelib chiqib xulosa qilamizki, uchastka oxiridagi aktiv R va reaktiv Q quvvatlar berilgan bo'lsa, va uchastkaning reaktiv qarshiligi X va uning aktiv qarshiligi R qanchalik katta bo'lsa, kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi $\delta U''$ shunchalik katta bo'ladi, va oxir oqibat, U_1 va U_2 kuchlanishlar orasidagi burchak δ shunchalik katta bo'ladi.

Ma'lumki kuchlanishi 110 kV va undan ortiq bo'lgan elektr uzatish tarmoqlari va barcha kuch transformatorlari uchun $X > R$, va 220 kV kuchlanishli liniyalar, hamda quvvati 4 MVA dan katta bo'lgan kuch transformatorlari uchun $X \gg R$ bo'ladi. Shu sababli elektr uzatish tarmoqlarining uzunligi katta bo'lsa, yoki shunday elementlarni o'z ichiga olgan tarmoqlar loyiha quvvatiga yaqin yuklama bilan ishlab turganida δ burchak odatda 15–25° atrofida bo'ladi va elektr energiyasini uzatish masofasi ortsa yoki yuklama quvvatlari statik barqarorligi bo'yicha belgilangan normativlar doirasida qolib, ortib borsa 35–55° gacha ortadi. Bunday holatlarda kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi $\delta U''$ kattaligini hisobga olish kuchlanishlar hisobi natijalariga, elektr tarmoq parametrlari haqidagi ma'lumotlarning xatoliklaridan sezilarli darajada ortiq aniqliklar kiritishi mumkin, va shu sababli elektr tarmoqlarning elektr rejimlarining tahlili kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi kattaligini hisobga

olib bajarilishi kerak bo'ladi. Va buning aksi, kuchlanishi 110 kV va undan kam bo'lgan elektr tarmoq uchastkalari uchun $X \leq R$, va δ burchak unchalik katta emas ($2-3^\circ$ dan kam). Bunday hollarda yetarli aniqlik bilan (xatolik 0,5 % dan kam), uchastkadagi kuchlanishning pasayishi, uning ($\Delta U'$) bo'ylama tashkil etuvchisiga teng deb qabul qilinishi mumkin. U holda (7.36) i (7.39) ifodalar soddalashadi va quyidagicha ko'rinish oladi:

$$\begin{aligned} U_1 &\approx U_2 + \Delta U'_2 = U_2 + \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} \\ U_2 &\approx U_1 + \Delta U'_1 = U_1 + \frac{P_1 R + Q_1 X}{U_1} \end{aligned} \quad (7.54)$$

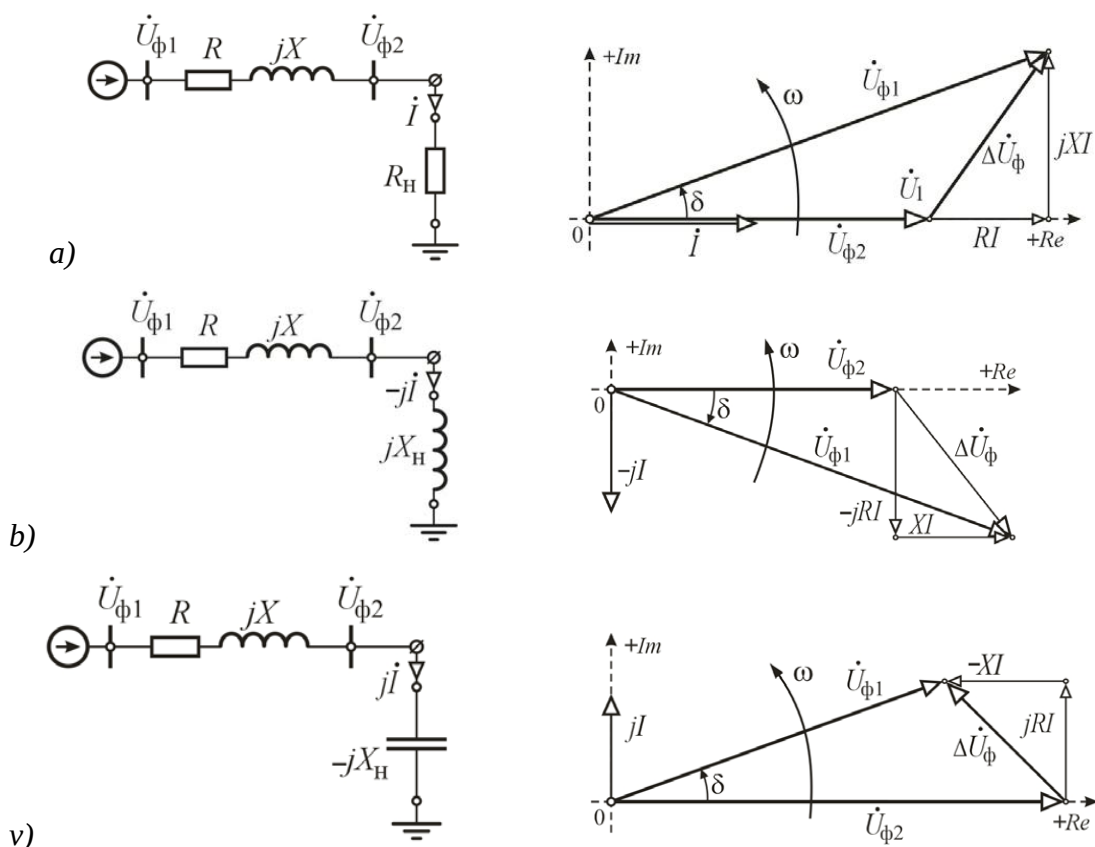
Bunday soddalashtirish natijasidagi xatolik protsentning ulushidan oshmaydi, kuchlanish isrofi esa bunda quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$\Delta U \approx \sqrt{3}(I_a R + I_p X) = \frac{PR + QX}{U} \approx \frac{PR + QX}{U_{nom}} \quad (7.55)$$

Bu yerda quvvat va kuchlanishning ikkalasi ham bitta uzelga to'g'ri keladi yoki uchastkaning nominal kuchlanishi qo'yiladi. 7.5- rasmdagi vektor diagrammadan, (7.47) va (7.48) ifodalarni hisobga olib, R va X qarshiliklarning berilgan qiymatlarida, uchastkadagi aktiv va reaktiv quvvatlarning (yoki tok) tashkil etuvchilarini yoki uning quvvat ko'effitsienti ($\cos\phi$) o'zgarishlarining kuchlanishning pasayishi va yo'qolishiga ta'sirini o'rnatish mumkin bo'ladi. Ko'ramizki, berilgan (o'zgarishsiz) yuklamaning aktiv quvvatida va tarmoq uchastkasida reaktiv quvvatning Q (I_p tokda) ortib borishida kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisi $\Delta U'$ to'g'ri proporsional ravishda ortib boradi va kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi $\delta U''$ kamayadi ($\delta > 0$ bo'lsa ko'pchilik holatda bajariladi). Natijada kuchlanishning pasayishi va yo'qolishi ortadi, siljish burchagi δ esa kamayadi. Va, aksincha, quvvat ko'effitsientining ($\cos\phi_2$), ortishi bu zvenodagi uzatilayotgan reaktiv quvvatni Q_2 kamaytiradi, bundan kelib chiqib, tarmoq uchastkasida kuchlanishning pasayishi va yo'qolishi kamayadi. Yuklama xarakteri zveno boshi va oxiridagi kuchlanishning o'zgarishiga ta'sir ko'rsatadi. 9.5-rasmda aktiv-induktiv qarshilikli tarmoqdagi faza kuchlanishi va tokining aktiv (7.6, *a-rasm*), induktiv (7.6, *b-*

rasm) va sig'im (7.6, v-rasm) qarshiliklar va yuklama (I) uchun vektor diagrammasi ko'rsatilgan.

Xususiyl holat ma'lumotlarning tahlili, real tarmoq uchastkasining, chegaralari ichida tarmoq yuklamasining umumiy holatining eng ko'p tarqalgan holatlari bo'lgan, tarmoq yuklamasining chegaraviy holatini o'rnatish imkonini beradi. Masalan aktiv-induktiv yuklamada bo'lgan barcha holatlarda ($\cos \varphi$ ning 1 dan 0 gacha bo'lgan o'zgarishlarida) uchastka boshidagi kuchlanish U_1 uchastka oxiridagi kuchlanish U_2 dan katta bo'ladi, va U_2 kuchlanish vektori U_1 kuchlanish vektoridan ortda qolayotgan ($\delta < 0$) holatidan U_1 kuchlanish vektoriga nisbatan oldinga o'tgan ($\delta > 0$) holatiga o'tadi.



7.6-rasm. Yuklama uchun ET uchastka kuchlanish va tokining vektor diagrammasi:

a – aktiv; b – induktiv; v – sig'imiyl qarshilikda

Aktiv-sig'im yuklamada uchastka boshidagi kuchlanish vektori fazasi U_1 uchastka oxiridagi kuchlanish vektori fazasi U_2 dan doim oldinda bo'ladi.

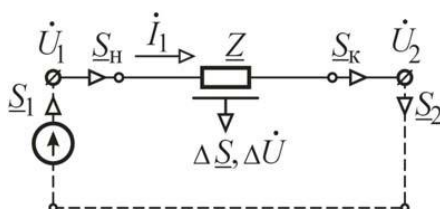
Uchastka boshidagi U_1 kuchlanish moduli uchastka oxiridagi kuchlanish U_2 modulidan katta bo'lib, kuchlanish U_2 vektori doim oldinda bo'ladi ($\cos\varphi > 0$ qiymatiga yaqinlashgan sari), uning moduli $U_2 < U_1$ qiymatlaridan $U_2 > U_1$ qiymatigacha o'zgarib boradi. Elektr tarmoq uchastkasi kuchlanishining batafsilroq tahlili, EHM yordamida, yuklama moduli o'zgarishsiz qolganida ($I_n = \text{const}$) va uning o'zgaruvchan tarkibida ($\cos\varphi_n - \text{var}$) yoki yuklama quvvatining kuchlanish kattaligi va fazasi bog'liqligining aylanma diagrammasi yordamida bajarilishi mumkin.

7.5. Ochiq (oddiy) elektr tarmoqlarning turg'un rejimlarining hisobi.

Tarmoq uchastkasining boshini xarakterlovchi ma'lumotlar bo'yicha hisoblash. Elektr tarmoqlari uchastkasi sifatida uch fazali elektr tarmoqning har qanday elementi (elektr uzatish liniyasi, transformator va boshqa elementlar), keyinchalik bu elementlar “elektr uzatkich” deb umumiy nom bilan ataladi. Dastlab, $Z = R + jX$ qarshiliklari bo'lgan bo'ylama tarmoqning bitta zanjirining, 7.7- rasmda ko'rsatilgan, o'rnini olish sxemasini, elektr uzatkichni – elektr tarmoq uchastkasini ko'rib chiqamiz. “Elektr uzatkich”ning ishini energetik xarakteristikasini ko'rib chiqish uchun aktiv va reaktiv quvvatlar kattaliklaridan foydalanamiz, bunda ularni elektr uzatkich boshida $S_1 = P_1 + jQ_1$, va elektr uzatkich oxirida $S_2 = P_2 + jQ_2$ ma'lum kattaliklar deb qabul qilamiz. Boshqacha aytganda elektr uzatkichda uzatilayotgan S_1 va qabul qilinayotgan S_2 uch fazali to'la quvvatning (uchfazali quvvatning) kompleks kattaligi ma'lum bo'lsin. Tahlilning bir xilligi uchun yana tarmoq uchastkasi boshidagi kuchlanish U_1 va oxiridagi kuchlanish U_2 kattaliklarini ham ma'lum deb hisoblaymiz. Hozirgi elementar holatda tarmoq uchastkasi ko'ndalang zanjirga – shuntga ega emas, shu sababli zanjir toki zvenoning boshi va oxirida kattaligi va fazasi bo'yicha

o'zgarishsiz, manbaa (generatsiya) quvvati zveno boshidagi quvvat oqimiga ($S_1 = S_n$), elektr iste'molchi (yuklama) quvvati esa zveno oxiridagi quvvatga teng deb qabul qilinadi (7.7- rasm). Lekin ma'lum bir yuklamali uchastkaning ($I \neq 0$) oxirlari komplekslari (vektorlar) ma'lum bir kattalikka farq qiladi, bu kattalik quvvat isrofi deyiladi:

$$\Delta S = S_n - S_k, \quad (7.56)$$



7.7-rasm. Quvvatlar oqimi bilan qo'rsatilgan tarmoq uchastkasining almashinish sxemasi

Bu yerda uchastka boshi va oxiri orasidagi quvvatlar farqi, undagi kuchlanish pasayishi moduli (absolyut qiymati) qanchalik katta bo'lsa, shunchalik katta bo'ladi:

$$\Delta U = |\dot{U}| = |\dot{U}_1 - \dot{U}_2|,$$

Bu kattalik kuchlanish isrofi deb nomlanadi.

ΔS va ΔU ko'rsatkichlar orqali uchastka oxirlaridagi quvvat va kuchlanishlarning bog'liqligini aniqlash va tahlil qilish tartibi tarmoqning elektr rejimi hisobining uslubini (jarayon xarakterini) belgilaydi. Amaliyotda eng ko'p uchraydigan xarakterli holatlarni ko'rib chiqamiz. Uchastka boshidagi quvvat va kuchlanish S_1 va U_1 ma'lum bo'lsin; uchastka oxiridagi quvvat va kuchlanish S_2 va U_2 kattaliklarini aniqlash kerak bo'ladi. Amalda bunday holat, manbaning (elektrostantsiya) o'rnatilgan quvvatini uning shinalaridagi ma'lum bir kuchlanishda, iste'molchi sistema yoki iste'molchi uzeligga uzatishda yuzaga keladi. Bunda "elektr uzatkich"ning oxirida, qabul qilish punktidagi quvvat va kuchlanish isroflari (harajatlari) qanday bo'lishini hisobga olish kerak bo'ladi. Tarmoq yuklamasi aktiv-induktiv xarakterli deb qabul qilamiz, (zveno toki I kuchlanish vektoridan U_1 φ burchakka orqada qoladi). U holda uchastka boshidagi to'la quvvatning kompleks miqdori quyidagicha bo'ladi:

$$S_n = S_1 = 3U_{f1} I_f^* = \sqrt{3} U_1 \cdot I^* = P_1 + jQ_1 \quad (7.57)$$

Bundan kelib chiqib, to'la tokning kompleks kattaligi:

$$I^* = \frac{S_1}{3U_{f1}^*} \quad \text{yoki} \quad I^* = \frac{S_1^*}{3U_{f1}^*} = \frac{S_1^*}{\sqrt{3}U_1} \quad (7.58)$$

Uning tashkil etuvchilarining qiymatlari:

$$I^* = I_a - I_p = \frac{S_1^*}{\sqrt{3}U_1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ \frac{P_1 U_1' - Q_1 U_1''}{(U_1')^2 + (U_1'')^2} - j \frac{Q_1 U_1' - P_1 U_1''}{(U_1')^2 + (U_1'')^2} \right\} \quad (7.59)$$

Sxema boshlang'ich uzeldagi quvvat va kuchlanish S_1 va U_1 larning aniq qiymatlari hisoblanadi. SHu sababli yuklama tokiga bog'liq bo'lgan quvvat isroflari va kuchlanishning pasayishi kattaliklarini ΔS va ΔU aniq hisoblash mumkin bo'ladi, bunda elektr tarmoq uchastkasi rejimini boshidan oxirigacha bir bosqichda bajariladi, ya'ni to'g'ridan-to'g'ri hisoblash amaliyoti (jarayoni) amalga oshiriladi. Zanjir boshida quvvat koeffitsienti

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{Q_1}{P_1} \quad \text{yoki} \quad \cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} \quad (7.60)$$

Zveno boshidagi kuchlanish U_1 (o'lchab olingan) ma'lum deb hisoblaymiz. Tarmoq uchastkasidagi quvvat kattaligi S_1 ma'lum bo'lganida zanjirdagi tok kattaligi quyidagi ko'rinishda aniqlaymiz:

$$I^* = \frac{S_1^*}{3U_{f1}^*} = \frac{S_1^*}{\sqrt{3}U_1} = \frac{P_1 - jQ_1}{\sqrt{3}U_1} = I_a - jI_p \quad (7.61)$$

Z qarshiligi bo'lgan tarmoq uchastkasidan I tok kattaligi oqib o'tib turganida, unda aktiv va reaktiv quvvat isrofi yuzaga keladi, uning kattaligi Djoul – Lents qonuniga muvofiq tokning tashkil qiluvchilari yordamida yozishimiz mumkin:

$$\Delta S = 3 I^2 Z = 3 (I_a^2 + I_p^2) (R + jX) \quad (7.62)$$

yoki, 7.6 ifodaga ko'ra aktiv va reaktiv quvvat qiymatlaridan foydalanib yozamiz:

$$\Delta S = \frac{S_n^2}{U_1^2} Z = \frac{P_n^2 - Q_n^2}{U_1^2} (R + jX) \quad (7.63)$$

Undan aktiv va reaktiv quvvat isroflari

$$\Delta P = 3(I_a^2 + I_p^2) R = \frac{P_n^2 - Q_n^2}{U_1^2} R \quad (7.64)$$

$$\Delta Q = 3(Ia^2 + I r^2) X = \frac{P_n^2 - Q_n^2}{U_1^2} X$$

U_f oldidagi ko'paytma (3 raqami) tenglik ishorasidan keyin yo'qoladi, chunki faza va liniya kuchlanishlari orqali tok moduli almashtirilganida $U = 3U_f$ bo'ladi. Uchastka oxirida quvvat oqimi kattaligi quvvatlar isrofi miqdoriga kamayadi:

$$\begin{aligned} S_k &= S_2 = S_n - \Delta S = P_n + jQ_n - \Delta P - j\Delta Q = \\ &= P_n - \Delta P + j(Q_n - j\Delta Q) = P_k + jQ_k. \end{aligned} \quad (7.65)$$

Tarmoqning bo'ylama uchastkasida tok quvvat isrofidan tashqari kuchlanish pasayishiga ham olib keladi: **LEKTSIYA 10. RASCHYOT USTANOVIVSHIXSYA R**

$$\Delta U = \sqrt{3} I' Z = \frac{S_1^*}{U_1} = \Delta U' + j\delta U''$$

Shu kattalikka (ko'rsatilgan tok yo'nalishiga mos ravishda) zanjir uchastkasi oxiridagi kuchlanish zanjir boshidagi kuchlanishdan kam bo'ladi:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_1' = U_1 - \Delta U_1' - j\delta U_1'' = U_2 \cdot e^{j\delta}, \quad (7.66)$$

Elektr uzatkichning qabul qiluvchi oxiridagi kuchlanishning modul va fazasi (7.44) va (7.46) ifodalardan aniqlanadi. Kuchlanish pasayishi ΔU_1 vektorining tashkil etuvchilarini uchastka boshidagi tok orqali (7.53) ifodadan foydalanib yoki quvvat orqali, (7.48) ifodadan foydalanib aniqlash mumkin. Berilgan elektr tarmoq uchastkasining kuchlanish rejimini $+$, j koordinata o'qida qurilgan vektor diagramma yordamida xarakterlash mumkin. Topilgan U_2 kuchlanishni hisobga olib, zveno oxiridagi quvvat kattaligini quyidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin:

$$S_k = S_2 = 3U_{f2} \cdot I_2 = \sqrt{3} U_2 I^* = P_2 + jQ_2 \quad (7.67)$$

Undan (7.3) ni hisobga olib, zveno toki uchun muhim ifodani olamiz:

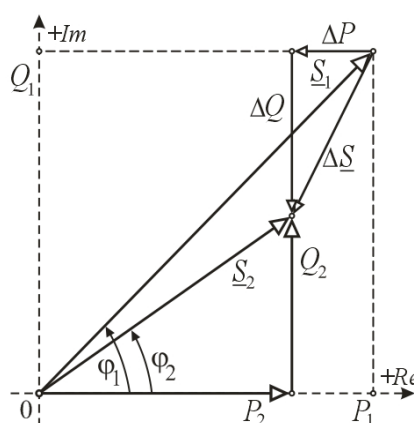
$$I' = \frac{S_1^*}{U_{f1}^*} = I_a - jI_p \quad (7.68)$$

Yoki liniya kuchlanishi orqali (ko'rsatilgan cheklanishni hisobga olib) quyidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin:

$$I' = \frac{S_1^*}{\sqrt{3}U_1^*} = \frac{S_2^*}{\sqrt{3}U_2^*} = I_a - jI_p \quad (7.69)$$

Ya'ni tarmoq toki kattaligini zveno boshi va oxiri ma'lumotlari orqali aniqlash mumkin. Shunday qilib, uchastka tokini tarmoq boshi va oxiridagi kuchlanish va quvvat ma'lumotlari orqali aniqlanadi.

Tarmoq uchastkasining ishchi rejimini tarmoq boshi va oxiridagi quvvatlar va isroflar bog'lanishini ko'rsatuvchi munosabatlar balansi orqali, to'la quvvatni uchastka bo'ylab taqsimlanishi va mos vektor diagrammasi (7.8-rasm) yordamida xarakterlash mumkin bo'ladi. (7.65) ifodaga ko'ra uchastka boshidagi dastlabki quvvat vektoridan abstsissa o'qiga parallel ravishda qo'yib aktiv quvvat isrofi vektorini ΔP ayiramiz. Keyin esa ΔP vektor oxiridan ordinata o'qiga parallel ravishda qo'yib, reaktiv quvvat vektorini ΔQ ayiramiz. Natijaviy ΔS vektorini S_1 vektordan ayiramiz.



7.8-rasm. Tarmoq uchastkasi quvvatining vektor diagrammasi

ΔS vektor oxirini koordinata boshi bilan tutashtirib, uchastka oxiridagi P_2 va Q_2 tashkil etuvchilari bo'lgan S_2 quvvat vektorini olamiz (7.8-rasm). S_1 va S_2 quvvat vektorlarining haqiqiy kattaliklar o'qiga qiyaligi φ_1 va φ_2 quvvat koeffitsientini aniqlaydi. Xususan uchastka oxiridagi uzal uchun:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{Q_2}{P_2}; \text{ yoki } \cos \varphi = \frac{P_2}{Q_2}. \quad (7.70)$$

Elektr tarmoq uchastkasining foizlardaolingan foydali ish koeffitsienti:

$$\eta = \frac{R_2}{R_1} \cdot 100 = \frac{R_1 - \Delta R}{R_1} \cdot 100 = \left(1 - \frac{\Delta R}{R_1}\right) \cdot 100 \quad (7.71)$$

Demak, aktiv quvvat isrofining kamayishi elektr tarmoqning F.I.K. ortishiga olib keladi.

Tarmoq uchastkasining oxirini xarakterlovchi ma'lumotlar bo'yicha hisoblash. Uchastka oxiridagi kuchlanish va quvvat S_2 va U_2 kattaliklarini ma'lum va ular o'zgarishsiz qoladi, ya'ni $S_2 = \text{const}$, $U_2 = \text{const}$ deb qabul qilamiz. Uchastka boshidagi kuchlanish va quvvat S_1 va U_1 kattaliklarini aniqlash kerak bo'ladi. Bunday holat, masalan yuklama quvvati berilgan bo'lib, uchastka xiridagi elektr iste'molchida talab qilingan U_2 kuchlanishni ta'minlash uchun tarmoq boshidagi kuchlanish U_1 qancha bo'lishi kerakligini hisoblashda yuzaga keladi. Bunda yana iste'molchiga kerak bo'lgan quvvatni yetkazib berilishi uchun qancha quvvat isrofi bo'lishi hisoblanadi. Umumiy holda 2- uzelda berilgan elektr yuklama aktiv-induktiv xarakterli deb qabul qilinadi:

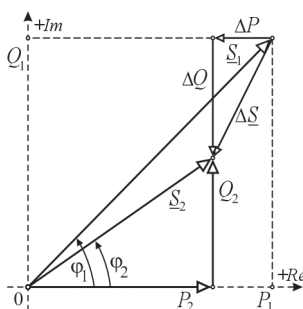
$$S_2 = 3U_{f2}'I_f^* = \sqrt{3}U_2 I^* = P_2 + jQ_2 \quad (7.72)$$

Zveno toki I o'zgarishsiz bo'lganligidan uning kattaligini zveno sxemasining oxirgi uzeliidagi berilgan quvvat S_2 va kuchlanish U_2 kattaligiga qarab hisoblanishi mumkin:

$$I = \frac{S_2^*}{\sqrt{3}U_2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{S_2^*}{U_2} = I_a - jI_p \quad (7.73)$$

Bu yerda to'la kompleks tokning tashkil etuvchilarini (7.9-rasm) quvvat tashkil etuvchilari $S_2 = P_2 + jQ_2$ va kuchlanishning tashkil etuvchilari $U_2 = U_2' + jU_2''$ orqali ifodalab, quyidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin:

$$I_a = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_2' P_2 + Q_2 U_2''}{(U_2')^2 + (U_2'')^2}, \quad I_p = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_2' Q_2 + P_2 U_2''}{(U_2')^2 + (U_2'')^2} \quad (7.74)$$



Odatda uzeldagi kuchlanish haqiqiy modul kattalikda U_2 (masalan kuchlanish o'lchab olingan bo'lsa) berilgan bo'ladi, u holda tok ifodasi (7.73) ga o'xshash quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$I = \frac{S_2^*}{\sqrt{3}U_2} = \frac{R_2}{\sqrt{3}U_2} - j \frac{Q_2}{\sqrt{3}U_2} = I_a - j I_p \quad (7.75)$$

Zveno tokini hisoblashning, xuddi oldingi holatdagidek, aniqligi yuqori bo'lishligiga bo'lgan talab, hisoblarni, to'g'ridan to'g'ri, uchastkaning boshidan oxirigacha bir bosqichda bajarilishini belgilaydi. Endi quvvat isroflarini quyidagicha tarzda aniqlaymiz:

$$\Delta S = 3I^2 Z = 3(I_a^2 + jI_p^2)(R + jX)$$

Yoki quvvatning tashkil etuvchilari orqali yozilsa:

$$\Delta S = \frac{S_k^2}{U_2^2}(R + jX) = \frac{R_k^2 + Q_k^2}{U_2^2} (R + jX) \quad (7.76)$$

Bundan kelib chiqib, aktiv va reaktiv quvvat isrofini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \Delta P &= 3(I_a^2 + jI_p^2)R = \frac{R_k^2 + Q_k^2}{U_2^2} R \\ \Delta Q &= 3(I_a^2 + jI_p^2)X = \frac{R_k^2 + Q_k^2}{U_2^2} X \end{aligned} \quad (7.77)$$

Elektr tarmoq uchastkasida kuchlanishning pasayishi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta U_2' = \Delta U_2' + j\delta U_2'' = \sqrt{3}IZ = \sqrt{3}(I_a - jI_p)(R + jX) \quad (7.78)$$

yoki quvvatning ma'lum tashkil etuvchilari orqali:

$$\Delta U_2' = \Delta U_2' + j\delta U_2'' = \frac{S_k^*}{U_2} Z = \frac{P_k - jQ_k}{U_2} \cdot (R + jX) \quad (7.79)$$

Uchastkaning kuchlanish vektori U_2 ga qarab yo'nalish olgan kuchlanish pasayishining ko'ndalang va bo'ylama tashkil etuvchilari (7.47) yoki (7.53) ifodalar bo'yicha hisoblanadi. Zvenodagi ma'lum quvvat (tok) oqimiga mos ravishda – boshidan oxiriga qarab yo'nalganligi uchun (7.9-rasm) uchastka boshidagi quvvat S_n oxiridagi quvvatdan S_k quvvat isrofiga kam bo'ladi:

$$\begin{aligned} S_n &= S_1 = S_k + \Delta S = P_k + jQ_k + \Delta P + j\Delta Q = \\ &= P_k + \Delta P + j(Q_k + \Delta Q) = P_n + jQ_n, \end{aligned} \quad (7.80)$$

Zveno boshidagi kuchlanish U_1 esa tarmoq oxiridagi kuchlanishdan U_2 kuchlanishning pasayishiga ΔU kam bo'ladi.

$$U_1 = U_2 + \Delta U = U_2 + \Delta U_2' + j\delta U_2'' = U_2 \delta,$$

bu yerda elektr uzatkich oxiridagi kuchlanishning moduli va fazasi (7.44) va (7.46) ifodalar bo'yicha hisoblanadi. Zveno boshidagi quvvat kattaligini shu yerdagi kuchlanish U_1 kattaligini hisobga olib, quyidagicha ifodalashimiz mumkin:

$$S_n = S_1 = \sqrt{3} U_1 I^* = \sqrt{3} U_1 I^* = P_1 + jQ_1$$

(7.75) ifodani hisobga olib quyidagiga ega bo'lamiz:

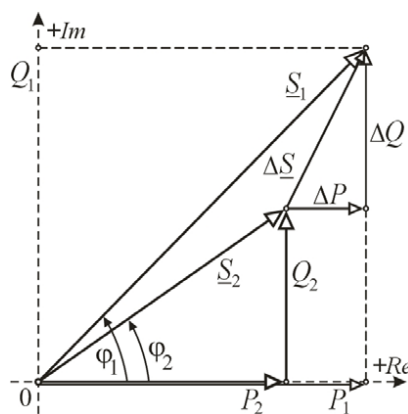
$$I = \frac{S_1^*}{\sqrt{3}U_1} = \frac{S_2^*}{\sqrt{3}U_2},$$

Ya'ni, avvalgi holdagidek zveno toki kattaligini ham uchastka boshi kattaliklari bo'yicha, ham uchastka oxiri kattaliklari bo'yicha hisoblash mumkin. Elektr tarmoq zvenosining ma'lum bir vaqtdagi elektr holatini interpretatsiyalovchi kuchlanishlar vektor diagrammasi (Re , $+jIm$ koordinatasida) 7.9-rasmda keltirilgan. Quvvatlarning balanslik nisbatlarini (7.80) vektor diagramma orqali ko'rsatish mumkin (7.9-rasm). Dastlabki vektor S_2 ga haqiqiy kattaliklar o'qiga parallel bo'ylab yo'nalgan ΔP vektor qo'shiladi, uning oxiridan mavhum o'qqa parallel ravishda ΔQ vektor qo'shiladi. Quvvatlar isrofi yig'indisining vektori ΔS zveno oxiridagi quvvat vektori S_2 bilan qo'shib, P_1 va Q_1 tashkil etuvchilari bo'lgan zveno boshidagi quvvat S_1 kattaligini beradi. 7.8 va 7.9 rasmlardagi vektor diagrammalar va quvvat isroflari uchburchaklarini ustma-ust qo'yib ko'ramizki, uchastka boshi va oxiridagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblangan quvvat isroflari kattaligi bir xil bo'ladi. Yoki (7.62), (7.64) va (7.77) ifodalarni umumlashtirib, quyidagi natijalarni olamiz:

$$\begin{aligned} \Delta P &= 3I^2 R = \left(\frac{S_{bosh}}{U_1} \right)^2 R = \left(\frac{S_{ox}}{U_2} \right)^2 R, \\ \Delta Q &= 3I^2 X = \left(\frac{S_{bosh}}{U_1} \right)^2 X = \left(\frac{S_{ox}}{U_2} \right)^2 X \end{aligned} \quad (7.81)$$

(7.81) ifodadan ko'ramizki, zvenodagi quvvat isroflari tok yoki quvvat modullari kattaligi kvadratiga bog'liq bo'lib, yuklama quvvati xarakteriga (quvvat koeffitsientiga) bog'liq emas. Zveno boshi va oxirlaridagi quvvat koeffitsientlari va foydali ish koeffitsientlari kattaligini avvalgi holatdagidek aniqlaymiz.

Endi kuchlanish va quvvatlar oqimi hisobi bilan bog'langan ayrim masalalarni ko'rib chiqamiz. Bunday holatlar eng oddiy bo'lib, hisoblarda aniq natijalar olishga imkon beradi, chunki bunda quvvat va kuchlanish miqdori zvenoning bir tomoni uchun ma'lum bo'ladi, va hisoblanayotgan tok va u orqali aniqlanayotgan quvvat isroflari ΔS va kuchlanishning pasayishi ΔU aniq bo'ladi, bu esa elektr uzatkichning boshi va oxiridagi ko'rsatkichlarni (quvvat isroflari va kuchlanishning pasayishi) to'g'ridan-to'g'ri bog'lash imkonini beradi. Lekin ko'pincha hisoblarda elektr uzatkich-zvenoning turli tomonlari ko'rsatkichlari ham berilgan bo'lishi mumkin, masalan zveno boshidagi quvvat oqimi va zveno oxiridagi kuchlanish, yoki aksincha, zveno boshidagi kuchlanish va zveno oxiridagi quvvat oqimi, noma'lum kattaliklar hisoblanishi talab qilinadi, masalan zveno boshidagi quvvat oqimi yoki kuchlanish va zveno oxiridagi kuchlanishning pasayishi yoki quvvat oqimi.



7.10-rasm. Elektr tarmoq uchastkasi quvvatlari uchun vektor diagramma

Oxirgi holatda muammo yuzaga keladi, chunki zveno boshi yoki oxiridagi kuchlanishni, uchastkadagi kuchlanishning pasayishini aniqlash uchun uzeldagi quvvat va kuchlanish ma'lum bo'lishi kerak, bu yerda esa ulardan faqat bittasi

berilgan. Umumiy holda zveno oxiridagi kuchlanish kattaligini nochiqli tenglamani yechimi orqali topishimiz mumkin.

$$U_1^2 = \left(U_2 + \frac{RP_2 + XQ_2}{U_2} \right)^2 + \left(\frac{XP_2 + RQ_2}{U_2} \right)^2 \quad (7.82)$$

Bu tenglama (7.19) ifodaga asoslanib tuzilgan. Bu tenglama zveno oxiridagi kuchlanishga (U_2) nisbatan bikvadrat xarakterli bo'lib, uning analitik yechimi mavjud. Agar kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisini hisobga olmaslikning iloji bo'lsa nochiqli tenglama (7.27) soddalashib, kvadrat tenglama ko'rinishi oladi.

$$U_2^2 - U_1 U_2 + P_2 R + Q_2 X = 0$$

Bu tenglamani Viet formulasi yordamida to'g'ridan-to'g'ri yechishimiz mumkin. Lekin bunday qilinmaydi. Odatda bunday masalalarni iteratsiya usullaridan foydalanib yechiladi (masalan oddiy iteratsiya usuli bilan).

Tarmoq boshidagi kuchlanish va tarmoq oxiridagi yuklama quvvati bo'yicha hisoblash. Ko'pchilik holda uchastka (zveno) oxiridagi yuklama quvvati $S_2 = \text{const}$ va boshidagi kuchlanish $U_1 = \text{const}$ ma'lum bo'ladi (7.7.-rasm). Masalada uchastka (zveno) boshidagi yuklama quvvati S_1 va oxiridagi kuchlanish U_2 ni hisoblash talab qilinadi. Bunday masalalar tarmoqlarda eng ko'p uchraydi, ya'ni manbaa kuchlanishi U_1 ma'lum bo'lgan elektr tarmoqqa, zveno-elektr uzatkich orqali (liniya, transformator) S_2 quvvatli elektr iste'molchi (yuklama) tok manbai shinalariga ulangan bo'ladi. Bu yerda hisoblar ketma ket yaqinlashish (iteratsiya) usuli bilan olib boriladi, chunki zvenoning yuklama toki:

$$I^{(0)} = \frac{S_2^*}{\sqrt{3} U_2^{(0)}} = \frac{P_2}{\sqrt{3} U_2^{(0)}} - j \frac{Q_2}{\sqrt{3} U_2^{(0)}} = I_a^{(0)} - j I_p^{(0)}, \quad (7.83)$$

Zvenoning yuklama toki zvenodagi quvvat isrofi va kuchlanishning pasayishi kattaliklarini, kuchlanishning boshlang'ich qiymatlari $U_2^{(o)}$ orqali, faqat taqriban aniqlay oladi. Agar kuchlanishning boshlang'ich qiymatini $U_2^{(o)}$ tanlash

bo'yicha ko'rsatmalar bo'lmasa, uning kattaligini nominal kuchlanishga teng deb qabul qilinadi. U holda tok kattaligining boshlang'ich (nollik) yaqinlashuvini $I_2^{(0)}$ bilgan holda quvvat isrofini quyidagicha hisoblab topish mumkin:

$$\Delta S^{(1)} = 3(I^{(0)})^2 \cdot (R + jX) = \left(\frac{S_2}{U_2^{(0)}}\right)^2 \cdot (R + jX) = \Delta P + j\Delta Q, \quad (7.84)$$

Yuqoridagi ifodadan foydalanib zveno boshidagi quvvat oqimining birinchi yaqinlashuvini aniqlaymiz:

$$S_n^{(1)} = S_1^{(1)} + \Delta S^{(1)} = P_1 + \Delta P^{(1)} + j(Q_1 + \Delta Q^{(1)}) = P_1^{(1)} + jQ_1^{(1)} \quad (7.85)$$

Aktiv va reaktiv quvvatlar isrofi kattaligini taqriban quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta P^{(1)} = 3(I^{(0)})^2 R = \left(\frac{S_2^2}{(U_2^{(0)})^2}\right) R$$

$$\Delta Q^{(1)} = 3(I^{(0)})^2 X = \left(\frac{S_2^2}{(U_2^{(0)})^2}\right) X \quad (7.86)$$

(7.30) ifodadagi balansli nisbatlar grafik ko'rinishda vektor diagramma bilan (7.10-rasm) tasvirlanadi. Endi boshlang'ich uzelda ham quvvat, ham kuchlanish ma'lum bo'ladi va zveno tokini aniqlash mumkin bo'ladi:

$$I^{*(1)} = \frac{S_2^{*(1)}}{\sqrt{3}U_1} = \frac{P_2^{(1)}}{\sqrt{3}U_1^{(1)}} - j\frac{Q_2^{(1)}}{\sqrt{3}U_1^{(1)}} = I_a^{(1)} - jI_p^{(1)} \quad (7.87)$$

Bunda yana zveno oxiridagi kuchlanishning birinchi yaqinlashuvi kattaligini aniqlaymiz. U holda elektr uzatkich tokining boshidan oxiriga tomon yo'nalganligini hisobga olib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$U_2^{*(1)} = U_1 - \sqrt{3}I^{*(1)}Z = U_1 - \Delta U_1' - j\delta U_1'' = U_2^{(1)} \angle \delta \quad (7.88)$$

Bu yerda kuchlanishning moduli va fazasi

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U_1')^2 + (\delta U_1'')^2},$$

Zveno tokining izlanayotgan kuchlanishga yoki berilgan quvvatning izlanayotgan kuchlanishga va tokka bog'liqligi noxiziqli bo'lganligidan, bu masalani yaqinlashuvli (iteratsiyaviy) (taqribiy) xarakterini belgilaydi. Bu yerda δ burchak kuchlanish pasayishining bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilari orqali (keyingi iteratsiyasi uchun aniqlik kiritiladi) quyidagicha aniqlanadi:

$$\delta = \arctg \frac{-\delta U_2''}{U_1 - \Delta U_1'} \quad (7.89)$$

kuchlanish pasayishining bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilari:

$$\Delta U_1' = \sqrt{3} I_{\alpha}^{(1)} R - I_p^{(1)} X = \frac{P_b^{(1)} R + Q_b^{(1)} X}{U_1} \quad (7.90)$$

$$\delta U_1'' = \sqrt{3} \left(I_{\alpha}^{(1)} X - I_p^{(1)} R \right) = \frac{P_b^{(1)} R + Q_b^{(1)} X}{U_1}$$

Kuchlanish rejimining $+$, j koordinatasidagi grafik interpretatsiyasi 7.5-rasmda ko'rsatilgan. SHu bilan hisoblashning birinchi yaqinlashuvi (iteratsiya) tugaydi. U_2 kuchlanish va ΔS quvvat isrofi qiymatlariga aniqlik kiritish uchun hisoblar takrorlanadi. Bunda yuklama tokiga (7.14) bo'yicha aniqlik kiritilib, kuchlanishning dastlabki yaqinlashuvi ($U_2^{(0)}$, $\delta_{(0)} = 0$) o'rniga yuqiroq aniqlikdagi keyingi qiymatlaridan ($U_2^{(1)}$, $\delta_{(1)}$) foydalaniladi. Hisoblarni k -chidan va $(k+1)$ -gacha kuchlanish modullari orasidagi farq ruxsat etilgan xatolikdan (ε) kam bo'lib qolguncha davom ettiriladi, ya'ni:

$$\delta U^{(k+1)} = U_2^{(k+1)} - U_2^k \leq \varepsilon \quad (7.91)$$

Bajarilgan hisoblarda odatda, bir yoki ikki yaqinlashuv bilan chegaralanadi, bunda (7.86) va (7.87) ifodalarga, quvvat isrofi va kuchlanish pasayishi kattaliklariga (7.90) formula bo'yicha aniqlik kiritilib, navbatdagi k -chi iteratsiyadagi kuchlanish moduli U_{2k} qo'yiladi.

Tarmoq boshidagi quvvat va tarmoq oxiridagi kuchlanish bo'yicha hisoblash. Elektr uzatkich boshidagi quvvat $S_1 = S_n = \text{const}$ va oxiridagi kuchlanish $U_2 = \text{const}$ ma'lum bo'lsin (7.7 -rasm). Elektr uzatkich oxiridagi quvvat S_2 va boshidagi kuchlanish U_1 kattaligini topish talab qilinadi. Bu holda ma'lum kuchlanish bilan qabul qiluvchi sistemaga (zveno oxiriga) yetkazib berilgan quvvat kattaligini aniqlash kerak bo'ladi, va manbaning qanday kuchlanishida U_1 berilgan quvvatni alohida elektrostantsiyadan elektr tarmoqlarga uzatish mumkin bo'ladi (7.7-rasm). Avvagi holatdagidek, xisoblar quvvati ma'lum bo'lgan uzeldan boshlanadi. Generatsiya uzeliidagi tok kattaligi taqriban quyidagicha aniqlanadi:

$$I_1^{(0)} = \frac{S^{*(1)}}{\sqrt{3}U_1^{(0)}} = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1^{(0)}} - j \frac{Q_1}{\sqrt{3}U_1^{(0)}} = I_a - jI_p \quad (7.92)$$

Boshlang'ich yaqinlashuv (nollik) bo'yicha, masalan nominal quvvat va kuchlanishda tok kuchi shunday aniqlanildi. Shu sababli hisoblashlarni iteratsion (ya'ni ketma ket yaqinlashish) usuli bilan bajarildi. Berilgan quvvatni uzatish bilan bog'langan quvvat isroflari (sarf harajatlar) taxminan quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta S^{(1)} = 3(I^{(0)})^2 \cdot (R + jX) = \left(\frac{S_1}{U_1^{(0)}}\right)^2 \cdot (R + jX) = \Delta P^{(1)} + j\Delta Q^{(1)}, \quad (7.93)$$

Elektr uzatkich oxiridagi quvvat oqimi ham shunga o'xshash aniqlanadi:

$$Sk^{(1)} = S_2^{(1)} = S_1 - \Delta S_1^{(1)} = P_1 - \Delta P^{(1)} + j(Q_1 - \Delta Q^{(1)}) = P_2 + jQ_2, \quad (7.94)$$

Bu yerdagi quvvat isroflarining $\Delta S_1^{(1)}$ tashkil etuvchilari quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$\begin{aligned} \Delta R_1^{(1)} &= 3(I^{(0)})^2 \cdot R = \left(\frac{S_1}{U_1^{(0)}}\right)^2 \cdot R \\ \Delta Q_1^{(1)} &= 3(I^{(0)})^2 \cdot X = \left(\frac{S_1}{U_1^{(0)}}\right)^2 \cdot X \end{aligned} \quad (7.95)$$

Uchastkadagi quvvatlarning munosabatlari 7.10.-rasmda keltirilgan vektor diagrammada ko'rsatilgan. Endi elektr uzatkich oxiridagi quvvat qabul qilish uzeldagi quvvat va kuchlanish ma'lum bo'ldi va zveno oxirlaridagi tok kattaligiga parametrlar bo'yicha aniqlik kiritish mumkin bo'ladi:

$$I_1^{(1)} = \frac{S_2^{*(1)}}{\sqrt{3}U_2} = \frac{P_2^{(1)}}{\sqrt{3}U_2} - j \frac{Q_2^{(1)}}{\sqrt{3}U_2} = I_a^{(1)} - jI_p^{(1)}. \quad (7.96)$$

va mos ravishda elektr uzatkich boshidagi kuchlanishning birinchi yaqinlashuvi $U_1^{(1)}$ aniqlanadi. U holda zveno tokining haqiqiy yo'nalishi tarmoq boshidan oxiriga yo'nalganligini hisobga olib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$U_1^{(1)} = U_2 + \sqrt{3}I^{(1)}Z = U_2 + \Delta U_2' + j\delta U_2'' = U_1^{(1)} \delta, \quad (7.97)$$

Bu yerda kuchlanish moduli va fazasi quyidagi ifodalar bilan hisoblanadi:

$$\begin{aligned} U_1^{(1)} &= \sqrt{(U_2 - \Delta U_2')^2 + (\delta U_2'')^2}, \\ \delta &= \arctg \frac{\delta U_2''}{U_2 - \Delta U_2'}, \end{aligned}$$

kuchlanishning bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilarining navbatdagi yaqinlashuvi orqali quyidagilar aniqlaniladi:

$$\Delta U_2' = \sqrt{3} \left(I_a^{(1)} R - I_p^{(1)} X \right) = \frac{P_2^{(1)} R + Q_2^{(1)} X}{U_2}$$

$$\delta U_2'' = \sqrt{3} \left(I_a^{(1)} X - I_p^{(1)} R \right) = \frac{P_2^{(1)} X + Q_2^{(1)} R}{U_2}$$

7.5- rasmda elektr uzatkichning boshi va oxiridagi kuchlanishlarining bog'lanishlari $+j$ koordinatada qurilgan vektor diagramma ko'rinishida berilgan edi. Shu bilan elektr uzatkichning elektr rejimi hisobining birinchi yaqinlashuvi (iteratsiyasi) yakunlanadi. Rejim ko'rsatkichlariga aniqlik kiritish zarurati bo'lsa, kuchlanishning birinchi yaqinlashuvi kattaligini $U_1^{(0)}$ keyingi, hisoblangan kattaliklarga $U_1^{(1)}$ almashtirib hisoblar takrorlanadi va hokazo. Iteratsiya jarayoni (10.36)ga binoan nazorat qilinadi.

Turli birlamchi ma'lumotlari bo'lgan elektr tarmoq uchastkasining elektr rejimlari parametrlarini hisoblash uchullarini solishtirib ko'ramizki, uchinchi va to'rtinchi holatlarga mos bo'lgan hisoblash natijalari, birinchi va ikkinchi yaqinlashuvdagi olingan hisoblash natijalariga nisbatan, aniqligi kamroq bo'ladi. Lekin yetarli miqdordagi iteratsiya natijasida (amalda ikki-uch) olingan natijalar aniq kattaliklarga yaqinlashadi va va ular bilan yetarli aniqlik bilan mos keladi.

Tekshirish uchun savollar

1. Nima uchun kuchlanishni rostlovchi qurilmasi bilan jihozlangan elektr tarmoqlarda yuklamani o'zgarmas quvvat bilan ifodalash yetarli bo'ladi?
2. Qanday elektr tarmoqlar va sistemalar hisoblarida yuklamani o'zgarishsiz quvvat bilan ifodalash ruxsat etiladi?
3. Qanday elektr tarmoqlar rejimlarining tahlilida elektr yuklamani o'zgarishsiz tok ko'rinishda modellashtirish ruxsat etiladi?
4. Bunday yuklamalar modelida hisoblarning xatoliklari qanday yuzaga keladi?

5. Elektr yuklamalarni modelashtiruvchi o'zgarishsiz qarshilik va o'tkazuvchanliklarni qanday aniqlanadi?
6. Qarshiliklarni ketma ket va parallel ulanganida rejimlar bir xilmi?
7. elektr tarmoqlar tushunchasini ta'riflang. Elektr tarmoqlarning vazifasini ayting?
8. Elektr energiyasini uzatish qurilmasining barqaror rejimlarini hisobi va tahlilining vazifasini ayting.
11. Barqaror rejimning matematik ifodasining noxiziqililigidining sababi nimada?
12. Barqaror rejimning hisobining elektr tarmoqning an'anaviy klassik hisoblashdan qanday farqi bor?
13. Qanday sharoitlarda uch fazali elektr tarmoqning barqaror rejimi simmetrik bo'ladi?
14. Uch fazali elektr tarmoqning quvvati ifodasini yozing, elektr qurilmaning aktiv va reaktiv quvvati qanday hisoblanadi?
15. Yuklama fazasi tokini faza va liniya kuchlanishi orqali ifodalang?
16. Barqaror rejim parametrlari hisobining qo'lda bajarilishining ahamiyati, zaruratini ayting?
17. Uch fazali tarmoq qanday hisobga olinadi va uning barqaror simmetrik rejimlari hisobida elektr holatining kanday parametrlari tahlil qilinadi?
18. Kuchlanishning pasayishi bilan kuchlanishning isrofi (yo'qolishi) orasida qanday farq bor?
19. Uch fazali tarmoqning elektr rejimlari parametrlarining bog'liqligini xarakterlovchi ifodalarni yozing.
20. Kuchlanishning pasayishi va uning tashkil etuvchilarining tok va quvvat orqali ifodalang. Elektr tarmoqlar uchastkasi uchun Om qonunining turli ko'rinishlarini yozing.
21. Kuchlanish pasayishi vektorining tashkil etuvchilarining geometrik (vektor) bog'liqligi qanday?
22. Zveno boshi va oxiridagi kuchlanish vektor diagrammalari bir biridan qanday farq qiladi?
23. Fazalararo kuchlanishni hisoblashda qanday cheklanishlar qabul qilinadi?

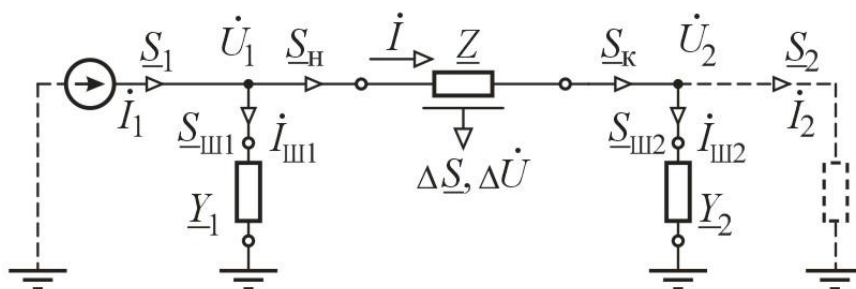
24. Elektr uzatkichning oxirlaridagi quvvat va kuchlanishlarni elektr rejimning qanday parametrlari bog'lab turadi?
25. Zveno tokining ifodasi uning boshi (uzatuvchi) va (qabul qiluvchi) oxiridagi ma'lumotlari bo'yicha qanday yoziladi?
26. Qanday holatda zveno toki aniq topiladi?

7.6. ELEKTR UZATISH LINIYASI REJIMLARINING HISOBI

7.6.1. Elektr uzatish liniyasining boshidagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblash. Elektr tarmoq zvenosi uchun o'tgan bobda ko'rib chiqilgan algoritim va ifodalar ko'rinishdagi bog'lanishlardan foydalanib, elektr uzatkichning turg'un rejimlarining parametrlarini aniqlaymiz. Avvagilardan farq qilib, elektr uzatish liniyasi (EUL), umumiy holda kompleks o'tkazuvchanlikli (shuntlardan iborat) ko'ndalang elementlari bo'lgan «Π» shaklli almashinish sxemasi ko'rinishda tasvirlangan, (7.6.1 - rasm):

$$Y_{-1} = Y_{-2} = \frac{1}{2}Y_- = \frac{1}{2}(G + jB) = G_1 + jB_1 = G_2 + jB_2 .$$

Ifoda aktiv – sig’im o’tkazuvchanlikli tarmoqqa tegishli bo’ladi, agar tarmoq aktiv-induktiv xarakterli bo’lsa, reaktiv o’tkazuvchanlik oldiga minus ishoraga almashtirib qo’yiladi.



7.6.1-rasm. EULning elektr holatining parametrlarini belgilovchi almashinish sxemasi

7.6.1 – rasmni tahlil uchun qabul qilib, almashinish sxemasidagi belgilanishlarda, birdaniga tok va quvvatlar algoritmlarini tasvirlab borgan holda hisoblashlarning xarakterli holatlarini ko’rib chiqamiz.

Manbaning kuchlanishi $U_1 = \text{const}$ va quvvati $S_1 = \text{const}$ berilgan.

Manbaa kuchlanishi U_1 ma’lum bo’lgan xolida uning tokini quyidagi ifoda bilan hisoblaymiz:

$$I_1 = \frac{S_1^*}{\sqrt{3}U_1} = \frac{P_1 - jQ_1}{\sqrt{3}U_1} = I_{a1} - jI_{p1}$$

Liniya boshidagi shunt toki va quvvati quyidagicha bo’ladi:

$$I_{sh1} = \frac{1}{\sqrt{3}}U_1 Y_{-1} = \frac{1}{\sqrt{3}}U_1 \cdot (G_1 + jB_1) = I_{kor1} + jI_{c1}, \quad (7.6.1)$$

$$S_{sh1} = \sqrt{3}U_1 I_{1sh}^* = U_1^2 Y_1^* = U_1^2 (G_1 - jB_1) = \Delta P_{kor1} + jQ_{s1} \quad (7.6.2)$$

U holda Kirxgoffning birinchi qonuniga mos ravishda liniya boshidagi quvvat uchun:

$$S_{-n} = S_{-1} - S_{sh1} = P_1 + jQ_1 - P_{k1} + jQ_{s1} = P_1 - \Delta P_{kor1} + j(Q_1 + Q_{c1}) = P_n + jQ_n \quad (7.6.3)$$

Umumiy holda manbaa tomonidan (ortiqcha qo’zg’atilgan sinxron generator) reaktiv quvvatni chiqarib berilishi ko’rib chiqiladi. Agar manbaa reaktiv quvvatni iste’mol qilayotgan bo’lsa, ifodadagi reaktiv quvvatni oldidagi ishora minusga o’zgaradi. Xuddi shunga o’xshash tok kattaligi aniqlanadi:

$$I' = I_1' - I_{sh1}' = I_{a1} - I_{kor1} - j(I_{r1} + I_{s1}) = I_a - jI_r, \quad (7.6.4)$$

Xuddi shunday zveno boshidagi tok kattaligi aniqlanadi:

$$I^* = \frac{S_n^*}{\sqrt{3}U_1} = \frac{P_k - jQ_k}{\sqrt{3}U_1} = I_a - jI_r \quad (7.6.5)$$

Zvenolarning tok bo'yicha yuklamalari yoki zveno boshidagi quvvat oqimlari aniqlangach kuchlanishning pasayishi va quvvat isroflari kattaliklari hisoblanishi mumkin. Om qonuniga binoan yozishimiz mumkin:

$$\Delta U_1' = \sqrt{3}I' Z_- = \frac{S_n^*}{U_1} Z_- = \Delta U_1' + j\delta U_1''$$

Djouль – Lents qonuniga ko'ra yozishimiz mumkin:

$$\Delta S_- = 3I'^2 Z_- = \frac{S_n^2}{U_1^2} Z_- = \Delta R + j\Delta Q$$

Uholda liniya oxiridagi kuchlanish quyidagicha bo'ladi:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_1' = U_1 - \Delta U_1' - j\delta U_1'' = U_2 \angle -\delta$$

va quvvat oqimi

$$S_k = S_n - \Delta S_- = P_n + jQ_n - \Delta P - j\Delta Q,$$

natijada bo'ylama zvenoning oxiridagi ma'lumotlar bo'yicha liniya tokini hisoblaymiz:

$$I' = \frac{S_k^*}{\sqrt{3}U_2^*} = \frac{P_k - jQ_k}{\sqrt{3}(U_2' + jU_2'')} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[\frac{P_k U_2' - Q_k U_2''}{U_2^2} - j \frac{Q_k U_2' - P_k U_2''}{U_2^2} \right] = I_a - jI_p \quad (7.6.6)$$

Spuni ta'kidlash joizki, (11.5) va (11.6) ifodalar bilan olingan natijalar bir xil bo'ladi. Endi liniya oxiridagi shunt quvvatini quyidagicha hisoblaymiz:

$$S_{sh} = U_2^2 Y_2^* = U_2^2 (G - jB) = \Delta P_{kor2} - jQ_{c2}$$

SHunt tomonidan iste'mol qilinayotgan tok quyidagicha hisoblanadi:

$$\begin{aligned} I_{sh2} &= \frac{1}{\sqrt{3}} U_2^* Y_{-2} = \frac{1}{\sqrt{3}} (U_2' - jU_2'')(G_2 + jB_2) = \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} ((U_2' G_2 + U_2'' B_2) + j(U_2' B_2 - U_2'' G_2)) = I_{kor2} + jI_{s2}. \end{aligned} \quad (7.6.7)$$

Spuni ko'rsatish lozimki, $B_2 \gg G_2$ va $U_2' > U_2''$, bo'lganligi uchun shunt toki aktiv-sig'miy xaraktyerga ega bo'ladi. Elektr uzatish tarmog'i oxiridagi balans tenglamasidan elektr iste'molchisining quvvatini (qabul qiluvchi sistemaga yetkazib berilayotgan) quyidagicha hisoblaymiz:

$$S_2 = S_k - S_{sh2} = P_k + jQ_k - \Delta P_{kor2} + jQ_{c2}$$

$$= P_k - \Delta P_{kor2} + j(Q_k + Q_{s2}) = P_2 + jQ_2 \quad (7.6.8)$$

va iste'molchi tokining kattaligi uchun yozishimiz mumkin:

$$I_2' = I_2'' = I' - I'_{sh2} = I_a - jI_r - I_{kor2} - jI_{c2} = I_a - I_{kor2} - j(I_p + I_c) = I_{a2} - jI_{r2} \quad (11.9)$$

yoki quvvat va kuchlanishlar orqali quyidagicha yozamiz:

$$I_2 = \frac{S_2^*}{\sqrt{3}U_2^*} = \frac{P_2 - jQ_2}{\sqrt{3}(U_2' + jU_2'')} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[\frac{P_2 U_2' - Q_2 U_2''}{U_2^2} - j \frac{Q_2 U_2' - P_2 U_2''}{U_2^2} \right] = I_{a2} - jI_{r2}$$

Shu bilan elektr rejim parametrlarini aniqlashning aniq protsedurasini amalga oshiruvchi hisoblar yakunlanadi.

7.6.2. Elektr uzatish liniyasining oxiridagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblash. Kuchlanish $U_2 = \text{const}$ va quvvat $S_2 = \text{const}$ kattaliklari berilgan. Avvalgi holdagidek, liniyaning bir tomonidagi kuchlanish va quvvat kattaliklari ma'lum bo'lsin, bunday holat uchastka elektr holatining ko'rsatkichlarini to'g'ridan to'g'ri aniq hisoblash imkonini beradi. Avvalgi holdagidan farqli ravishda hisoblar uchastka oxiridan boshiga qarab bajariladi (7.6.1-rasm). Uchastka oxiridagi kuchlanish U_2 ma'lum bo'lganida elektr iste'molchi tokini quyidagi ifoda bilan hisoblaymiz:

$$I_2 = \frac{S_2}{\sqrt{3}U_2} = \frac{1}{\sqrt{3}} (P_2 - jQ_2) = I_{a2} - jI_{r2},$$

Liniya oxirida shunt toki quyidagicha bo'ladi:

$$I_{sh2} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_2 Y_{-2} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_2 (G_2 + jB_2) = I_{kor2} + jI_{s2},$$

Shunt (o'tkazuvchanlik) tomonidan iste'mol qilinayotgan quvvat kattaligi quyidagicha hisoblanadi:

$$S_{sh2}^* = U_2^2 Y_2^* = U_2^2 (G_2 - jB_2) = \Delta P_{kor2} - jQ_{s2}$$

2- uzal uchun balans tenglamasidan liniyaning bo'ylama zvenosining oxiridagi quvvat kattaligini quyidagi ifoda bilan hisoblaymiz:

$$S_{-12} = S_{-2} - S_{sh2} = P_2 + jQ_2 + \Delta P_{kor2} - jQ_{s2} = P_2 + \Delta P_{kor2} + j(Q_2 - Q_2) \quad (7.6.10)$$

Zvenoning toki esa quyidagicha hisoblanadi:

$$I' = I_2' + I_{sh2}' = I_{a2} - jI_{r2} + I_{kor2} + jI_{c2} = I_{a2} + \Delta P_{kor2} - j(I_{r2} - I_{c2}) = I_a - jI_r. \quad (7.6.11)$$

Shu zvenoning tokini yana quyidagi ko'rinishda olishimiz mumkin

$$I' = \frac{S_k^*}{\sqrt{3}U_2} = \frac{1}{\sqrt{3}U_2} (P_k - jQ_k) = I_a - jI_r \quad (7.6.12)$$

Xisoblab topilgan yuklamalar kuchlanishning pasayishiga olib keladi:

$$\Delta U_2 = \sqrt{3}I Z_- = \frac{S_k^*}{U_2} Z_-$$

Quvvat isroflari esa quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\Delta S_- = 3I^2 Z_- = \frac{S_k^2}{U_2^2} Z_-$$

(9.16) ili (9.19) ifodalardan foydalanib, S_2 quvvatlarni S_k ga almashtirib, uzal kuchlanishlarini quyidagicha hisoblaymiz:

$$U_1' = U_2 + \Delta U_2 = U_1 \angle \delta_1,$$

Zveno boshidagi quvvat esa (7.25) ifodaga ko'ra quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$S_{-n} = S_{-k} + \Delta S_-.$$

Endi uchasta boshidagi parametrlar bo'yicha liniyaning bo'ylama zvenosi tokini aniqlashimiz mumkin:

$$I' = \frac{S_n^*}{\sqrt{3}U_2^2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{P_n - jQ_n}{U_2' - jU_2''} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{P_n U_2' + Q_n U_2''}{U_2'^2} - j \frac{Q_n U_2' + P_n U_2''}{U_2'^2} \right) = I_a - jI_r \quad (7.6.13)$$

Olingan natija zveno oxiridagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblarda olingan tok kattaligiga teng bo'ladi. Sxema boshidagi parametrlarni: tok, quvvat va tarmoq o'tkazuvchanligi, kuchlanish U_1 bo'yicha quyidagicha hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} I_{sh1}' &= \frac{1}{\sqrt{3}} U_1' Y_{-1} = \frac{1}{\sqrt{3}} (U_1' + jU_2'')(G_1 + jB_1) = \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} ((U_1' G_1 - U_2'' B_1) + j(U_1' B_1 - U_2'' G_1)) = I_{kor2} + jI_{s1} \\ S_{sh1} &= U_1'^2 Y_1^* = U_1'^2 (G_1 - jB_1) = \Delta P_{kor1} - jQ_{s1} \end{aligned}$$

Kirxgofning birinchi qonuniga muvofiq yana tok manbasi berayotgan quvvat kattaligini hisoblaymiz:

$$S_{-1} = S_{-n} + S_{sh1} = P_n + jQ_n + \Delta P_{kor1} - jQ_{s1} = P_n + \Delta P_{kor1} + j(Q_n - Q_{s1}) = P_1 + jQ_1$$

Manbaning tok kattaligi quyidagicha bo'ladi:

$$I_1' = I' + I_{sh1}' = I_a + jI_r + I_{kor1} + jI_{c1} = I_a + I_{kor1} - j(I_r - I_{s1}) = I_{a1} - jI_{p1}.$$

Shu tok kattaligini yana quyidagi qo'rinishda aniqlaymiz:

$$I_1^* = \frac{S_1^*}{\sqrt{3}U_1^*} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{P_1 - jQ_1}{U_1' - U_2''} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{P_1 U_1' + Q_1 U_1''}{U_1^2} - j \frac{Q_1 U_1' + P_1 U_1''}{U_1^2} \right) = I_{a1} - jI_{p1}$$

7.6.3. Elektr uzatish liniyasi rejimining liniya boshidagi kuchlanish va yuklama quvvati ma'lum bo'lganidagi hisobi. Elektr uzatish liniyasi boshidagi kuchlanish $U_1 = \text{const}$ va yuklama quvvati $S_2 = \text{const}$ ma'lum bo'lgan holati uchun liniya rejimlarini hisoblashni ko'rib chiqamiz (7.6.1-rasm). Bu eng umumiy holat bo'ladi. Uchastka parametrlarining hisoblari iteratsiya (ketma-ket yaqinlashish) usuli bilan ikki bosqichda, quyidagi ketma-ketlikda bajariladi. Avval liniya oxiridagi kuchlanish U_2^0 kattaligini, masalan nominal kutilayotgan kattaligini belgilaymiz. U holda taxminan yuklama tokini quyidagicha hisoblaymiz:

$$I_2^{(1)} = \frac{S_2^*}{\sqrt{3}U_2^{(0)}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{P_2 - jQ_2}{U_2^{(0)}} = I_{a2}^{(1)} - jI_{p2}^{(1)} \quad (7.6.14)$$

O'tkazuvchanlik tarmog'ining toki (shunt toki) quyidagi ifoda bilan hisoblanadi:

$$I_{sh2}^{(1)} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_2^{(0)} \cdot Y_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} U_2^{(0)} \cdot (G_2 + jB_2) = I_{kor2}^{(1)} + jI_{s2}^{(1)} \quad (7.6.15)$$

O'tkazuvchanlik tarmog'ining liniya oxiridagi quvvati quyidagi ifoda bilan hisoblanadi:

$$S_{sh2}^{(1)} = (U_2^{(0)})^2 Y_2^* = (U_2^{(0)})^2 (G_2 - jB_2) = \Delta P_{kor2}^{(1)} - jQ_{s2}^{(1)} \quad (7.6.16)$$

Ikkinchi uzeldagi balans tenglamalardan liniya oxiridagi quvvatni quyidagicha aniqlaymiz:

$$S_{-k}^{(1)} = S_{-2} + S_{sh2}^{(1)} = P_2 + jQ_2 + \Delta P_{kor2}^{(1)} - jQ_{s2}^{(1)} = P_2 + \Delta P_{kor2}^{(1)} \quad j(Q_2 - Q_{s2}^{(1)}) = P_k^{(1)} + jQ_k^{(1)} \quad (7.6.17)$$

Liniya toki:

$$I^{(1)} = I_2^{(1)} + I_{sh1}^{(1)} = I_{a2}^{(1)} - jI_{p2}^{(1)} + I_{kor2}^{(1)} + I_{c2}^{(1)} = I_{a2}^{(1)} + I_{kor2}^{(1)} - j(I_{p2}^{(1)} - I_{c2}^{(1)}) = I_a^{(1)} - jI_p^{(1)} \quad (7.6.18)$$

Liniya tokini yana quyidagi ko'rinishda ham aniqlashimiz mumkin:

$$I^{(1)} = \frac{S_k^{*(1)}}{\sqrt{3}U_2^{(0)}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{P_k^{(1)} - jQ_k^{(1)}}{U_2^{(0)}} = I_a^{(1)} - jI_p^{(1)} \quad (7.6.19)$$

Liniya qarshiliklaridagi quvvat isroflarini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\Delta S_{-}^{(1)} = 3(I^{(1)})^2 \cdot Z_{-} = \left(\frac{S_k^{(1)}}{U_2^{(0)}} \right)^2 \cdot Z_{-} = \Delta P^{(1)} + j\Delta Q^{(1)} \quad (7.6.20)$$

U holda liniya boshidagi quvvat kattaligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$S_n^{(1)} = S_k^{(1)} + \Delta S_{-k}^{(1)} = P_n^{(1)} + jQ_n^{(1)} \quad (7.6.21)$$

Berilgan kuchlanish kattaligini hisobga olib, bo'ylama zvenoning tok kattaligiga quyidagi ko'rinishda (7.6.19) aniqlik kiritishimiz mumkin:

$$I^{(1)} = \frac{S_n^{(1)}}{\sqrt{3}U_1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{P_n^{(1)} - jQ_n^{(1)}}{U_1} = I_a^{(1)} - jI_p^{(1)} \quad (7.6.22)$$

Kuchlanish kattaligi ma'lum bo'lsa, liniya boshidagi ko'ndalang zanjir (shunt) tokining kattaligini quyidagicha hisoblaymiz:

$$I_{sh1} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_1 Y_{-1} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_1 (G_1 + jB_1) = I_{kor1} + jI_{s1} \quad (7.6.23)$$

Shunt zanjirining quvvati kattaligini quyidagicha hisoblaymiz:

$$S_{sh} = U_1^2 Y_1^* = U_1^2 (G_1 - jB_1) = \Delta P_{kor1} - jQ_{s1} \quad (7.6.24)$$

1-uzel uchun Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha quvvatlar balans tenglamasidan generatsiya bo'layotgan manbaning quvvatini quyidagicha hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} S_{-1}^{(1)} &= S_{-n}^{(1)} + S_{-sh}^{(1)} = P_n^{(1)} + jQ_n^{(1)} + \Delta P_{kor1} - jQ_{s1} = \\ &= P_n^{(1)} + \Delta P_{kor1} + j(Q_n^{(1)} - Q_{s1}) = P_1^{(1)} + jQ_1^{(1)}, \end{aligned} \quad (7.6.25)$$

Tok manbasining tok kattaligini quyidagicha hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} I_1^{*(1)} &= I^{(1)} + I_{sh1} = I_a^{(1)} - jI_p^{(1)} + I_{kor1} + jI_{s1} = \\ &= I_a^{(1)} + I_{kor1} - j(I_p^{(1)} - I_{s1}) = I_{a1}^{(1)} - jI_{r1}^{(1)}, \end{aligned} \quad (7.6.26)$$

manbaning tok kattaligini yana quyidagi ko'rinishda hisoblaymiz:

$$I_1^{*(1)} = \frac{S_1^{*(1)}}{\sqrt{3}U_1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{P_1^{(1)} - jQ_1^{(1)}}{U_1} = I_{a1}^{(1)} - jI_{r1}^{(1)} \quad (7.6.27)$$

Shu bilan elektr tarmoq parametrlarini hisoblash algoritmining birinchi bosqichi (to'g'ridan to'g'ri yurish) yakunlanadi. Uchastka parametrlarini hisoblash algoritmining ikkinchi bosqichida (teskari yurish) liniya oxiridagi kuchlanish kattaligiga aniqlik kiritiladi (10.33):

$$U_2^{(1)} = U_1 - \Delta U_1^{(1)} = U_1 - \Delta U_1'^{(1)} - j\delta U_1''^{(1)}, \quad (7.6.28)$$

Liniya boshidagi tok $I^{(1)}$ (7.6.22) yoki quvvatlarning $S_{-n}^{(1)}$ (7.6.21) birinchi yaqinlashishida kuchlanish pasayishi vektorining tashkil etuvchilari (7.6.35)

formula yordamida hisoblanadi. Shu bilan barqaror rejimning birinchi yaqinlashuvi hisobi yakuniga etadi. Liniya oxirida kuchlanishning aniqlik kiritilgan kattaligini $U_2^{(1)}$ olib, barcha hisoblarni to'liq bajaramiz, hisobarni (7.6.22) formula bilan bajaramiz, lekin mos ifodalardagi kuchlanish $U_2^{(0)}$ o'rniga aniqlik kiritilgan kuchlanish kattaligi $U_2^{(1)}$ qo'yiladi va kuchlanishning liniya oxiridagi yangi qiymatini $U_2^{(2)}$ aniqlaymiz. Hisoblashlar amaliyoti (protsedurasi) (7.91) dagi me'zon bo'yicha kuchlanishning aniq kattaligiga U_2 erishilguncha takrorlab boriladi. Ya'ni hisoblar, agar kuchlanish $U_2^{(k)}$ keyingi k – hisobda avvalgi $(k - 1)$ - hisobdagi kuchlanishga $U_2^{(k-1)}$ nisbatan xatoligi yetarli miqdorda kam bo'lib, ruxsat etilgan darajaga yetsa to'xtatiladi. Lekin ko'pchilik elektr tarmoqlar hisoblarida (ayniqsa yuklama me'yoridan pastroq bo'lganida) ikkinchi yoki uchinchi iteratsiyada (yaqinlashishda) olingan natijalar bilan chegaralanish mumkin. k -iteratsiyadan keyingi kuchlanishning yakuniy kattaligiga $U_2^{(k)}$ rejim parametrlari (7.6.25), (7.6.26), (7.6.27) mos keladi va ularning qiymatlarini $(k - 1)$ -chi iteratsiyada hisoblamaslik mumkin. Ular elektr tarmoqning rejim parametrlariga va iteratsiya jarayonining kyetishiga $U_n^{(k-1)}$ va $I_{n(k-1)}$ ta'sir ko'rsatmaydi.

Elektr uzatish liniyasining rejimlarini hisoblashning xarakterli vaziyatlarini tahlil qilib xulosa qilishimiz mumkinki, hisoblash amaliyotini to elektr tarmoq oxiridagi kuchlanish kattaligiga (10.36) me'zon bo'yicha yetarli aniqlik kiritilmaguncha davom ettiriladi, ya'ni oxirgi – hisoblarda olingan liniya oxiridagi kuchlanish $U_2^{(k)}$ $(k - 1)$ – hisobda olingan $U_2^{(k-1)}$ kuchlanishga yetarli darajada yaqinlashganida to'xtatiladi. Elektr uzatish liniyasining rejimlarini hisoblashning xarakterli vaziyatlarini tahlil qilib, quyidagilarga ega bo'lamiz. EUL ning foydali ish koeffitsienti (f.i.k.) foizlarda quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} \eta = \frac{R_2}{R_1} \cdot 100\% &= \frac{R_1 - \Delta R - \Delta R_{k1} - \Delta R_{k2}}{R_1} \cdot 100\% = \frac{R_1 - \Delta R_{\text{summa}}}{R_1} \cdot 100\% \\ &= \left(1 - \frac{\Delta R_{\text{summa}}}{R_1} \right) \cdot 100\% \end{aligned} \quad (7.6.29)$$

Demak, liniyaning foydali ish koeffitsienti yuklama va salt ishlash rejimlariga bog'liq bo'lib, ularning ortishida kamayadi. Balans tenglamalaridan ko'rinadiki, qarshiliklardagi quvvat isroflari (yuklama isroflari), toj razryadi isroflari (salt ishlash isroflari) bilan birgalikda, liniya oxiridagi iste'molchilarga kelayotgan aktiv quvvat kattaligini kamaytiradi, zaryad quvvati esa tarmoqqa tushayotgan reaktiv quvvatni oshiradi. Bu yerda liniyaga ulangan iste'molchilarning reaktiv quvvati, qisman, elektr uzatish liniyasining o'tkazgich simlari sig'imi tomonidan ishlab chiqarilayotgan reaktiv quvvat hisobiga qoplanadi.

7.6.4. Elektr uzatish liniyasi salt ishlash rejimining tahlili.

Elektr uzatkichning (EUL) salt ishlash rejimi liniyani manbaga nominal kuchlanishga ulanib, iste'molchi hali ulanmagan holda yuzaga keladi. Bunday holat elektr uzatish liniyasini montajidan keyin tarmoqqa ulanganida, hamda elektr sistemalarni bir biriga tutashtiruvchi liniyalar vositasida ulab, sinxronizatsiyaga kiritish davrida (parallel ishga ulanishida) yuzaga keladi.

Salt ishlash rejimi elektr uzatish liniyasining ishchi rejimining xususiy holati bo'ladi, lekin bu rejimni 220 kVli va undan yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlar uchun o'ziga xos amaliy ahamiyatli xususiyatlari bo'lganligidan ajratib alohida ko'rib chiqiladi. Ko'rib o'tilgan liniyani hisoblash algoritmidan foydalanamiz, bunda «» -shaklli almashinish sxemasi uchun tahlilda aktiv o'tkazuvchanlikni hisobga olmaymiz, ya'ni, liniyada toj razryadiga quvvat isroflari yo'q deb qabul qilamiz (7.6.1-rasm). Bunday cheklanishning to'g'riligi, turli nominal kuchlanishli elektr uzatish liniyasining elektr rejimlari parametrlari orasidagi xarakterli bog'lanishlariga asoslanib, o'rnatiladi. Masalan, 100 km uzunlikli VL 220 kV havo liniyasining sig'im quvvat generatsiyasi 13 MVar ni tashkil qiladi, VL 500 kV li havo liniyasi esa – 95 MVar atrofida bo'ladi, bu

liniyada toj razryadi quvvat isroflari (yaxshi ob-havo sharoitida) 0,1–0,8 MVtni tashkil qiladi.

Kabel liniyalarida zaryadlovchi quvvat izolyatsiyadagi quvvatdan ham yuqoriroq bo'ladi. Shu sababli toj razryadi isroflari elektr uzatish liniyasining elektr rejim parametrlariga ta'siri sezilarli bo'lmaydi. Lekin toj razryadi isroflari yomon ob-havo sharoitida va havo liniyalarining texnik – iqtisodiy tahlilida, xususan elektr energiyasi isroflari hisobida, hisobga olinishi zarur. Salt ishlash rejimida liniya oxorida yuklama nolga teng bo'lganidan ($S_2 = 0$), liniyaning elektr holati, liniya boshidagi kuchlanish U_1 bilan birgalikda, liniya oxiridan boshiga qarab yo'nalgan, zaryadlovchi (sig'miy) quvvat kattaligi bilan ham quyidagicha aniqlanadi:

$$S_{-sh2}^{(1)} = \left(U_2^{(0)} \right)^2 \cdot Y_2^* = \left(U_2^{(0)} \right)^2 (0 - jB_2) = -j \left(U_2^{(0)} \right)^2 \frac{B_2}{2} = -jQ_{s2}^{(1)}$$

Zaryadlovchi quvvat oqimi natijasida yuzaga keluvchi quvvat isroflari miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta S_{-}^{(1)} = \left(\frac{Q_{s2}^{(1)}}{U_2^{(0)}} \right)^2 \cdot (R + jX) = \Delta P + j \Delta Q$$

Zveno boshidagi quvvat oqimi kattaligi quyidagicha aniqlanadi:

$$S_{-n}^{(1)} = \Delta S_{-}^{(1)} + \Delta S_{-sh2}^{(1)} = \Delta P + j\Delta Q - jQ_{s2} = \Delta P + j(\Delta Q - Q_{s2}).$$

Tahlilni ko'rinishli bo'lishi uchun aktiv quvvat isroflarini hisobga olmaymiz, bunga asosiy sabab yuqori kuchlanishli liniyalarda (110 kV va undan yuqorikuchlanishlarda) reaktiv qarshilik aktiv qarshiliklardan bir necha barobar katta bo'ladi ($R \ll X$). Bunda zveno boshidagi quvvatlar oqimi uchun ifoda quyidagicha yoziladi:

$$S_{-n}^{(1)} \approx j(\Delta Q - Q_{s2}) = -jQ_n$$

Aytishimiz mumkinki, reaktiv quvvat isroflari liniya oxiridagi zaryadlovchi quvvat kattaligi bilan yaqin bo'ladi (10–15 % atrofida), lekin ba'zi bir holatlarda reaktiv quvvat isroflarini hisobga olmasligi mumkin. (7.6.28) va (10.35) ifodalardan foydalanib, zaryadlovchi quvvat yo'nalishini hisobga olib, liniya oxiridagi kuchlanish uchun quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$U_2^{(1)} = U_1 - \frac{R_n R + (-Q_n)X}{U_1} - j \frac{R_n X - (-Q_n)R}{U_1}$$

Liniya boshidagi aktiv quvvatni nol deb qabul qilinsa, ($P_n \approx 0$) liniya oxiridagi kuchlanish uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$U_2^{(1)} = U_1 + \frac{Q_n X}{U_1} - j \frac{Q_n R}{U_1} = U_1 + \Delta U_1' - j\delta U_1'' \quad (7.6.30)$$

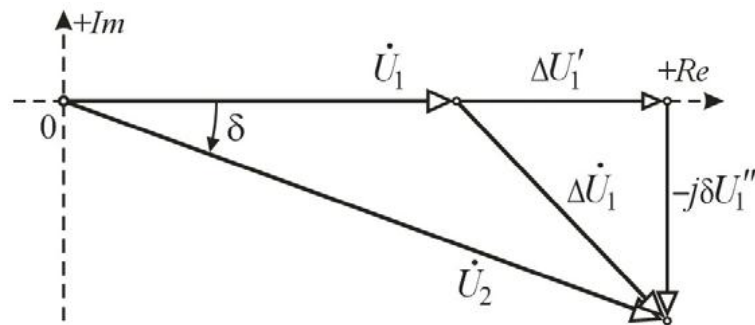
Liniya oxiridagi ma'lumotlar bo'yicha liniya boshidagi kuchlanish kattaligi aniqlanadi. Zaryadlovchi quvvat yo'nalishini hisobga olib ($P_k = 0$) liniya oxiridagi kuchlanishni quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$U_2^{(1)} = U_1 + \frac{Q_n X}{U_1} - j \frac{-(-Q_{s2})R}{U_2} = U_2 - \Delta U_2' + j\delta U_2''$$

Liniya oxiridani kuchlanish moduli uchun quyidagi ifoda to'g'ri bo'ladi:

$$U_2^{(1)} = \sqrt{(U_1 + \Delta U_1')^2 + (\delta U_1'')^2} \quad (7.6.31)$$

$X > R$ yoki $X \gg R$ munosabatlarni hisobga olib, bu yerda $\Delta U' > \delta U''$ bo'ladi. (7.6.30) ifoda bo'yicha qurilgan kuchlanishlar vektor diagrammasi 7.6.2 – rasmda keltirilgan. Undan ko'rinadiki, liniyaning salt ishlash rejimida sig'miy zaryadlovchi quvvat elektr uzatish liniyasidan oqib o'tib, liniya oxirida kuchlanishning oshishiga olib keladi.



7.6.2-rasm. EULning salt ishlash rejimidagi kuchlanishlar vektor diagrammasi

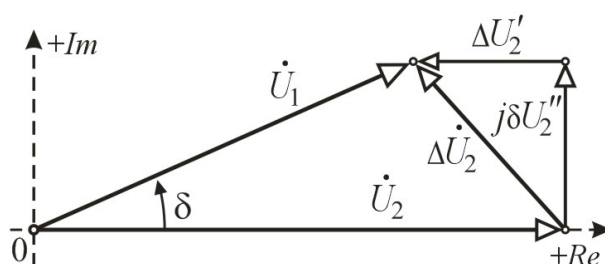
Liniya oxiridagi ma'lumotlar bo'yicha liniya boshidagi kuchlanishni topamiz. Zaryadlovchi quvvat yo'nalishini hisobga olib ($P_k = 0$) liniya oxiridagi kuchlanishni quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$U_1' = U_2 + \frac{(-Q_{s2})X}{U_2} + j \frac{-(-Q_{s2})R}{U_2} = U_2 - \Delta U_2' + j\delta U_2''$$

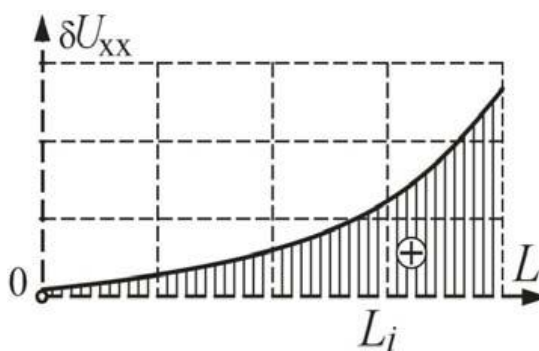
Bundan liniya boshidagi kuchlanish moduli quyidagicha aniqlanadi:

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_2')^2 + (\delta U_2'')^2}.$$

Tarmoq zvenosi kuchlanishining holatini vektor diagramma bilan tasvirlanadi (7.6.3-rasm), undan ko'ramizki, salt ishlash rejimida liniya oxiridagi kuchlanish kattaligi liniya boshidagi qiymatidan kattaroq bo'ladi, va U_1 kuchlanishdan faza jihatidan δ burchakka ortda qoladi. Yana shuni hisobga olish kerakki, U_2 kuchlanish ortganida EULning zaryadlovchi quvvati ortadi, va isroflarni kompensatsiya qiladi.



7.6.3-rasm. Salt ishlash rejimidagi kuchlanishlar vektor diagrammasi



7.6.4-rasm. Salt ishlash rejimida kuchlanishlarning EUL bo'ylab o'zgarishi

Kuchlanishning liniya oxiridagi kattaligining liniya boshidagi kattaligiga nisbatan ortishini δU_{xx} kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisiga tenglash mumkin (ruxsat etilgan xatolik bilan):

$$\delta U_{xx} \approx \Delta U' = \frac{Q_c X}{2 U_2} = \frac{U_2^2 b_0 L x_0 L}{2 U_2} = \frac{1}{2} U_2 b_0 x_0 L^2, \quad (7.6.32)$$

ya'ni tarmoq uzunligi ortishi bilan liniya oxiridagi kuchlanish kattaligi tarmoq uzunligi kvadratiga proporsional ravishda ortadi (7.6.4-rasm):

$$U_2 = U_1 + \delta U_{xx}.$$

Turli kuchlanishda salt ishlash rejimida kuchlanishning ortishi kattaligini aniqlab, baholaymiz. Uzunligi 200 km bo'lgan VL 220 kV liniya uchun quyidagiga ega bo'lamiz: $\delta U_{xx} = \frac{1}{2} \cdot 220 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot 0,42 \cdot 200^2 = 5 \text{ kV}$

Uzunligi 500 km bo'lgan VL 500 kV liniya uchun esa quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\delta U_{xx} = \frac{1}{2} \cdot 500 \cdot 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,29 \cdot 500^2 = 62 \text{ kV}$$

Ikkinchi yaqinlashish bilan chegaralanib, δU_{xx} kattalikga quyidagicha aniqlik kiritilishi mumkin:

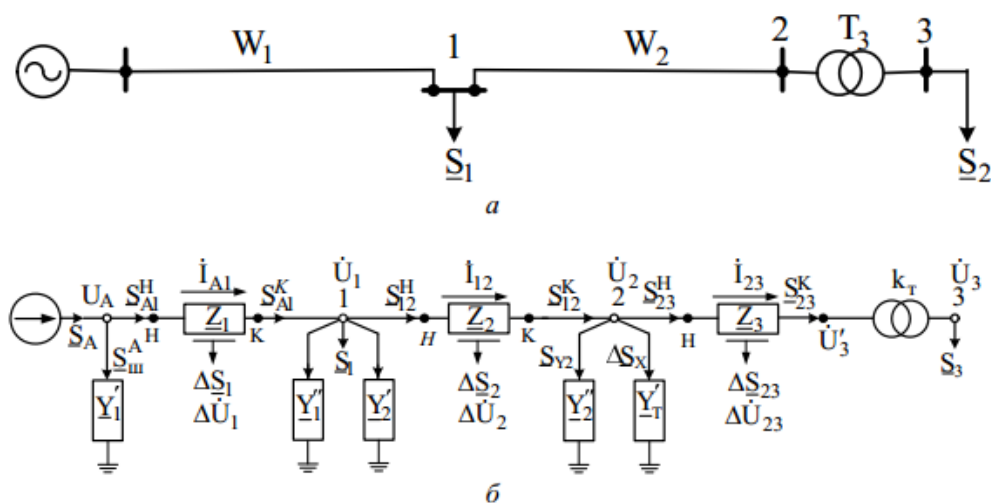
$$\delta U_{xx} = \frac{1}{2} \cdot 562 \cdot 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,29 \cdot 500^2 = 73 \text{ kV}$$

$$U_2 = 500 + 73 = 573 \text{ kV},$$

Bu kuchlanish kattaligi liniya elementlari izolyatsiyasining elektr mustahkamligi chegaraviy kattaligidan (525 kV) yuqoriroq ekan. Yakuniy xulosa sifatida ta'kidlashimiz joizki, olisga tortilgan, kuchlanishi 220 kV va undan yuqori bo'lgan elektr uzatish liniyalarning salt ishlash rejimida liniya oxirida kuchlanish kattaligi liniya va elektr qurilmalar izolyatsiyasi hisoblangan chegaralardan ortib kyetishi mumkin. Kabel liniyalari havo liniyalariga nisbatan ancha kattaroq solishtirma sig'im generatsiyasiga ega bo'ladi. Lekin kabel liniyalari olis masofaga tortilmasligini hisobga olsak, ularning oxirida kuchlanishning me'yoridan ortiq miqdorda ortib kyetishi kuzatilmaydi deb xulosa qilishimiz mumkin bo'ladi.

7.6.5. Ochiq elektr tarmoqlarning turg'un rejimlarini hisoblash. Elektr uzatish liniyasining oxiridagi kuchlanish va uzellardagi yuklamalar ma'lum bo'lganida ochiq elektr uzatish liniyasi rejimlarining hisobi. Ochiq elektr tarmoqlarning turg'un rejimlarini hisoblash ketma-ketligini 7.6.5-rasmda keltirilgan, uchta uchastkaga (ikki EUL va transformatorli) ega bo'lgan, ikki uzeligga iste'molchilar ulangan elektr tarmoq hisobi misolida ko'rib chiqamiz. Bu

yerda ko'rib chiqilayotgan printsipl har qanday o'lchamli va strukturali ochiq elektr tarmoq uchun qabul qilinishi mumkin.



7.6.5-rasm. Ikki yuklamali uchta uchastkali ochiq elektr tarmoq:

a – printsiplial (hisobiy) sxema; *b* – o'rni olish sxemasi.

Hisoblarni umumlashtirish uchun elektr tarmoq uchastkalari kompleks bo'ylama qarshiliklar ko'rinishida Z va ko'ndalang o'tkazuvchanlik Y ko'rinishida tasvirlangan, transformatorli zanjirda esa yana transformatsiya (transformatsiyalash koeffitsienti k_t bo'lgan ideal transformator bilan) hisobga olinishi kerak bo'ladi. Elektr tarmoqlarning bunday ko'rinishda tasvirlangan almashinish sxemasi ta'minlovchi (rayon) va sistema yasovchi tarmoqlarning rejimlarini hisoblash uchun qabul qilinishi mumkin. Uzillardagi yuklamalar kattaligi o'zgarishsiz bo'lgan quvvatlar ko'rinishida ko'rsatilgan. Almashinish sxemasida sxema parametrlari (Z , Y , k) bilan birgalikda, berilgan va hisoblab topilayotgan elektr rejim parametrlari (S , ΔS , ΔU , I) ham ko'rsatilgan. Ikki xarakterli hisobiy vaziyatni ko'rib chiqamiz: tarmoq oxiridagi uzel uchun berilgan kuchlanish bo'yicha (tarmoq oxiridagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblash) hisoblash U_z va elektr tarmoq boshida, manbaa kuchlanishi berilgan bo'lganida hisoblash (tarmoq boshidagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblash).

7.6.5.1. Tarmoq oxiridagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblash. Dastlabki tayanch ma'lumot sifatida elektr tarmoq oxiridagi kuchlanish U_3 va uzellardagi yuklamalar kattaliklari S_{-1} va S_{-3} olinadi. Bunday vaziyatda manbadan eng olisda joylashgan uzeldagi tok kattaligini quyidagicha hisoblaymiz:

$$I_z^{nn} = \frac{S_z^*}{\sqrt{3}U_3} = I_{3a} - jI_{3p}$$

Olingan natijalar ketma-ket bajariladigan bir tipli hisoblar seriyasi natijasida elektr rejim parametrlarini ishonchli aniqlash imkonini beradi. Hisoblashlarni bir bosqichda bir uchastkadan ikkinchisiga o'tib, elektr tarmoqning oxiridan (3-nuqtadan boshlab) boshiga tomon siljib (A tok manbasigacha) bajariladi. Bu yerda kuchlanishning pasayishi, har bir uchastkadagi quvvat isroflari, va ular orqali yaqin atrofdagi uzal kuchlanishi va uchastkadagi quvvatlar oqimi aniqlanadi. 3-uzeldagi kuchlanish U_3 va transformatsiyalash koeffitsienti $k_t = \frac{U_{nn}}{U_{nn}}$ ma'lum bo'lganida yuqori kuchlanish chulg'amiga keltirilgan yuklama toki va kuchlanish kattaligini quyidagicha hisoblaymiz:

$$I_3 = \frac{I_{3nn}}{k_t}, \quad U_3 = U_3^{nn} k_t,$$

quvvat kattaligi esa transformatsiya oldida va undan keyin bir xilda bo'lib qoladi, ya'ni: $S_{23}^k = S_{-3}$ bo'ladi.

Chulg'am qarshiligi Z_{-3} bo'lgan transformator chulg'amlaridagi kuchlanishning pasayishi, yuklama xarakteri berilgan holatda ($\cos\varphi$ yuklama toki I_3) quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta U'_{f23} = I_3 Z_{-3} = (I_{3a} - jI_{3p})(R_{-3} + jX_{-3}) = (I_{3a} R_{-3} + I_{3p} X_{-3}) + j(I_{3a} X_{-3} - I_{3p} R_{-3}) = \\ = \Delta U'_{f23} + j\delta U''_{f23}$$

Liniya kuchlanishlari orqali ifodalansa quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta U'_{23} = \sqrt{3} [(I_{3a} R_{-3} + I_{3p} X_{-3}) + j(I_{3a} X_{-3} - I_{3p} R_{-3})] = \Delta U'_{23} + j\delta U''_{23} \quad (7.6.33)$$

Agar 3-uzel tokini C va uning tashkil etuvchilarini yuklama quvvati S_2 orqali ifodalansa, quyidagi ko'rinishdagi bog'lanishga ega bo'lamiz:

$$\Delta U'_{23} = \frac{S_2^*}{U_3^*} \cdot Z_{-3} = \frac{1}{U_3^*} ((P_3 - jQ_3)(R_{-3} + jX_{-3})) = \frac{1}{U_3^*} ((P_3 R_{-3} + Q_3 X_{-3}) + j(P_3 X_{-3} - Q_3 R_{-3})) \quad (7.6.34)$$

Odatda uchastka oxiridagi kuchlanish U_3' haqiqiy qiymatida beriladi, ya'ni agar U_3' vektorni haqiqiy o'q bilan ustma-ust tushirilsa $U_3' = U^* = U_3$ bo'ladi va, undan kelib chiqib quyidagicha yozishimiz mumkin,

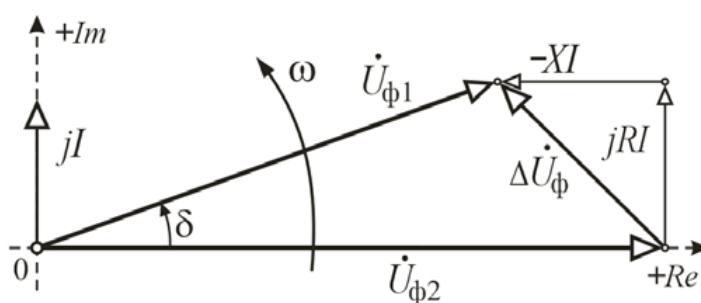
$$U_{23}' = \frac{P_3 R_3 + Q_3 X_3}{U_3} + j \frac{P_3 X_3 - Q_3 R_3}{U_3} = \Delta U_{23}' + j \delta U_{23}''$$

Tok yo'nalishini liniya boshidan oxiriga yo'nalganligini hisobga olsak quyidagiga ega bo'lamiz:

$$U_2' = U_3 + \Delta U_{23}' = U_3 + \Delta U_{23}' + j \delta U_{23}'' = U_2 \angle \delta_2. \quad (7.6.35)$$

Bu ifoda bo'yicha (11.35) 11.6-rasmda ko'rsatilgan vektor diagramma chizilgan. (7.6.35) ifoda bo'yicha 2- nuqtadagi kuchlanish moduli (kattaligi) quyidagicha aniqlanadi:

$$U_2 = \sqrt{(U_3 + \Delta U_{23}')^2 + (\delta U_{23}'')^2}.$$



7.6.6-rasm. Tarmoqning 2-3 uchastkasi uchun kuchlanish va toklar vektor diagrammasi

2-3uchastkadagi kuchlanishning faza bo'yicha siljishi kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi hisobiga yuzaga keladi, 7.6.6 –rasmdan foydalanib quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\delta_2 = \arctg \frac{\delta U_{23}''}{U_3 + \Delta U_{23}'}$$

3-uchastkadagi kuchlanish kattaligi ma'lum bo'lsa, transformatorning to'la Z_3 qarshiligidagi quvvat isrofi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta S_{-23} = 3I_3^2 Z_{-3} = \left(\frac{S_3}{U_3} \right)^2 \cdot Z_{-3},$$

Bundan kelib chiqib, mos ravishda aktiv va reaktiv quvvat isroflari quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta R_{23} = 3(I_{a3}^2 + I_{p3}^2)R_3 = \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} R_3$$

$$\Delta Q_{23} = 3(I_{a3}^2 + I_{p3}^2)X_3 = \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} X_3$$

Bundan kelib chiqib 2-3 uchastka boshidani quvvat uchun quyidagini yozamiz:

$$S_{-23}^n = P_{23}^n + jQ_{23}^n = P_3 + \Delta P_{23} + j(Q_3 + \Delta Q_{23}) .$$

Quvvat oqimi S_{-23}^n ni hisoblash bilan ochiq tarmoqning 2-3 oxirgi uchastkasining elektr rejimi hisobi yakunlanadi. Natijada keyingi bosqich hisoblari uchun kerak bo'lgan barcha parametrlar aniq bo'ladi. Bunda zveno oxiridagi kattaliklar ma'lum bo'lganida qarshiligi Z_3 ma'lum bo'lgan uchastkani elektr rejimlari hisoblarini, o'tgan bo'limlarda ko'rib chiqilgan tartibda, bajarish imkoniga ega bo'lamiz. 1-2 uchastkani (W_2 liniya) hisobi xuddi 2-3 uchastka hisoblaridagi ifodalardan foydalanib bajariladi. Bunda U_2^i vektor yana haqiqiy kattaliklar o'qi bilan ustma-ust tushiriladi va boshqa vektorlar quriladi. 1-2 uchastka quvvatini S_{-12}^k hisoblash uchun uchastka oxiridagi U_2^i kuchlanishli 2-uzelga ulangan shuntlar quvvatini (transformatorning salt ishlash isroflari va liniyaning yarmidagi quvvat isroflari W_2) quyidagicha aniqlash kerak bo'ladi:.

$$\Delta S_{-x} = U_2^2 Y_t^* = U_2^2 (G_t + jB_t) = \Delta P_x + j\Delta Q_x$$

$$S_{-y2} = U_2^2 Y_s^* = U_2^2 (G_s + jB_s) = \Delta P_{kor2} - j\Delta Q_{s2}$$

Oxirgi ifodada toj razryadi isroflari va liniya oxiridagi W_2 zaryadlovchi quvvat aniqlangan. Uholda 1-2 uchastka (W_2 liniya) oxiridagi quvvat quyidagicha aniqlanadi:

$$S_{-12}^k = S_{-23}^n + \Delta S_{-x} + \Delta S_{y2} = P_{23}^n + P_x + \Delta P_{kor2} + j(Q_{23}^n + \Delta Q_x - Q_{s2}) = P_{12}^k + jQ_{12}^k$$

(7.6.36)

2-uzeldagi kuchlanish modulini U_2 bilgan holda , kuchlanishning pasayishi kattaligini quyidagicha hisoblash mumkin:

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12}' + j\delta U_{12}'' = \frac{S_{12}^k}{U_2} \cdot Z_- = \frac{P_{12}^k R_2 + Q_{12}^k X_2}{U_2} + j \frac{P_{12}^k X_2 - Q_{12}^k R_2}{U_2}$$

va W_2 liniyadagi quvvat isrofi

$$\Delta S_{-12} = \left(\frac{S_{12}^k}{U_2} \right)^2 \cdot Z_- = \frac{(P_{12}^k)^2 + (Q_{12}^k)^2}{U_2^2} \cdot (R_2 + jX_2) = \Delta P_{12} + j\Delta Q_{12}.$$

W_2 liniya boshidagi quvvat va kuchlanish kattaligi quyidagicha aniqlanadi:

$$S_{-12}^n = S_{-12}^k + \Delta S_{-12} = P_{12}^n + jQ_{12}^n + j(Q_{12}^n + \Delta Q_{12}),$$

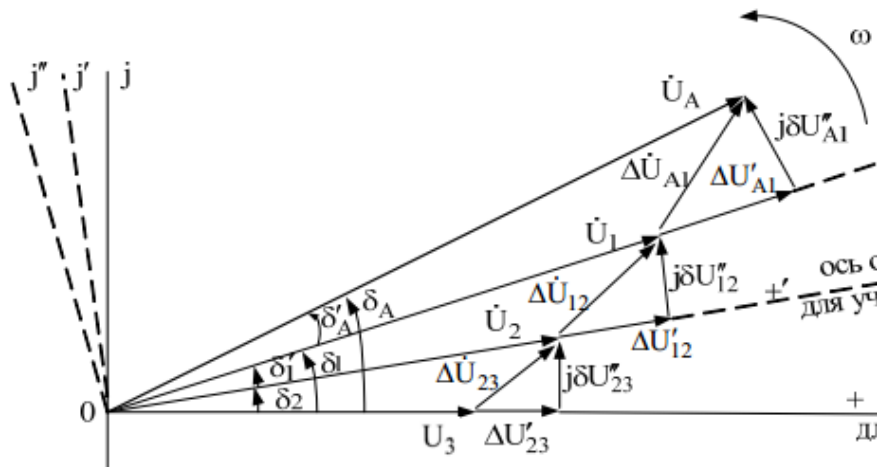
$$U_1' = U_2 + \Delta U_{12}' + j\delta U_{12}'' = U_1 \angle \delta'$$

U_1' kuchlanish modulining hisobi U_2' kuchlanish modulining hisobiga o'xshash ravishda quyidagicha bajariladi:

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

U_1' va U_2' kuchlanishlarning bir biriga nisbatan fazalar siljish burchagi δ (7.6.7-rasm) quyidagicha aniqlanadi:

$$\delta_1' = \arctg \frac{\delta U_{12}''}{U_2 + \Delta U_{12}'}$$



7.6.7-rasm. Uch uchastkali tarmoq uchun kuchlanishlar vektor diagrammasi

Lekin U_2' vektor yo'nalishining haqiqiy o'q bilan ustma-ust tushganligini hisobga olib, U_1' vektor va U_3' vektorlarning orasidagi burchak δ_2 va δ_1' uchtom burchaklar yig'indisi ko'rinishida aniqlanadi: $(\delta_1 = \delta_2 + \delta_1')$. SHu tarmoqning bosh uchastkasi uchun hisoblar shunga o'xshash bajariladi. Manbaa kuchlanishi bo'lgan U_A' kuchlanish, kattaligi va yo'nalishi (fazasi) bo'yicha U_1' kuchlanish vektoridan farq qiladi. Ko'rib chiqilayotgan kuchlanishlar hisobida tarmoqning har bir uchastkasi oxiri uchun olingan kuchlanishlar haqiqiy

o'q bilan solishtiriladi. A-1 (bosh) uchastka uchun hisob olinish o'qi faza bo'yicha 1-2 uchastkaning hisob olinish o'qiga nisbatan δ_1' burchakka siljiydi. Bu holat ko'rib chiqilayotgan tarmoq kuchlanishlarining vektor diagrammada tasvirlangan (7.6.7-rasm). 7.6.7-rasmdan ko'ramizki ta'minlovchi manbaa kuchlanishi fazasi 3-uchastka uchun berilgan kuchlanishdan har bir uchastkalardagi kuchlanish fazalari farqlari yig'indisiga teng burchakka farq qiladi:

$$\delta_A = \delta_2 + \delta_1' + \delta_A'.$$

Umumiy holda m ketma-ket ulangan ochiq tarmoq oxiridagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblar uchun ta'minlovchi uzelnig kuchlanish fazasi kattaligini barcha uchastkalardagi fazalar farqlari yig'indisi ko'rinishida aniqlanadi:

$$\delta_A = \sum_{i=1}^m \delta_i \quad (7.6.37)$$

7.6.5.2. Tarmoq boshidagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblash. Elektr tarmoq hisobi uchun boshidagi kuchlanish kattaligi U_A (A ta'minot nuqtasida) va to'la quvvatlar S_i (yoki aktiv quvvatlar P_i va quvvat koeffitsientlari $\cos\varphi_i$) berilgan. Barcha uzellardagi kuchlanish kattaligi va uchastkalardagi quvvatlar oqimini aniqlash kerak bo'ladi. Avvalgi hisoblardagidek, hisoblarni eng olisda joylashgan uchastka (3) uchun boshlaymiz. U yerda kuchlanish noma'lum bo'ladi. SHu sababli bu uzeldagi tok kattaligi quyidagicha aniqlanadi:

$$I_3^{(1)} = \frac{S_3}{\sqrt{3}U_3^{(0)}}$$

bu yerda $U_3^{(0)}$ 3 uzelda kutilayotgan, taxmin qilinayotgan kuchlanish kattaligi bo'ladi. Taxmin qilinayotgan kuchlanish kattaligi bo'yicha uchastkadagi quvvat isroflari va kuchlanishning pasayishining kutilayotgan kattaliklari ham aniqlanadi. Hisoblar ketma-ket yaqinlashish (iteratsiya metodi) uslubi bilan ikki bosqichda amalga oshiriladi. Berilgan elektr tarmoq rejim parametrlarini hisoblash ketma-ketligini ko'rib chiqamiz (7.6.7-rasm).

1-bosqich. Quvvatlar oqimi taqsimotini hisoblash

1. Podstantsiyaning past kuchlanish shinalaridagi kuchlanishni yuqori kuchlanish shinasiga kuchlanishiga keltirilgan kattaligini qabul qilamiz.

$$I_3^{(1)} = \frac{S_3}{\sqrt{3}U_3^{(0)}} \text{ tok va kuchlanish kattaligi } U_3^{(0)} = U_3^{(nn)} \cdot k_{(t)}.$$

Transformator chulg'amlari qarshiliklaridagi quvvat isroflarini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\Delta S_{-23}^{(1)} = 3 I_3^{(1)2} \cdot Z_{-3} = \left(\frac{S_3}{U_3^{(0)}} \right)^2 \cdot Z_{-3} = \Delta P_{23}^{(1)} + j \Delta Q_{23}^{(1)}$$

2. 2-3 uchastka boshidagi quvvat kattaligini quyidagicha aniqlaymiz, (transformator chulg'amlarining kirish joyida):

$$S_{-23}^n = P_{23}^n + jQ_{23}^n = P_3 + \Delta P_{23} + j(Q_3 + \Delta Q_{23}).$$

3. 2 uzeldagi shunt quvvat isroflarini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\Delta S_{-x} = \left(U_2^{(0)} \right)^2 \cdot Y^* = \left(U_2^{(0)} \right)^2 \cdot (G_t + jB_t) = \Delta P_x^{(1)} + j\Delta Q_x^{(1)}$$

4. 2 uzal uchun balans tenglamasidan foydalanib W_2 liniya oxiridagi quvvat S_{12}^n kattaligini (11.36) ifoda yordamida aniqlaymiz.

Tarmoqning barcha boshqa uchastkalaridagi quvvat oqimi taqsimotini xuddi shunga o'xshash bajaramiz. Hisoblarni toki S_{A1} va S_A quvvatlar topilguncha davom ettiramiz (11.5-rasmga qarang). S_A quvvatni hisoblashda shunt qarshiligini (Y), W_1 liniya boshidagi toj razryadi isroflari va zaryadlovchi quvvatni hisobga olish kerak bo'ladi.

$$\Delta S_{-sh2} = \left(U_2^{(0)} \right)^2 \cdot Y_2'' = \left(U_2^{(0)} \right)^2 \cdot (G_2'' - jB_{c2}) = \Delta P_{kor}^{(1)} - jQ_{c2}^{(1)}.$$

2- bosqich. Tarmoq uzellaridagi kuchlanishni hisoblash

Hisoblar uchun dastlabki ma'lumotlar sifatida tok manbasining kuchlanishi va o'tgan bosqichda aniqlangan har bir uchastka boshidagi quvvatlar kattaligi olinadi. Hisoblar quyidagi tartibda bajariladi.

1. Zveno boshidagi ma'lumotlar bo'yicha bosh uchastkaning toki aniqlanadi.

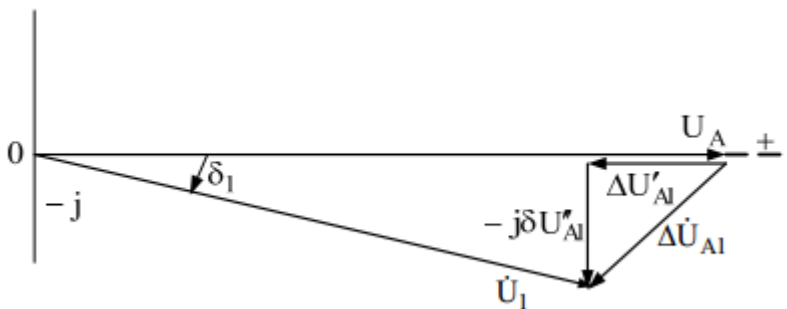
$$I_{A1}^{(1)} = \frac{S_{A1}^{(1)}}{\sqrt{3} U_A} = \frac{P_{A1}^{(1)} - j Q_{A1}^{(1)}}{\sqrt{3} U_A} = I_a^{(1)} - j I_p^{(1)}$$

2. Bosh uchastkadagi kuchlanishning pasayishini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\Delta U_{A1}' = \Delta U_{A1}' + j \delta \Delta U_{A1}'' = \sqrt{3} ((I_a^{(1)} R_1 + I_p^{(1)} X_1) + j (I_a^{(1)} X_1 + I_p^{(1)} R_1))$$

Shu kattalikni bosh uchastka oqimi orqali quyidagicha aniqlanadi

$$\Delta U_{A1}' = \frac{S_{A1}^{(1)}}{U_A^*} \cdot Z_{-A1} = \frac{P_{A1}^{(1)} R_1 - Q_{A1}^{(1)} X_1}{U_A} + j \frac{P_{A1}^{(1)} X_1 + Q_{A1}^{(1)} R_1}{U_A}.$$



7.6.8-rasm. Tarmoqning bosh uchastkasi kuchlanishi vektor diagrammasi

3. 1-uzeldagi kuchlanish kattaligini ko'rsatilgan tok $I_{A1}^{(1)}$ yo'nalishiga mos ravishda quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_1^{(1)} = U_A - \Delta U_{A1}' = U_A - \Delta U_{A1}' - j \delta U_{A1}'' = U_1 \angle \delta (1). \quad (7.6.38)$$

7.6.8 rasmda (11.38) ifodaga mos ravishda qurilgan kuchlanishlar vektor diagrammasi tasvirlangan. Vektor diagrammadan foydalanib 1-uzeldagi kuchlanish modulini quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_1^{(1)} = \sqrt{(U_A + \Delta U_{A1}')^2 + (\delta U_{A1}'')^2}$$

bu kuchlanishning fazasi (argumenti) quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\delta_1^{(1)} = \arctg \frac{\delta U_{A1}''}{U_A + \Delta U_{A1}'} \quad (7.6.39)$$

$$U_3^{(1)} = U_2^{(1)} - \Delta U'_{23} - j \delta U''_{23} = U_2^{(1)} - \sqrt{3} I'_{23} \cdot Z_{-3} = U_2^{(1)} - \frac{S_{23}}{U_2} \cdot Z_{-3}$$

$$= U_2^{(1)} - \frac{P_{23}^n R_3 + Q_{23}^n X_3}{U_2^{(1)}} - j \frac{P_{23}^n X_3 + Q_{23}^n R_3}{U_2^{(1)}}$$
$$\delta U_3^{k+1} = |U_3^{k+1} - U_3^k| \leq \varepsilon$$

231

Uchinchi zveno kuchlanishini U_3 bilgan holda past kuchlanishli podstantsiya shinalaridagi haqiqiy kuchlanishni aniqlaymiz, masalan transformatsiyalash koefitsienti k_t nominal bo'lganida uning kattaligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$U_3^{NN} = \frac{U_2}{k_t} = U_3 \frac{U_2^{PK}}{U_3^{YUK}}.$$

Xulosa o'rnida aytishimiz joizki, to'liq yuklanmagan 110 kV kuchlanishli va kuchlanishi nominal kuchlanishdan past bo'lgan elektr tarmoqlar uchun uzellaridagi kuchlanishlarni aniqlash bo'yicha hisoblashlarni soddalashtirish ham mumkin bo'ladi. Kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi kattaligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\delta U'' = \sqrt{3} (I_a X - I_p R) = \frac{(PX - QR)}{U}$$

va mos ravishda kuchlanishlar orasidagi fazalar farqi burchagi (11.39), masalan tarmoqdan aktiv-induktiv quvvatni uzatishda, juda kichik bo'ladi, shu sababli uning, quyidagicha aniqlanadigan kattaligiga, ta'siri sezilsiz bo'ladi va hisobga olinmaydi:

$$U_{i+} = \sqrt{(U_i - \Delta U_i')^2 + \delta U_i''^2}$$

chunki uning kattaligi hisoblarning ruxsat etilgan aniqlik chegarasida yotadi, kuchlanishlar hisobi esa soddalashtirilgan formula (9.34) bo'yicha amalga oshiriladi.

Tekshirish uchun savollar

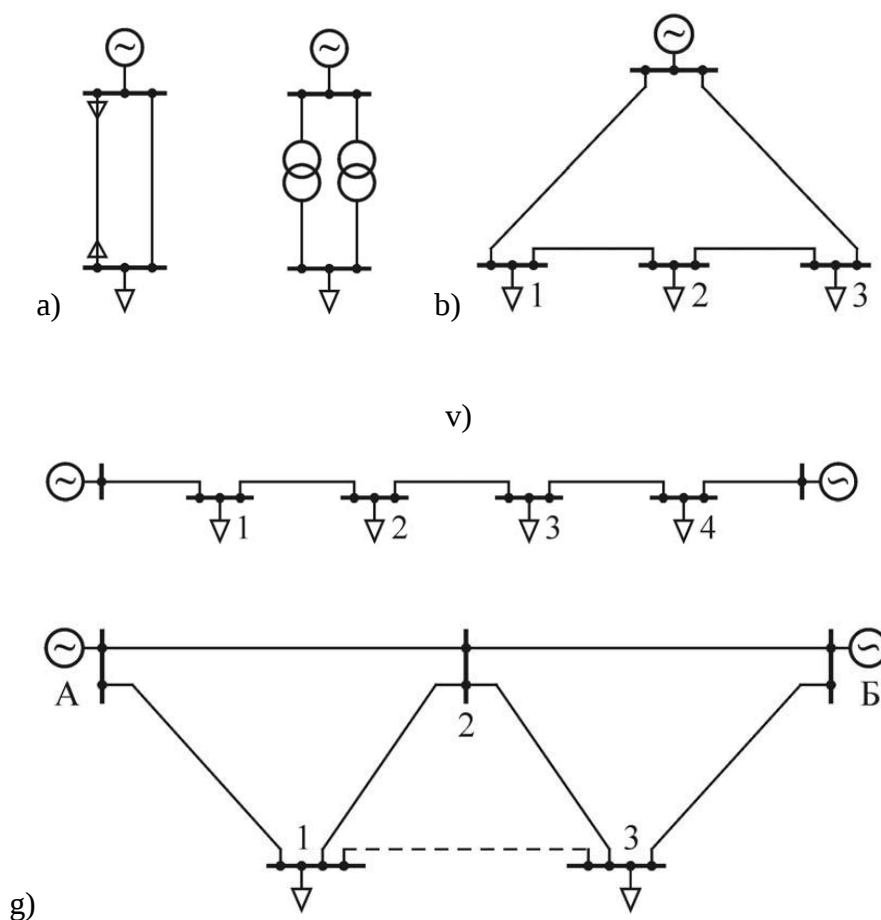
1. Elektr tarmoqning elektr rejimlari hisoblarida ko'ndalang zveno hisoblarining qanday farqlari bor?
2. Liniyaning elektr rejimlari hisoblarining qanday xarakterli holatlari bor?
3. Liniyaning elektr rejimlari hisoblari qanday hollarda aniq (to'g'ridan-to'g'ri) yoki taxminiy (iteratsion) usullar qo'llaniladi?
4. Liniyaning elektr rejimlari hisoblari qanday hollarda ikki bosqichda bajariladi?.

5. Tarmoqning bosh uchastkasi kuchlanishi vektor diagrammasi qanday quriladi?
6. Uchta ketma-ket joylashgan uchastkali elektr tarmoq uchun kuchlanishlar vektor diagrammasini taxlil qiling?
7. To'liq yuklanmagan 110 kV kuchlanishli va kuchlanishi nominal kuchlanishdan past bo'lgan elektr tarmoqlar uchun uzellaridagi kuchlanishlarni qanday aniqlanadi?
8. Kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi kattaligi qanday aniqlanadi?
9. Ortiqcha yuklanmagan ochiq tarmoqlar hisobi uchun nechta yaqinlashuv (iteratsiya) hisoblari kerak bo'ladi?
10. Ochiq tarmoqlar hisobi uchun bir yoki ikki yaqinlashuv (iteratsiya) hisoblari yetarli bo'ladimi?
11. O'lis masofalarga tortilgan liniyaning qanday xususiyatlari bor?
12. Elektr tarmoqning salt ishlash rejimini nimalar belgilaydi?
13. Elektr tarmoqda salt ishlash rejimi yuzaga kelsa qanday choralar ko'riladi?
14. Elektr tarmoqda qanday holda salt ishlash rejimi yuzaga keladi?
15. Elektr tarmoqda salt ishlash rejimi ko'rsatkichlari qanday aniqlanadi?
16. Elektr uzatkichning rejimlari hisobining qanday xarakterli holatlarini siz bilasiz?
17. Qachon hisoblar ketma ket yaqinlashuv usulida bajariladi?
18. Qanday holatda hisoblar bir bosqichda yakunlanadi?
19. Zvenoning qabul qiluvchi punkti quvvati ma'lum bo'lganida uchastka hisobining iteratsion algoritmi qanday bosqichlardan iborat bo'ladi?
20. Algoritmning asosiy hisobiy ifodalari qanday yoziladi?
21. Tarmoq uchastkasining elektr rejimi hisobining aniq (to'g'ridan to'g'ri) algoritmini tushuntiring?
22. Elektr tarmoqlar ning barqaror rejimini ifodalovchi tenglama nima sababdan nochiziqli bo'ladi?

23. Elektr uzatkichning boshi va oxiridagi kuchlanish va quvvat qanday nochiqli tenglama bilan bog'langan bo'ladi?
24. Elektr tarmoq uchastkasi uchun quvvatlar vektor diagrammasi qanday ko'rinishda bo'ladi?
25. Elektr uzatkichning boshi va oxiridagi kuchlanish va quvvatlarning bog'liqligi vektor diagrammalar yordamida qanday xarakterlanadi?
26. Tarmoq kuchlanish vektorining tashkil etuvchilarining geometrik (vektor) bog'liqligi qanday?
27. Zveno boshi va oxiridagi kuchlanish vektor diagrammalari bir biridan qanday farq qiladi?
28. Elektr tarmoqning fazalar kuchlanishni hisoblashda qanday cheklanishlar qabul qilinadi?
27. Quvvat isroflari va kuchlanishning pasayishining tok va quvvat orqali yoziladigan ifodasi elektr uzatkichning oxirlaridagi ma'lumotlar bo'yicha qanday yoziladi?

7.7. ODDIY YOPIQ TARMOQLARNING TURG'UN REJIMLARINING HISOBI

Yopiq elektr tarmoqlarning ta'riflari. Yopiq tarmoqlar deb, yuklama uzellari, elektr iste'molchilari ikki tomonlama ta'minlanadigan elektr tarmoqlarga aytiladi. SHunday qilib, elektr ta'minotining yuqori ishonchliligiga erishiladi. Eng oddiy yopiq tarmoqni ikki parallel ulangan liniya yoki umumiy elektr yuklamaga ishlab turgan ikkita transformatorlar tashkil qiladi. (7.7.1, a-rasm).



7.7.1-rasm. Yopiq elektr tarmoqlar sxemalari: *a* va *b* – bir konturli tarmoq;
v – ikki tomonlama ta'minlanadigan liniya; *g* – murakkab yopiq tarmoq.

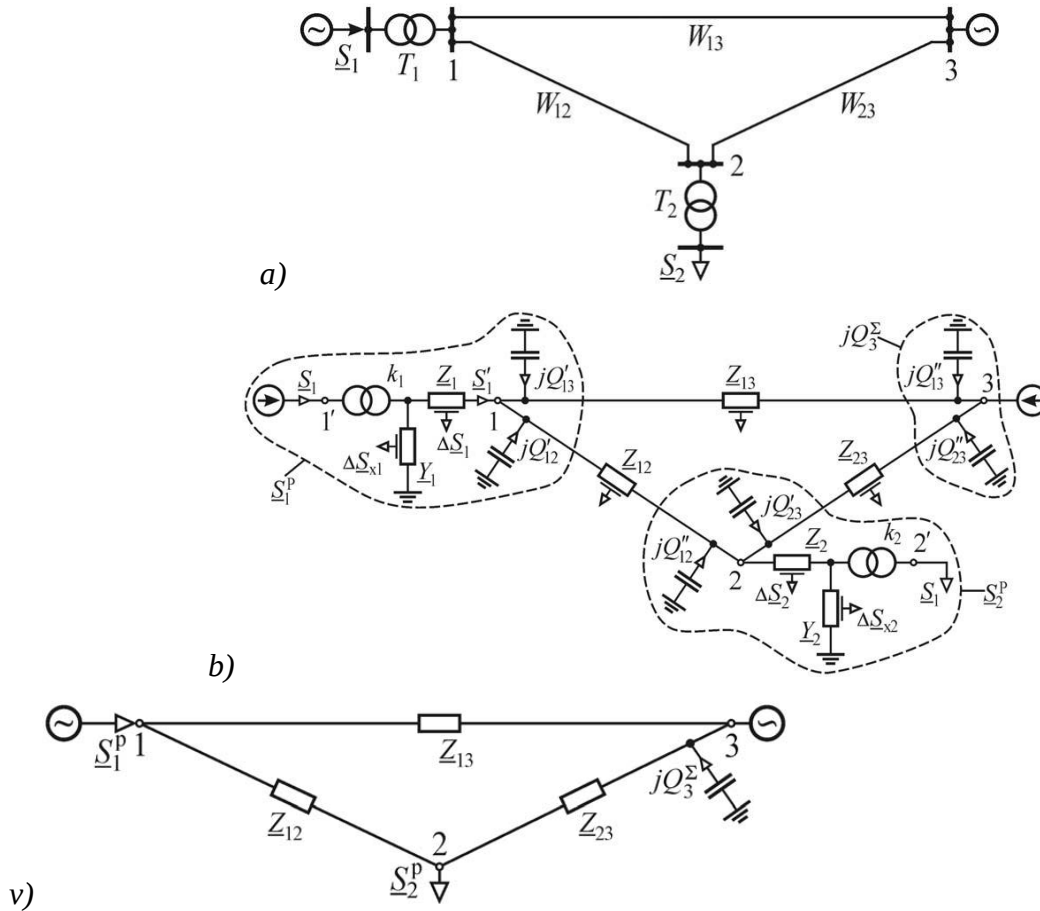
Umumiy holda bitta yopiq kontur hosil qilgan elektr tarmoq xalqali tarmoq deyiladi. (7.7.1, b-rasm). Bunday tarmoqlarning yana bir ko'rinishi ikki tomonlama ta'minlanuvchi liniyalar hisoblanadi. (7.7.1, v-rasm). Agar elektr tarmoq ikki yoki undan ortiq yopiq konturga ega bo'lsa, ular murakkab yopiq tarmoqlar deyiladi (7.7.1, g-rasm). Bunday tarmoqlarda elektr tarmoqlarning har bir uzeli ikki yoki undan ortiq tomondan ta'minlanadi. Murakkab yopiq elektr tarmoqlar rejimlarining hisobi oddiy yopiq tarmoqlar hisobidan ancha murakkab bo'lib, ularning hisobi programmali – hisoblash komplekslari yordamida EHM da bajariladi.

7.7.1. Hisobiy yuklamalar va elektr tarmoq sxemalari

Qo'lda hisoblari bajariladigan elektr tarmoq rejimlarining tahlili, uzellardagi yuklamalari iste'molchilarning (manbalarining) quvvatlarini transformator podstantsiyalaridagi quvvat isroflarini, hamda yonma – yon turgan uchastkalarining “P” shaklli almashinish sxemasining shuntlari (o'tkazuvchanlik) quvvatlarini xisobga olib amalga oshiriladi. Shu tarzda shakllantirilgan (aniqlanadigan) uzel yuklamalari hisobiy (ekvivalent) deyiladi, bundagi mos almashinish sxemasi – hisobiy sxema deyiladi. Bunday tushunchadan foydalanilganida, 7.7.2.a-rasmda tasvirlangan, nominal kuchlanishi 220 kVdan oshmagan elektr tarmoqlar misolida, berilgan almashinish sxemasini soddalashtirish imkoniyatini ko'rib chiqamiz. Bu sxemada elektrostantsiyaning yuqori kuchlanish shinalariga, kuchaytiruvchi transformator T_1 orqali belgilangan quvvat S_1 beriladi. 2 podstantsiyaning YUK shinasidan pasaytiruvchi transformator T_2 orqali yuklama quvvati S_2 uzatiladi.

Tashqi sistema aktiv va reaktiv quvvatlarni balanslovchi elektr stantsiya (podstantsiya) 3 orqali ko'rsatiladi. 1 va 3 elektrostantsiyaning yuqori kuchlanish (YuK) shinalariga va podstantsiya 2 ga tarmoqning 2 rayon elektr liniyasi ulanadi. 7.7.2, b-rasmda 1,2,3 uzel nuqtalari bilan bog'langan yopiq elektr tarmoq

zanjirlarida quvvatlar taqsimlanishi sharoitlarini ko'rsatuvchi o'rnini olish sxemasi tasvirlangan. LEKTSIYA 12. RASCHYOT USTANOVIVSHIXSYA REJIMOV PROSTYX ZAMKNUTYX ELEKTRICHESKIX SETEY



Ris. 7.7.2. Elektr tarmoq sxemalari: *a* – printsipial sxema; *b* – dastlabki almashinish sxemasi; *v* – hisobiy almashinish sxemasi

Bu sxemada Z_{12} va Z_{13} qarshiliklardan o'tayotgan jami quvvat kattaligi quyidagicha hisoblanadi:

$$S_{-1\Sigma} = -S_{-1}' - jQ_{c'12} - jQ_{c'13},$$

bu yerdagi S_{-1}' quvvat generatsiya quvvatidan S_1 transformator T_1 chulg'amlaridagi quvvat isroflariga va uning salt ishlash isroflariga farq qiladi, ya'ni:

$$S_{-1}' = S_{-1} - \Delta S_{-1} - \Delta S_{x1}'.$$

U holda elektr stantsiya 1 shinalaridagi jami yuklama, keyinchalik 1 uzal uchun hisobiy (ekvivalent) deb ataladigan yuklama quyidagi ko'rinishda aniqlanadi:

$$S_{-1}^r = S_{-1\Sigma} = -S_{-1} + \Delta S_{-1} + \Delta S_{-x1} - jQ_{s12}' - jQ_{s13}'. \quad (7.7.1)$$

Yoki tok kattaligi uchun quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$I_1 = \frac{S_1^{*r}}{\sqrt{3}U_1^{*(0)}} \quad (7.7.2)$$

Xuddi shunga o'xshash ravishda 2 va 3 podstantsiyalarning hisobiy quvvatlari kattaligini topamiz:

$$S_{-2}^r = S_{-2} = S_{-2} + \Delta S_{-2} + \Delta S_{-x2} - jQ_{s12}' - jQ_{s23}'' \quad (7.7.3)$$

Balanslovchi manbaga 3 yonma-yon bo'lgan (kelib ulangan) liniyaning jami zaryadlovchi quvvati uchun quyidagicha yozishimiz mumkin:

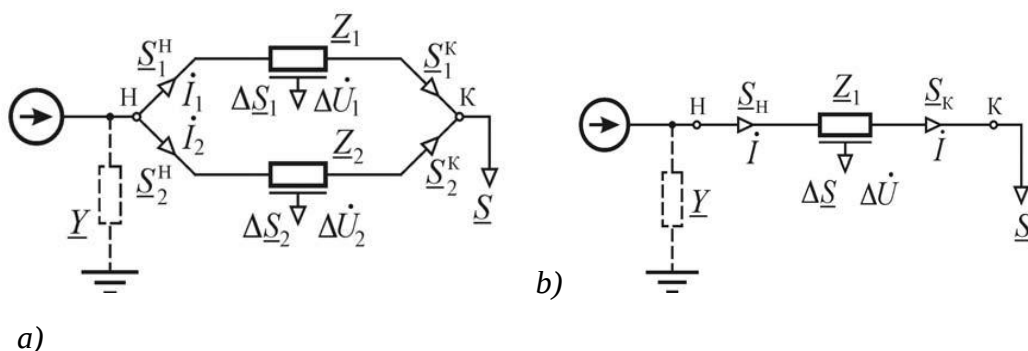
$$S_{3r} = Q_{3r}^s = \frac{1}{2} (B_{s13} + B_{s23}) U_3^2$$

Bu zaryadlovchi quvvat manbaining reaktiv quvvat generatsiyasi imkoniyatlarini oshiradi, lekin yopiq tarmoqdagi quvvatlar oqimi taqsimotiga ta'sir ko'rsatmaydi, shu sababdan uning kattaligini hisoblarda hisobga olinmaydi. Dastlabki o'rnini olish sxemasini (7.7.2, *b-rasm*) faqat bo'ylama zanjirlarni o'z ichiga olgan hisobiysiga (7.7.2, *b-rasm*) almashinish faqat sxemani soddalashtirib qolmay, yana yopiq elektr tarmoqlar hisobi va tahlilining injenerlik metodlarini amalga oshirish imkonini beradi. Hisobiy elektr yuklamalarni aniqlashda haqiqiy kuchlanish kattaligini hisobga olmaslik, tarmoqning elektr rejimlari hisobining aniqligini pasaytiradi. Hisoblashdagi xatoliklarni kamaytirish uchun keyingi iteratsiyani, hisobiy elektr yuklamalarga va kuchlanishlar kattaligiga aniqlik kiritib, amalga oshirish kerak bo'ladi.

7.7.2. Oddiy yopiq elektr tarmoqlarning elektr rejimlarining tahlili

Ko'rib chiqilayotgan (7.7.3.a-rasm) elektr tarmoqning ekvivalent almashinish sxemasi 7.7.3.b-rasmda keltirilgan. Elektr tarmoqning hisobiy yuklamasi S yoki toki I . 35 kV va undan yuqori kuchlanishlarga xos bo'lgan, tahlil qilinayotgan uchastka rejimlariga ta'sir ko'rsatmaydigan, ekvivalent

o'tkazuvchanlik punktir chiziq bilan tasvirlangan. Dastlabki sxemada tok va quvvatlar oqimi taqsimotini aniqlaymiz.



7.7.3 rasm. Eng oddiy yopiq tarmoqning almashinish sxemalari:

a – dastlabki sxema; *b* – ekvivalent sxema

Parallel va ekvivalent zanjirlarda kuchlanishlar pasayishining tengligini hisobga olib yozishimiz mumkin:

$$I_1 \cdot Z_{-1} = I_2 \cdot Z_{-2} = I \cdot Z_{-}$$

bundan

$$I_1 = I \cdot \frac{Z_{-}}{Z_{-1}} \quad I_2 = I \cdot \frac{Z_{-}}{Z_{-2}} \quad (7.7.5)$$

yoki uchastkaning ekvivalent qarshiligini hisobga olib:

$$Z_{-} = Z_{-1} - \frac{Z_{-2}}{(Z_{-1} + Z_{-2})} \text{ ni olamiz}$$

$$I_1 = I \cdot \frac{Z_{-2}}{Z_{-1} + Z_{-2}}, \quad I_2 = I \cdot \frac{Z_{-1}}{Z_{-1} + Z_{-2}} \quad (7.7.6)$$

Umumiy holda m ekvivalent qarshilikli Z_e va toklar yig'indisi bo'lgan parallel zanjirlar uchun quyidagi tenglik to'g'ri bo'ladi:

$$I_1 Z_{-1} = I_2 Z_{-2} = \dots = I_i Z_{-i} = \dots = I_m Z_{-m} = I_e Z_{-e}$$

Bundan i -zanjirning tok kattaligi:

$$I_i = I_e \cdot \frac{Z_{-e}}{Z_{-i}}, \text{ bu yerda } \frac{1}{Z_{-e}} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{Z_{-i}}$$

(7.7.5) va (7.7.6) formulalarni o'zgartirib, parallel zanjirlar orasida quvvatlarni taqsimlanishini hisoblari uchun yaroqli ko'rinishga keltiramiz. Toklar komplekslarini quvvat ko'rinishiga keltirish uchun ularni $\sqrt{3}U_a^*$ ga ko'paytiramiz va a uzal uchun quyidagi kompleks quvvatga ega bo'lamiz:

$$S_{-} = \sqrt{3} U^{*} I' = P - jQ$$

(12.5) va (12.6) ifodalar turlicha o'zgartirilishi mumkin, masalan S_1 quvvat uchun o'zgartirish quyidagicha bo'ladi:

$$P_1 - jQ_1 = (P_1 - jQ_1) \frac{Z_{-}}{Z_{-1}} = (P_1 - jQ_1) \frac{Z_{-2}}{Z_{-2} + Z_{-1}} \quad (7.7.7)$$

$P - jQ$ ko'rinishdagi ifoda quvvat ifodasi ning yozilishiga nisbatan yaqin kattalik bo'lib, quyidagicha ko'rinishga ega bo'ladi:

$$S = \sqrt{3} U I' = P + jQ, \quad (7.7.8)$$

Bu ifoda xozirgi holatda asosiy asosiy sifatida olinadi. Shu sababli (7.7.7) ifodani (7.7.8) ifodaga nisbatan quyidagi ko'rinishda qayta yoyib chiqish kerak bo'ladi:

$$S_{-1}^{*} = S_{-}^{*} \frac{Z_{-}}{Z_{-1}} = S_{-}^{*} \frac{Z_{-2}}{Z_{-1} + Z_{-2}} \quad (7.7.9)$$

Natijalarni tahlil qilishda quvvatlarning dastlabki qiymatlariga ko'ra yaqinlashuv kattaliklarini olish qulay bo'ladi, shu sababdan (7.7.9) ifodada yaqinlashuv operatsiyasini bajarish kerak bo'ladi. Buning natijasida (7.7.5) va (7.7.6) ifodalarga o'xshash ifodalar olamiz:

$$\begin{aligned} S_{-1} &= S_{-} \frac{Z_{-}^{*}}{Z_{-1}^{*}} = S_{-} \frac{Z_{-2}^{*}}{Z_{-1}^{*} + Z_{-2}^{*}}, \\ S_{-2} &= S_{-} \frac{Z_{-}^{*}}{Z_{-2}^{*}} = S_{-} \frac{Z_{-1}^{*}}{Z_{-1}^{*} + Z_{-2}^{*}}, \end{aligned} \quad (7.7.10)$$

7.7.3. Oqimlar taqsimotining hisobi.

Tok taqsimotidan farq qilib tarmoq boshidagshi va oxiridagi quvvatlar bir xil bo'lmaydi va tarmoqdagi quvvatlar isrofi kattaligiga farq qiladi. A uzelda quvvatlar balansini ta'minlash uchun hisoblab topilgan quvvatlar S_1 va S_2 ni shu uzelda kelib ulangan zanjir uchun deb qabul qilamiz, ya'ni ularni S_{-1}^k va S_{-2}^k mos zvenolar oxirlaridagi kattaligi deb qabul qilinadi (7.7.3, a -rasm). Keyinchalik elektr rejimlar hisoblari xuddi ochiq tarmoqlar hisobidagidek bajariladi, yopiq tarmoq quvvatlar bo'linish nuqtasidan shartli ravishda ikkiga ajratiladi va elektr

tarmoqninghar bir bo'lagi oddiy tarmoq sifatida hisoblanadi. Keyingi hisoblarning xususiyati qaysi nuqtadan kuchlanish berilishiga bog'liq bo'ladi (A yoki B). Deylik, A nuqtadagi kuchlanish berilgan bo'lsin. Bu holda aniq (to'g'ridan-to'g'ri) hisoblash algoritmi qo'llaniladi, va rejim parametrlari bir bosqichda, a nuvtadan boshlab B nuqtaga qarab bajariladi.

Parallel zvenolarda quvvat isroflari quyidagi ko'rinishda aniqlanadi:

$$\Delta S_{-1} = 3I_1^2 Z_{-1} = \left(\frac{S_1^k}{U_A}\right)^2 \cdot Z_{-1}, \quad \Delta S_{-2} = 3I_2^2 Z_{-2} = \left(\frac{S_2^k}{U_A}\right)^2 \cdot Z_{-2},$$

Quvvat isroflarining yig'indisi miqdorini ekvivalent ma'lumotlar bo'yicha quyidagicha hisoblab olish mumkin:

$$\Delta S_- = \Delta S_{-1} + \Delta S_{-2} = 3I_-^2 Z_- = \left(\frac{S_-}{U_A}\right)^2 \cdot Z_-$$

Parallel va ekvivalent zanjirlarda kuchlanishning pasayishi bir xil bo'ladi va quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\Delta U' = \Delta U'_1 = \Delta U'_2 = \sqrt{3}I' Z_- = \frac{S_-}{U_A} \cdot Z_-$$

Bunda parallel zvenolar boshida quvvatlar oqimi quyidagicha yozishimiz mumkin (12.3, a, b-rasm):

$$S_{-1}^n = S_{-1}^k + \Delta S_{-1}; \quad S_{-2}^n = S_{-2}^k + \Delta S_{-2};$$

Bu quvvatlar yopiq konturga kelayotgan jami quvvatla yig'indisini tashkil qiladi: .

$$S_-^n = S_{-1}^n + S_{-2}^n = S_- + \Delta S_-$$

B uzel uchun kuchlanish kattaligi quyidagicha bo'ladi:

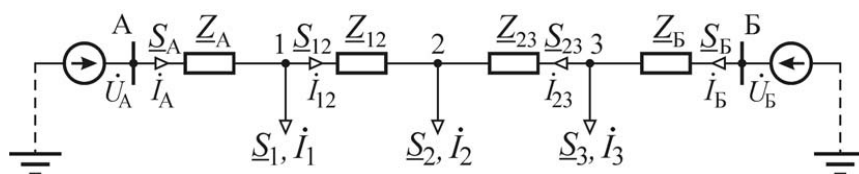
$$U_B = U_A + \Delta U$$

7.7.4. Ikki tomonlama ta'minlangan tarmoqning elektr rejimini hisoblash.

Ikki tomonlama ta'minlangan tarmoq (liniya), shinalaridagi kuchlanishi ma'lum bo'lib, o'zgarishsiz saqlanadigan ikki A va V manbalarni birlashtiradi (elektr sistema, elektr stantsiya yoki podstantsiya) (7.7.4, v-rasm). Umumiy holda manbalarning kuchlanishi turlicha bo'ladi: $U_A \neq U_B$. Moduli va fazasi bo'yicha bir xil kuchlanishli ($U_A = U_B$) elektr tarmoqning elektr rejimi mos bir konturli

yopiq tarmoqning bittadan manbai o'chirilgan xususiy holati sifatida ko'rib chiqiladi (7.7.4, b-rasm).

7.7.1. Toklar uchun momentlar qoidasi. Ikki tomonlama ta'minlangan uncha katta bo'lmagan elektr tarmoqni ko'rib chiqamiz (7.7.4-rasm). 1, 2, 3 uzellar yuklamalarining kompleks qiymatlari hisobiy tok kattaliklarida berilgan. A va B uzellarning kuchlanishlari bir xil ($U_A = U_B$).



7.7.4-rasm. Ikki tomonlama ta'minlangan tarmoq.

Uzillardagi yuklamalar ta'sirida zanjidlardagi tok sxemada ko'rsatilgan yo'nalishlar oladi. Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan quyidagini yozishimiz mumkin:

$$U_A - U_B = \sqrt{3}(I_A Z_{-A} + I_{12} Z_{-12} - I_{23} Z_{-23} - I_A Z_{-B}) \quad (7.7.11)$$

Kirxgoffning birinchi qonuniga binoan olingan balans tenglamasi yordamida uchastka zanjirlari tokini yuklama toklari va bosh uchastka toki orqali ifodalaymiz:

$$I_{12} = I_A - I_1, I_{23} = -I_A + I_1 + I_2, I = -I_B + I_1 + I_2 + I_3. \quad (7.7.12)$$

(7.7.12) ifodadagi toklarni (7.7.11) ga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$I_A Z_{-A} + (I_A - I_1) Z_{-12} - (I_1 + I_2 - I_A) Z_{-23} - (I_1 + I_2 + I_3 - I_A) Z_{-B} = 0$$

matematik o'zgartirishlar qilib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$I_A (Z_{-A} + Z_{-12} + Z_{-23} + Z_{-B}) - I_1 (Z_{-12} + Z_{-23} + Z_{-B}) - I_2 (Z_{-23} + Z_{-B}) - I_3 Z_{-B} = 0$$

Quyidagi belgilashlar kiritamiz:

$$Z_{-A} + Z_{-12} + Z_{-23} + Z_{-B} = Z_{-AB}$$

$$Z_{-12} + Z_{-23} + Z_{-B} = Z_{-1B}$$

$$Z_{-23} + Z_{-B} = Z_{-2B}$$

U holda quyidagi tenglamaga kelamiz: $I_A' Z_{AB} - I_1' Z_{1B} - I_2' Z_{2B} - I_3' Z_{3B} = 0$

Bundan bosh uchastka ning tok kattaligi uchun quyidagi tenglamani olamiz:

$$I_A' = \frac{I_1' Z_{1B} + I_2' Z_{2B} + I_3' Z_{3B}}{Z_{AB}}.$$

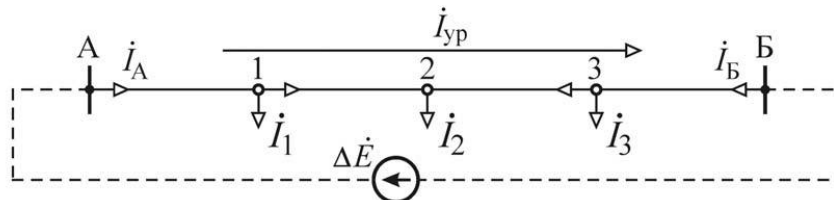
Yoki umumiy holda n yuklamali uzalgaga ega bo'lgan tarmoq uchun yozishimiz mumkin:

$$I_A' = \frac{I_1' Z_{1B} + I_2' Z_{2B} + \dots + I_n' Z_{nB}}{Z_{AB}} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i' Z_{iB}}{Z_{AB}} \quad (7.7.13)$$

Momentlar qoidasi xuddi shunga o'xshash B bosh uchastkadagi tokni aniqlash uchun ham qo'llanilishi mumkin. Bu holda tok momentlarini A uzalgaga nisbatan quyidagicha topiladi:

$$I_B' = \frac{\sum_{i=1}^n I_i' Z_{iA}}{Z_{AB}} \quad (7.7.14)$$

(7.7.13), (7.7.14) ifodalar tok kattaliklari uchun momentlar qoidasi nomini olgan. Haqiqatdan ham, A manbaa tokini hisoblash uchun, qarama-qarshi tomondagi B manbaga nisbatan toklar momenti olinadi.



7.7.6.-rasm. Muvozanatlovchi toki bo'lgan elektr tarmoq

Ikki tomondagi manbalar kuchlanishlari teng bo'lmagan holatni ko'rib chiqamiz. manbalar kuchlanishlari farqiga teng bo'lgan EYuK $\Delta E = U_A - U_B > 0$ ta'sirida sxemada muvozanatlovchi tok paydo bo'ladi (7.7.6-rasm). Uning kattaligi quyidagicha bo'ladi.

$$I_m' = \frac{\Delta E'}{\sqrt{3} Z_{AB}} = \frac{U_A' - U_B'}{\sqrt{3} Z_{AB}} \quad (7.7.15)$$

Bularni hisobga olgan holda manbalar (bosh uchastkalar) toklariga qo'shimcha aniqliklar kiritamiz (korrektirlaymiz):

$$I_A' = I_A + I_m' = \frac{\sum_{i=1}^n I_i' Z_{iB}}{Z_{AB}} + \frac{U_A' - U_B'}{\sqrt{3} Z_{AB}} \quad (7.7.16)$$

$$I_B' = I_B - I_m = \frac{\sum_{i=1}^n I_i Z_{iA}}{Z_{AB}} + \frac{U_A' - U_B'}{\sqrt{3} Z_{AB}}$$

Shunday qilib, manbaning yakuniy hisobiy tok kattaligi ikki tashkil etuvchilaridan iborat bo'ladi: birinchi tashkil etuvchisi uzellardagi yuklamalar va tarmoqning alohida zanjirlarining qarshiliklari munosabatlari bilan aniqlanadi, ikkinchi tashkil etuvchisi esa ikki tomondagi manbalarning kuchlanishi va butun tarmoqning qarshiligi bilan aniqlanadi va yuklama ulangan joyi yoki uning kattaligiga bog'liq bo'lmaydi.

7.7.4.2. Quvvatlar uchun momentlar qoidasi

Bu yerda uzellardagi elektr yuklamalar hisobiy quvvat ko'rinishida berilgan bo'ladi. 7.7.13 va 7.7.14 ifodalardagi toklar uchun qat'iy cheklanishlar shunga o'xshash quvvatlar uchun ifodalarda qo'llanilishi mumkin, faqat bu yerda tarmoqning barcha uzellarida kuchlanish kattaligi bir xil deb qabul qilinishi kerak, ya'ni uchastkalardagi kuchlanish pasayishlari hisobga olinmay hisoblar bajariladi:

$$U_A = U_B = U_1 = U_2 = \dots = U_n, \quad (7.7.17)$$

Bu esa, uchastkalardagi kuchlanish pasayishlari hisobga olinmasligini ko'rsatadi. Haqiqatdan ham 7.7.17 shart bajarilganida quvvat isroflari miqdori nolga aylanadi:

$$\Delta S_{-ij} = |U_1 - U_2|^2 \cdot Y_{ij} = \frac{\Delta U_{ij}^2}{Z_{ij}} = 0$$

Endi agar (7.7.13) va (7.7.14) ifodalarning o'ng va chap tomonlarini U^* kattalikka ko'paytirsak, quyidagi quvvat ifodalarini olamiz:

$$\sqrt{3}U^* \cdot I_A' = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{3}U_i^* I_{iB}}{Z_{AB}}, \quad \sqrt{3}U^* \cdot I_B' = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{3}U_i^* I_{iA}}{Z_{AB}},$$

Yondosh quvvatlar uchun ifodalar quyidagicha bo'ladi:

$$S_A^* = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^* Z_{iB}}{Z_{AB}}, \quad S_B^* = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^* Z_{iA}}{Z_{AB}} \quad (7.7.18)$$

Yoki, (7.7.18) ifodada yondoshish operatsiyasini bajarib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$S_{-A} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{-i} Z_{iB}^*}{Z_{-AB}^*}, \quad S_{-B} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{-i} Z_{iA}^*}{Z_{-AB}^*} \quad (7.7.19)$$

Agar A va B manba kuchlanishlari teng bo'lmasa ($U_A \neq U_B$) muvozanatlovchi quvvat iqimi paydo bo'ladi. Uning kattaligi quyidagicha aniqlanadi:

$$I_m = \sqrt{3} U_{o'r} I_m^* = U_{o'r} \frac{U_A - U_B}{Z_{AB}^*} \quad (7.7.20)$$

bu yerda: $U_{o'r}$ –manbalarning o'rtacha kuchlanishi.

U holda bosh uchastkalarining quvvatlari oqimi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$S'_{-A} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{-i} Z_{iB}^*}{Z_{-AB}^*} + U_{o'r} \cdot \frac{U_A^* - U_B^*}{Z_{AB}^*} \quad S'_{-B} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{-i} Z_{iA}^*}{Z_{-AB}^*} + U_{o'r} \cdot \frac{U_A^* - U_B^*}{Z_{AB}^*} \quad (7.7.21)$$

bosh uchastkalarining quvvatlari oqimi to'g'ri hisoblanganligini tekshirish uchun elektr tarmoqda quvvatlar balansi saqlanayotganligini tekshirish kerak bo'ladi:

$$S_{-A} + S_{-B} = \sum_{i=1}^n S_{-i} \quad \text{yoki} \quad S'_{-A} + S'_{-B} = \sum_{i=1}^n S_{-i}, \quad (7.7.22)$$

ya'ni tarmoqqa kelib tushayotgan quvvatlar yig'indisi tarmoq uzellariga ulangan yuklama quvvatlari yig'indisiga teng bo'lishi kerak:

$$I'_{-A} + I'_{-B} = \sum_{i=1}^n I'_i \quad \text{yoki} \quad I'_{-A} + I'_{-B} = \sum_{i=1}^n I'_i$$

Tekshirish uchun savollar

1. Qanday tarmoqlar yopiq tarmoqlar deyiladi?
2. Qanaqa yopiq tarmoqlarni bilasiz?
3. Yopiq tarmoqlarning afzalliklari nimada?
4. Yopiq tarmoqlarning elektr rejimlari qanday bajariladi?
5. Yopiq tarmoqlarning elektr rejimlarini tahlilida hisobiy yuklamalardan foydalanishning mantiqiy mazmuni nimadan iborat?
7. Nima uchun yopiq tarmoqlarning elektr rejimlarini hisobida xatoliklar bo'ladi?
8. Yopiq tarmoqlarning elektr rejimlari hisobining qanday usullari bor?
9. Yopiq tarmoqlarning quvvatlar oqimi qanday hisoblanadi?
10. Yopiq tarmoqlarning nechta tok manbasi bo'ladi?
11. Yopiq tarmoqlarning elektr rejimlari hisobining quvvatlar uchun momentlar qoidasini mohiyati nima?

12. . Yopiq tarmoqlarning elektr rejimlari hisobining toklar uchun momentlar qoidasi usuliga ta'rif bering?

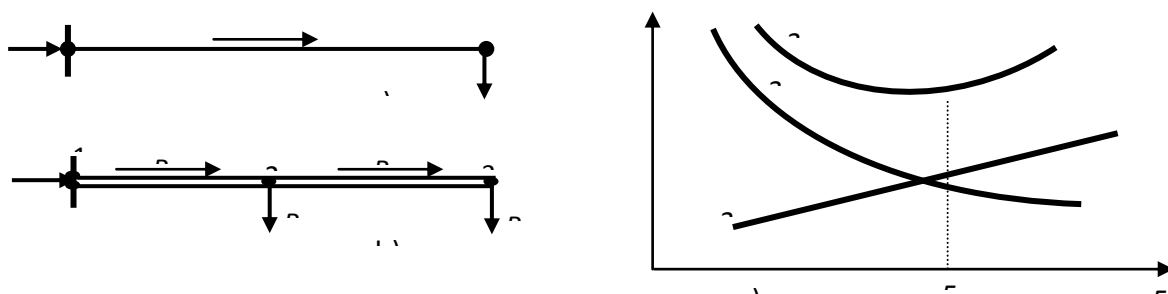
13. Oddiy yopiq elektr tarmoqlarning elektr rejimlari qanday hisoblanadi?

14. Oddiy yopiq elektr tarmoqlarning elektr rejimlari hisoblanadi?

8 bob. ELEKTR UZATISH TARMOQLARI KATTALIKLARINI IQTISODIY KO'RSATKICHLARI BO'YICHA HISOBLASH VA TANLASH

8.1. O'tkazgichlarning ko'ndalang kesim yuzalarini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash

8.1-rasmda tasvirlangan elektr uzatish tarmoqlari o'tkazgichining optimal kesim yuzasini tanlashni ko'rib o'tamiz.



8.1-rasm. Keltirilgan harajatlarni elektr uzatish tarmoqlari o'tkazgichlari kesim yuzasiga bog'liqligi: a - bir zanjirli elektr uzatish tarmoqlari; b - ikki zanjirli elektr uzatish tarmoqlari; v - keltirilgan harajatning tashkil etuvchilari.

Kesim yuzasi elektr uzatish tarmoqlarining muhim parametridir. Elektr uzatish tarmoqlari o'tkazgichlarining kesim yuzalarini ortishi bilan uni qurishdagi harajatlar va ulardan chegirmalar ortadi. Bir vaqtda elektr energiya isrofi va uning yillik narhi kamayadi.

Keltirilgan harajatlar funktsiyasi ning minimaliga F_{iq} to'g'ri keladi:

$$Z(F)=r_n K+I \quad (8.1)$$

Elektr uzatish tarmoqlarining narhi uning uzunligiga bog'liq:

$$K=k_0 L. \quad (8.2)$$

bu yerda: L - elektr uzatish tarmoqlarining uzunligi, km;

k_0 -solishtirma kapital mablag';

$$k_0=a+vF, \quad (8.3)$$

bu yerda: a - elektr uzatish tarmoqlarining 1 km uzunligi uchun kesim yuzasiga bog'liq bo'lmagan kapital mablag' (yo'llarni qurish, trassalarni tayyorlash; botqoqliklarni quritish va h.k.); vF - solishtirma kapital mablag'ning o'tkazgich kesim yuzasiga proporsional bo'lgan qismi (metall, tayanch, armatura va h.k. narhi).

(8.1) dagi I ning kesim yuzasiga bog'lanishini tahlil qilamiz.

Xizmat ko'rsatish qo'shimcha harajatlari amalda o'tkazgichlarning kesim yuzasiga bog'liq emas. Elektr energiya narhi esa kesim yuzasiga bog'liqdir:

$$I_{\Delta w}=\beta \Delta W=\beta \Delta R_{ekat} \tau=\beta 3 I_{ekat}^2 r_l \tau=3 \beta I_{ekat}^2 \rho L \tau / F, \quad (8.4)$$

bu yerda: $I_{e.kat}$ - tarmoqning eng katta ishchi toki;

ρ - o'tkazgich materiallarining solishtirma qarshiligi;

β - birlik elektr energiya isrofining narhi;

τ - eng katta isroflar vaqti.

Amortizatsiya va joriy ta'mir uchun foydalanishdagi harajatlar kesim yuzasiga bog'liq bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$I_a+I_t=\alpha_e K=\alpha_e(a+vF)L, \quad (8.5)$$

bu yerda: α_e - amortizatsiya va joriy ta'mir uchun yillik chegirma.

(8.2) va (8.5) ni (8.1) ga qo'ysak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$Z(F)=(a+vF)(p_n+\alpha_e)L+\beta Z I_{ekat}^2 \rho L \tau / F=Z_1+Z_2. \quad (8.6)$$

$Z(F)$ ni F bo'yicha differentsiallab va hosilani nulgga tenglab, harajatlar funktsiyasining minimum shartini topamiz (8.1-rasm).

$$\partial Z / \partial F=(p_n+\alpha_e)v L-\beta Z I_{ekat}^2 \rho L \tau / F^2=0 \quad (8.7)$$

$$\text{bundan} \quad F_{iq}=I_{ekat} \sqrt{3 \beta \rho \tau / [v(R_n+\alpha_e)]} \quad (8.8)$$

Tokning iqtisodiy zichligi – elektr uzatish tarmog'ida oquvchi eng katta tokning iqtisodiy zichligiga nisbati:

$$j_{iq} = I_{ekat} / F_{iq} \quad (8.9)$$

(8.4), (8.5) dan kelib chiqadiki,

$$j_{ik} = \sqrt{W(R_n + \alpha_e) / Z\beta\rho\tau} \quad (8.10)$$

Bu yerda, (8.10) faqatgina j_{iq} ning ma'nosini tushunish uchun keltirilgan bo'lib, u j_{iq} aniqlash uchun foydalanilmaydi.

EQO'Qga (PUE) muvofiq j_{iq} o'tkazgichning turi va maksimal yuklamadan foydalanish vaqti T_{ekat} ga bog'liq ravishda tanlanadi.

Amalda elektr uzatish tarmoqlari kesim yuzasini tanlash uchun avvalo jadvaldan j_{iq} topiladi, so'ngra iqtisodiy kesim yuzasi hisoblanadi.

$$F_{ik} = I_{ekat} / j_{iq} \quad (8.11)$$

(8.11) dan aniqlangan F_{iq} standart kesim yuzasigacha yaxlitlanadi.

Tahlil shuni ko'rsatadiki, kesim yuzasining F_{iq} dan og'ish keltirilgan harajatlarni sezilarli o'zgarishiga olib kelmaydi, chunki $Z = f(F)$ bog'lanish aniq ifodalangan minimumga ega emas. (8.11) dagi I_{ekat} - normal holat toki. j_{iq} ni topishda avariya dan keyingi holat toki hisobga olinmaydi. Chunki bunday holatlar qisqa vaqt davomida amal qiladi.

j_{iq} ning qo'llanilish sohasi. Ko'p yillar davomida tokning iqtisodiy zichligi 1 kV dan yuqori kabelli va 35-500 kV havodagi elektr uzatish tarmog'ining kesim yuzasini tanlashda qo'llanildi. Hozirgi davrda tok kuchining iqtisodiy zichligi bo'yicha $U_n > 1$ kV bo'lgan kabelli va 6-10 kV havodagi elektr uzatish tarmoqlari kesim yuzalari tanlanadi.

Tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlangan kesim yuzalari issiqlik, ruhsat etilgan kuchlanish isrofi ΔU_{rux} va mexanik mustahkamlik bo'yicha tekshirib ko'riladi. Agar j_{iq} bo'yicha tanlangan o'tkazgichning kesim yuzasi boshqa shartlar bo'yicha talab etilgan kesim yuzasidan kichik bo'lsa, bu shartlar bilan belgilangan eng katta kesim yuzasini tanlash lozim.

Quyidagi hollarda kesim yuzasini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash mumkin emas: 1 kV gacha kuchlanishli va eng katta yuklama vaqti 4000-5000 soat bo'lgan sanoat korxonalari elektr tarmoqlari; 1000 V gacha kuchlanishli alohida elektr qabul qilgichlarga chiquvchi shoxobchalar, sanoat korxonalari, yashash va jamiyat binolarining yoritish tarmoqlari; vaqtinchalik va shuningdek 3-5 yil muddatga xizmat qiladigan elektr qurilmalar tarmoqlari. So'nggi yillarda 35 kV va undan yuqori nominal kuchlanishli havodagi elektr uzatish tarmoqlarining kesim yuzalari tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlanmaydi. Amalda 35-750 kV kuchlanishli havodagi elektr uzatish tarmoqlari o'tkazgich simlarining kesim yuzasi tok va quvvatning iqtisodiy intervallari bo'yicha tanlanadi.

1 kV va undan yuqori kuchlanishdagi kabelli elektr uzatish tarmoqlarida tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlangan kesim yuzalari issiqlik, ruhsat etilgan kuchlanish, kuchlanishning og'ishi va qisqa tutashuv toklarida termik turg'unlik bo'yicha tekshiriladi.

j_{iq} bo'yicha kabelli elektr uzatish tarmoqlarining kesim yuzalarini tanlashda faqat (7.8) dagi kabi I_{ekat} dan emas, balki elektr uzatish tarmoqlaridan foydalanish jarayonida yuklama o'zgarishini hisobga oluvchi hisobiy tok yuklamasidan, shuningdek eng katta yuklamadan foydalanishdagi soatlar sonidan ham foydalanish tavsiya etiladi. Hisobiy tok yuklamasi, shuningdek 35-750 kV kuchlanishli havodagi elektr uzatish tarmoqlari kesim yuzasini iqtisodiy intervallar bo'yicha tanlashda ham foydalaniladi.

8.2. Havo elektr uzatish tarmoqlari kesim yuzalarini iqtisodiy intervallar bo'yicha tanlash

Kesim yuzasini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash qirqinchi yillardan boshlab foydalanilib, o'z vaqtida progressiv hisoblangan, chunki u nafaqat elektr uzatish tarmoqlarini qurishdagi kapital mablag'ni, balki elektr energiya isrofini ham hisobga olish imkonini beradi. Ushbu afzalliklarga qaramasdan kesim

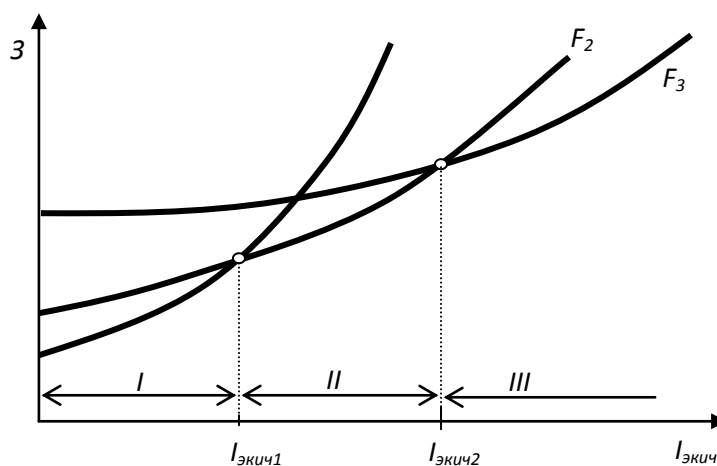
yuzasini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash ma'lum xatoliklarga olib keladi. Birinchidan, j_{iq} uchun (8.10) ifoda kapital mablag'ning elektr uzatish tarmoqlari uzunligiga to'g'ri chiziqli bog'lanishini ko'zda tutadi. To'g'ri chiziqli bog'lanish unifikatsiyalangan tayanchlardan foydalanuvchi elektr uzatish tarmoqlarini yalpi qurishga o'tish bilan buziladi. Sanoat har biri bir necha xil standart o'tkazgichlarni osishga mo'ljallangan cheklangan miqdorda unifikatsiyalangan tipdagi tayanchlarni ishlab chiqaradi. Bunga mos ravishda bir xil tipdagi unifikatsion tayanchlarda o'tkazgich kesim yuzasini o'zgarishi bilan kapital mablag' o'zgarishi ko'p material va montajni talab etuvchi navbatdagi tayanch tipiga o'tishidagiga nisbatan ancha kamdir. Ikkinchidan, j_{iq} uchun ifodani hosil qilishda keltirilgan harajatlar ifodasi (8.6) da kesim yuzasi uzluksiz deb hisoblangan. Amalda esa kesim yuzasi diskret ravishda o'zgaradi va shu sababli uni (8.7) shartidan topish mumkin emas. Uchinchidan, (8.6) ifodada eng katta tok $I_{e.kat}$ o'zgarmas deb hisobga olingan. Amalda bunday emas. Har xil tarmoqlar uchun $I_{e.kat}$ har xildir va (8.6) da $I_{e.kat}$ ni o'zgaruvchan deb hisoblash lozim. Bunday holda iqtisodiy kesim yuzasi nafaqat Z ning F bo'yicha hosilasini nulga tenglik sharti (8.7) dan, balki Z ning eng katta tok bo'yicha hosilasining ham nolga tenglik sharti (7.7) dan topilishi lozim. Yuqorida ko'rsatilgan kamchiliklardan bartaraf bo'lgan kesim yuzasini tanlash usuli «Iqtisodiy intervallar usuli» nomini olgan.

O'tkazgich kesim yuzasini tanlash uchun tok yuklamalarining iqtisodiy intervallari quydagicha aniqlanadi. 35-750 kV li havodagi elektr uzatish tarmog'ining turli xil standart yuzali o'tkazgichlari uchun keltirilgan harajatlarning elektr uzatish tarmoqlari toki $I_{e.kat}$ ga bog'lanishlari quriladi. Har bir kesim yuzasi uchun keltirilgan harajatlar (8.2) bo'yicha aniqlanadi. (8.6) ni quydagicha yozish mumkin:

$$Z = (r_n + \alpha_e)K + Z I_{e.kat}^2 r_l \tau \beta \quad (8.12)$$

8.2-rasmda hisoblangan harajatlarning 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 yuzalari F_1 va F_2 bo'lgan variantlarda keltirilgan harajatlar teng bo'ladigan $I_{e.kat1}$ eng katta tok kattaligini aniqlaydi. Agar elektr tarmoq toki $I_{e.kam1}$ dan kichik bo'lsa, u holda eng kichik harajatlar F_1 kesim yuzasiga to'g'ri keladi, ya'ni aynan shu kesim yuzani tanlash iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir. Agar tok $I_{e.kam1}$ va $I_{e.kam2}$ oralig'ida bo'lsa, ikkinchi kesim yuza F_2 , $I_{e.kam2}$ dan katta bo'lsa, uchinchi kesim yuza F_3 iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'ladi.



8.2-rasm. Iqtisodiy intervallarni qurish.

Tokning iqtisodiy intervallaridan foydalanilganda elektr uzatish tarmog'ining eng katta toki tushunchasini aniqlashtirish kerak. O'tkazgichlarning yuzalarini tokning quyidagi formula bo'yicha aniqlanuvchi hisobiy yuklamasi bo'yicha tanlash lozim.

$$I_x = I_{e.kam} \alpha_i \alpha_t \quad (8.13)$$

bu yerda: $I_{e.kam}$ - foydalanishning beshinchi yilida elektr uzatish tarmog'ining normal holatdagi toki. U ta'minlovchi va taqsimlovchi tarmoq elektr uzatish tarmoqlari uchun elektr sistemasining maksimal yuklamali holatini hisoblash natijasida aniqlanadi; α_i - elektr uzatish tarmog'i yillar davomida foydalanishda yuklama o'zgarishini hisobga oluvchi koeffitsient; α_t - uning maksimal yuklamadan

foydalanish vaqti T_{ekam} va uning energetika sistemasi maksimumigi to'g'ri kelishi K_m ni hisobga oluvchi koeffitsient.

110-220 kV elektr uzatish tarmoqlari uchun α_i ning qiymati 1,05 ga teng qilib, bundan yuqori kuchlanishlardagi elektr uzatish tarmog'i uchun bu koeffitsient qiymati esa jadvaldan olinadi.

35-750 kV elektr uzatish tarmoqlarining kesim yuzalari uchun tokning iqtisodiy intervallari qo'llanmalarda jadval ko'rinishida keltirilgan bu jadvallar barcha standart kesim yuzalari va har xil regionlar uchun tuzilgan.

8.3. Taqsimlovchi tarmoqlarda o'tkazgichlarining kesim yuzalarini tanlashning xarakterli xususiyatlari.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlarida ruhsat etilgan kuchlanish isrofini deb uning shunday qiymatiga aytiladiki, kuchlanishni rostlash natijasida elektr qabul qilgichdagi kuchlanish og'ishi Davlat standartida belgilangan texnik ruhsat etilgan qiymatlardan oshib ketmaydi. Taqsimlovchi elektr tarmoqda ruhsat etilgan kuchlanish isrofi doimo eng katta kuchlanish isrofidan kichik bo'lmasligi, ya'ni quyidagi shart bajarilishi lozim:

$$\Delta U_{ekam} \leq \Delta U_{rux} \quad (8.14)$$

Ta'minlash manbasi kuchlanishi taxminan o'zgarmasdir. Agar $\Delta U_{ekam} \leq \Delta U_{rux}$ bo'lsa, u holda chekka tugundagi kuchlanish qiymati ruhsat etilmaydigan darajada bo'ladi. 0,38-20 kV taqsimlovchi elektr tarmoqlarda o'tkazgich simlarning kesim yuzasi (7.14) ning bajarish shartidan kelib chiqib tanlanadi. Agar loyihalashtirishda tarmoq o'tkazgichining kesim yuzasi F ni oshirsak, aktiv va reaktiv qarshiliklar, hamda bunga mos ravishda eng katta kuchlanish isrofi kamayadi, chunki

$$\Delta U = (PR + QX) / U_n \quad (8.15)$$

O'tkazgichlarning solishtirma aktiv qarshiligi kesim yuzasiga teskari proportsional ravishda o'zgaradi, reaktiv qarshiligi esa, kesim yuzasiga zaif bog'langan. Ta'minlovchi elektr tarmoqlarda F ning o'zgarishi bilan x_0 kam o'zgaradi va $x_0 > r_0$. Bunday tarmoqlarda U ni rostlash imkoniyatlari ko'p va ΔU ni kamaytirish uchun F ni o'zgartirish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emas. Shu sababli F ni tanlashda (7.14) hisobga olinmaydi. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarda $r_0 > x_0$. Kesim yuzasi ortganda r_0 va bunga mos ravishda kuchlanish isrofi jadal kamayadi. Bunday tarmoqlarda kuchlanishni rostlash imkoniyatlari ko'p emas va shu sababli F ni tanlashda (8.14) sharti hisobga olinadi.

0,38-35 kV kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmoqlarida kesim yuzalarini tanlashning xarakterli xususiyatlari. Elektr tarmoqlari kesim yuzalarini (F) tanlashda iqtisodiy samaralilik, ruhsat etilgan kuchlanishlar va o'tkazgichni qizishi shartlarini hisobga olish lozimligi bilan belgilanadi. 1 kV gacha bo'lgan tarmoqlarda (yuqorida ko'rsatilgan holatlardan tashqari (7.1 paragraf) va 6-20 kV tarmoqlarda iqtisodiy samaralilik (j_{iq} bo'yicha), ruhsat etilgan kuchlanish ΔU_{rux} va issiqlik shartlari bo'yicha aniqlanadi. Shuni belgilash lozimki, kesim yuzasini turli shartlar bo'yicha aniqlashda bir xil natijani beruvchi bir necha algoritmlardan foydalanish mumkin. Birinchi algoritm o'tkazgich kesim yuzasini avvalo bitta eng asosiy shart, masalan j_{iq} bo'yicha, tanlash va so'ngra uni boshqa shartlar, masalan issiqlik va h.k. bo'yicha, tekshirishni nazarda tutadi. Ikkinchi algoritm esa standart kesim yuzasini, avvalo, har bir shart bo'yicha aniqlash va so'ngra ulardan eng kattasini tanlashni nazarda tutadi. Odatda, nisbatan soddaroq bo'lgan birinchi algoritm qo'llaniladi.

Elektr uzatish tarmog'i o'tkazgich simlarining kesim yuzasini ruhsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha tanlash tarmoq faqat bitta uchastkaga ega bo'lganda yetarlicha soddadir. Bunday holda (8.15) bo'yicha aniqlanuvchi ruhsat

etilgan kuchlanish o'tkazgich kesim yuzasini belgilaydi. Tarmoq bir nechta uchastkalardan tashkil topgan holat uchun kesim yuzalarini to'g'ridan-to'g'ri ΔU_{rux} bo'yicha tanlash mumkin emas. Bunday hollarda tarmoq uchun F kesim yuzasini tanlashda (8.14) dan tashqari bilvosita iqtisodiy shartlarni ifodalovchi qo'shimcha shartlar ham qo'yilishi lozim. Bu shart, masalan davomida bir nechta yuklamalar bo'lgan elektr uzatish tarmog'i uchun bir xil kesim yuzasini tanlashning maqsadga muvofiqligi, qator hollarda butun elektr uzatish tarmog'i bo'yicha metall sarfi yoki quvvat isrofining minimumligi bo'lishi mumkin. Kuchlanishni tanlashning barcha uchala ko'rib chiqilgan usullari ruhsat etilgan kuchlanish isrofi bilan belgilanadi. Ulardan har biri (8.14) va taqsimlovchi tarmoqlarda kesim yuzasini tanlashda ushbu usulni qo'llanish sohasini belgilovchi yana bir shartni qanoatlantiradi.

Har bir shart bajarilgan holda kesim yuzasini ruhsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha tanlashni tahlil qilamiz.

Kesim yuzasini elektr uzatish tarmog'ining barcha uchastkalarida bir xil bo'lishi sharti bo'yicha tanlash ($F_{kj} = \text{const} = F$). Bu shart shahar elektr tarmoqlarida o'tkazgich va kabellarning kesim yuzalarini tanlashda qo'llaniladi. O'tkazgichlar kesim yuzalarining tengligi elektr tarmoq yoki uning uchastkalarini qurish va montaj qilish uchun eng qulay sharoitni vujudga keltiradi. Bunday tizim bir-biriga yaqin joylashgan ko'p miqdordagi yuklamalarga ega bo'lgan elektr uzatish tarmoqlar uchun alohida afzalliklarga ega. Elektr uzatish tarmog'i tuzilishi va o'tkazgichlarining markalari aniqlangan (kesim yuzasidan tashqari) k -chi tugun quvvati S_k , tugunlar oralaridagi masofa l_{kj} , ruhsat etilgan kuchlanish isrofi ΔU_{rux} ma'lum. Elektr uzatish tarmog'ida eng katta kuchlanish isrofi quyidagicha topiladi:

$$\Delta U_{e.kat} = \sum_{k=1}^m \sum_{j=2}^m \frac{P_{kj} r_{kj} + Q_{kj} x_{kj}}{U_n} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=2}^m P_{kj} r_{kj}}{U_n} + \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=2}^m Q_{kj} x_{kj}}{U_n}, \quad (8.16)$$

bu yerda: k - elektr uzatish tarmog'i uchastkasining boshlanishi; j - elektr uzatish tarmog'i uchastkasining oxiri; r_{ki} , x_{ki} - elektr uzatish tarmog'i uchastkasining

qarshiliklari; R_{kj}, Q_{kj} - elektr uzatish tarmog'i uchastkasidagi aktiv va reaktiv quvvat oqimlari.

Elektr uzatish tarmog'ida ruhsat etilgan kuchlanishni ikkita tashkil etuvchi ko'rinishida ifodalaymiz:

$$\Delta U_{rux} = \Delta U_{rux.a} + \Delta U_{rux.r.} \quad (8.17)$$

bu yerda: $\Delta U_{rux.a}$ - (8.16) dagi birinchi tashkil etuvchisi bo'lib, u go'yo aktiv qarshilikdagi ruhsat etilgan kuchlanish isrofi; $\Delta U_{rux.r.}$ - (8.16) dagi ikkinchi tashkil etuvchi, ya'ni reaktiv qarshilikdagi ruhsat etilgan kuchlanish isrofi.

Faraz qilaylik, eng katta kuchlanish isrofi ruhsat etilgan kuchlanish isrofiga teng:

$$\Delta U_{rux} = \Delta U_{rux.a} + \Delta U_{rux.r} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=2} P_{kj} r_{kj}}{U_H} + \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=2} Q_{kj} x_{kj}}{U_H}; \quad (8.18)$$

bundan:

$$\Delta U_{rux.a} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=2} P_{kj} r_{kj}}{U_H}; \Delta U_{rux.r} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=2} Q_{kj} X_{kj}}{U_H}; \quad (8.18a)$$

Kesim yuzasi o'zgarishi bilan solishtirma reaktiv qarshilik x_0 kam darajada o'zgaradi (B.3,g-rasm) Shu sababli taqsimlovchi tarmoqlar uchun, elektr uzatish tarmog'i uchastkalarida kesim yuzasi bir xil bo'lganda, kesim yuzasini tanlash quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

a) x_0 uchun qiymat qabul qilinadi, masalan havodagi elektr uzatish tarmog'i uchun $x_0=0,4$ Om/km, 6-10 kV va 1 kV gacha kabelli elektr uzatish tarmog'i uchun esa mos ravishda 0,09 va 0,06 Om/km;

$$\text{b) (8.4) dan } \Delta U_{rux.r} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=2} Q_{kj} x_0 l_{kj}}{U_H}; \text{ hisoblanadi;}$$

$$\text{v) (7.3) dan } \Delta U_{rux.a} = \Delta U_{rux} - \Delta U_{rux.r.}$$

g) kesim yuzasi F aniqlanadi.

$\Delta U_{rux.a}$ elektr uzatish tarmog'i aktiv qarshiligidagi ruhsat etilgan kuchlanish isrofi:

$$\Delta U_{rux.a} = \frac{\sum_{\kappa=1}^m \sum_{j=2} P_{\kappa j} r_{0 \kappa j}}{U_n} . \quad \text{Bu formulada } r_0 = \frac{\rho}{F} = \frac{1}{\gamma F};$$

bu yerda: ρ - o'tkazgichning hisobiy solishtirma qarshiligi;

γ - o'tkazgichning hisobiy solishtirma o'tkazuvchanligi.

So'nggi ikkita ifodadan kelib chiqib yozishimiz mumkin:

$$\Delta U_{rux.a} = \frac{\sum_{\kappa=1}^m \sum_{j=2} P_{\kappa j} l_{\kappa j}}{\gamma F U_n} = \frac{1}{\gamma F} \sum_{\kappa=1}^m \sum_{j=2} \sqrt{3} I_{\kappa j} l_{\kappa j} \cos \varphi_{\kappa j} \quad (8.19)$$

(8.19) dan kesim yuzasini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$F = \frac{\sum_{\kappa=1}^m \sum_{j=2} \sqrt{3} I_{\kappa j} l_{\kappa j} \cos \varphi_{\kappa j}}{\gamma \Delta U_{pyx.a}} . \quad (8.20)$$

Topilgan kesim yuzasi F eng yaqin standart kesim yuzasiga yaxlitlanadi va so'ngra u uchun (8.14) shartining bajarilishi tekshiriladi. Agar bu shart bajarilmasa, u holda kesim yuzasini oshirish lozim.

Kesim yuzasini quvvat isrofini minimumlik sharti bo'yicha tanlash Shuni ko'rsatish mumkinki, quvvat isrofining minimumligi tok zichligining o'zgarmaslik holatigi to'g'ri keladi, ya'ni bunda elektr uzatish tarmog'ining barcha uchastkalarida tok zichligi bir xil bo'ladi:

$$j_{\Delta U} = \frac{I_{\kappa j}}{F_{\kappa j}} = const;$$

bu yerda: $j_{\Delta U}$ - ruhsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha tanlanuvchi tok zichligi. Bu qo'shimcha shart sanoat korxonalarining elektr ta'minoti sistemasi tarmoqlarida kesim yuzalarini tanlashda foydalaniladi. Bunday tarmoqlarda elektr uzatish tarmog'i nisbatan qisqa va yuklamalar nisbatan katta, ya'ni metall sarfi kam, elektr

energiya isrofi esa ko'p. Sanoat tarmoqlarida quvvat va elektr energiya isrofini kamaytirish alohida ahamiyatga ega. Ushbu holatda farq shundan iboratki, uchastkalarida kesim yuzalari F_{kj} har xil, biroq tok zichligi $j_{\Delta U}$ bir xil bo'ladi.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlari elektr uzatish tarmog'ining barcha uchastkalarida tok zichligi bir xil bo'lganda hisob quyidagi tartibda olib boriladi:

a) $x_0=0,4$ Om/km qabul qilinadi;

b) (8.18a) va (8.17) ifodalar bo'yicha $\Delta U_{rux.r}$ va $\Delta U_{rux.a}$ hisoblanadi.

v) ruhsat etilgan kuchlanish bo'yicha tokning zichligi $j_{\Delta U}$ topiladi va so'ngra elektr uzatish tarmoqlarining barcha uchastkalari uchun kesim yuzasi aniqlanadi. (8.19) ifodadan tokning zichligi ruhsat etilgan kuchlanish bo'yicha quyidagicha aniqlanadi:

$$j_{\Delta U} = \frac{\Delta U_{pyx.a} \gamma}{\sqrt{3} \sum_{\substack{k=1 \\ j=2}}^m I_{kj} \cos \varphi_{kj}}$$

Topilgan tok zichligi bo'yicha hisobiy kesim yuzasi oson aniqlanadi:

$$F_{kj} = \frac{I_{kj}}{j_{\Delta U}}.$$

Hisoblangan kesim yuzasi eng yaqin standartiga yaxlitlanadi. elektr uzatish tarmog'i uchastkalarining aktiv va reaktiv qarshiliklari r_{kj} , x_{kj} lar aniqlanadi. (8.15) bo'yicha eng katta kuchlanish isrofi hisoblanadi va u (8.14) shart bo'yicha tekshirib ko'riladi. Agar bu shart bajarilmasa, kesim yuzasi oshiriladi.

Kesim yuzasini elektr uzatish tarmog'ini qurish uchun o'tkazuvchi material sarfining minimumlik sharti bo'yicha tanlash. Bu qo'shimcha shart metall iqtisodi elektr energiya iqtisodiga nisbatan muhimroq bo'lgan kam yuklanmagan hollarda, xususan, qishloq elektr tarmoqlarini loyihalashda foydalaniladi. n -ta yuklamaga ega bo'lgan holatda oxirgi $(n-1)$ - uchastka elektr uzatish tarmog'ining kesim yuzasi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$F_{(n-1)n} = \frac{\rho \sqrt{P_{(n-1)n}}}{\Delta U_{pyx.a} U_H} \sum_{k=1, l=2}^n l_{kj} \sqrt{P_{kj}} ;$$

bu yerda: $F_{(n-1)n}$, $P_{(n-1)n}$ - oxirgi $(n-1)n$ - uchastkaning kesim yuzasi va undagi quvvat oqimi; R_{kj} , l_{kj} - $k \cdot j$ uchastkaning quvvat oqimi va uzunligi; ρ - o'tkazgichning hisobiy solishtirma yuklamasi.

Qolgan uchastkalarining kesim yuzalari quyidagi munosabatlar asosida topilishi mumkin:

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

Tanlash jarayonining navbatdagi ishi, yuqorida ko'rilgan holatlardagidek, topilgan kesim yuzalarini eng yaqin standartlariga yaxlitlash, ularni (8.3) shart bo'yicha tekshirish va bu shart bajarilmagan taqdirda tanlangan kesim yuzasini oshirishni nazarda tutadi.

Tekshirish uchun savollar

1. Elektr tarmoqlarning iqtisodiy ko'rsatkichlari elektr uzatish tarmoqlari o'tkazgichlarining kesim yuzasiga qanday bog'liqlikka ega?
2. Tokning iqtisodiy zichligi nima? U qanday aniqlanadi?
3. O'tkazgichlarning kesim yuzasi tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha qanday tanlanadi?
4. O'tkagichlarni tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash usulining qo'llanilish sohasi qanday?
5. O'tkazgichlarni tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash usulining afzallik va kamchiliklari nimalardan iborat?
6. O'tkazgichlarni iqtisodiy intervallar usulida tanlashning ma'nosini tushuntiring.
7. Iqtisodiy intervallar usulining qo'llanilish sohasi qanday?
8. Iqtisodiy intervallar usulining afzallik va kamchiliklari nimalardan iborat?

9. O'tkazgichlarni elektr uzatish tarmog'ining barcha uchastkalarida kesim yuzalarini bir xil bo'lishi sharti bo'yicha tanlash usulining ma'nosini tushuntiring. Bu usul qanday tarmoqlarda qo'llaniladi?
10. O'tkazgichlarni elektr uzatish tarmog'ida quvvat isrofining minimal bo'lish sharti bo'yicha tanlash usulining ma'nosini tushuntiring. Bu usul qanday tarmoqlarda qo'llaniladi?
11. O'tkazgichlarni foydalaniluvchi materailning minimal bo'lish sharti bo'yicha tanlash usulining ma'nosini tushuntiring. Bu usul qanday tarmoqlarda qo'llaniladi?
12. Elektr tarmoqlarning iqtisodiy ko'rsatkichlari elektr uzatish tarmoqlari o'tkazgichlarining kesim yuzasiga qanday bog'liqlikka ega?
13. O'tkazgichlarning kesim yuzasi tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha qanday tanlanadi?
14. O'tkagichlarni tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash usulining qo'llanilish sohasi qanday?
15. O'tkazgichlarni tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash usulining afzallik va kamchiliklari nimalardan iborat?
- O'tkazgichlarni iqtisodiy intervallar usulida tanlashning ma'nosini tushuntiring.
16. Iqtisodiy intervallar usulining qo'llanish sohasi qanday?
17. Iqtisodiy intervallar usulining afzallik va kamchiliklari nimalardan iborat?
18. O'tkazgichlarni kuchlanish isrofining ruhsat etilgan qiymati bo'yicha tanlash usulining ma'nosini tushuntiring. Bu usul qanday tarmoqlarda qo'llaniladi?
19. Tokning iqtisodiy zichligi nima? U qanday aniqlanadi?
20. Tokning iqtisodiy zichligi qanday aniqlanadi?

9-bob. ELEKTR ENERGIYASI ISROFLARI STRUKTURASI, HISOBLASH VA TAHLIL QLISH USULLARI

9.1. Elektr energiyasini uzatishda energiya isroflarining strukturasi.

Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash uchun mo'ljallangan elektr tarmoq, xuddi boshqa texnik ob'ektlarga o'xshash, faoliyatini yuritishi uchun, elektr energiyasini uzatishga kerak bo'ladigan texnologik energiya sarfi ko'rinishida ifodalanuvchi, ma'lum bir energiya sarfi bo'lishini talab qiladi (9.1-rasm). Elektr energiyasi isroflari podstantsiyaning ishlab chiqarish zarurati uchun sarf bo'lgan elektr energiyasidan va elektr energiyasini uzatish jarayonining fizik moyiyati bilan bog'liq bo'lgan elektr energiyasining texnik isroflaridan iborat bo'ladi. Elektr tarmoqlarning qurilishi va ekspluatatsiyasining sifat darajasi uning foydali ish koeffitsienti bilan xarakterlanadi:

$$\eta = \frac{W_j - W_{ts}}{W_j} 100 \% = \frac{W_j - W_{xi} - \Delta W_{ei}}{W_j} 100 \% , \quad (9.1)$$

bu yerda: W_j – elektr tarmoqqa berilgan jami energiya miqdori;

W_{ts} – elektr energiyasini uzatish uchun uning texnologik isrofi;

W_{xi} – podstantsiyaning xususiy iste'moli uchun sarf bo'lgan elektr energiyasi miqdori;

ΔW – elektr energiyasi isroflari.

Energosistema bilan elektr iste'molchilar orasida moliyaviy hisob-kitoblar uchun energiya balansining tahlili muhim o'rin tutadi.

$$W_j = W_t + W_{ti} \pm \Delta W_k,$$

bu yerda: W_t –iste'molchilar tomonidan haqi to'langan elektr energiyasi;

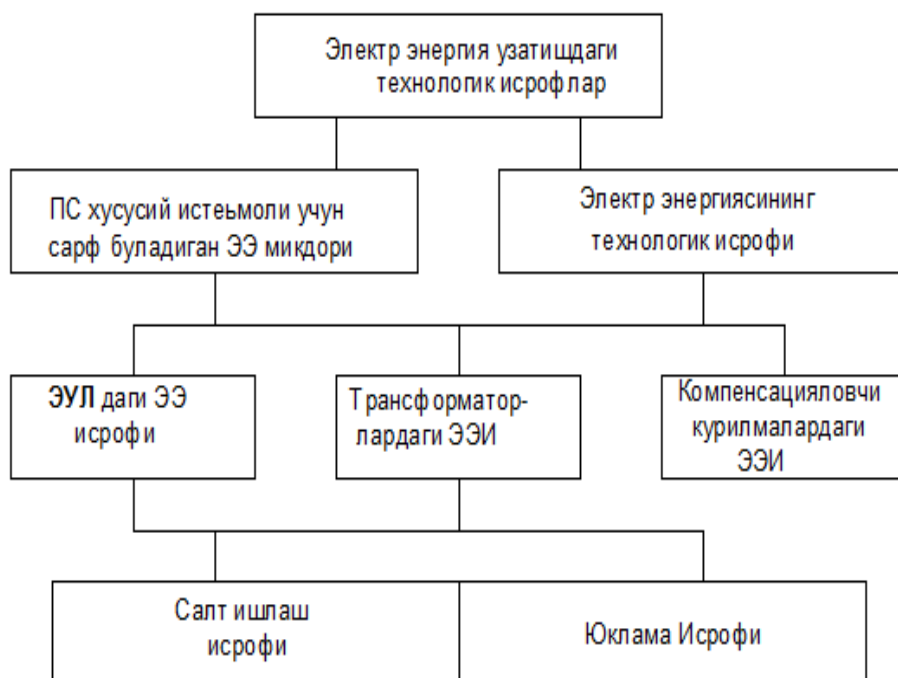
ΔW_k –tijorat yoki kommertsiya isroflari

W_{ti} – texnologik energiya sarfi

Tijorat yoki kommertsiya isroflari hisobga olish xatoliklari bilan bog'langan (ular ham musbat yoki ham manfiy ishorali bo'lishi mumkin). Bu xatoliklar elektr energiyasini elektrostantsiyalar, iste'molchilar va tarmoqlardagi ko'p sonli elektr energiyasini hisobga olish (o'lchash) asboblarning xatoliklari, elektr energiyasiga o'z vaqtida haq to'lanmaganligi uchun yoki elektr energiyasini elektr tarmoqlar va istemolchilarda talon taroj qilinishi natijasida bo'lishi mumkin. Tarmoq elektr rejimlari tahlilida ham aktivnoy va ham reaktiv elektr energiyasi isroflari ahamiyatli hisoblanadi. Elektr energiyasi isroflarining taxliga o'tishda esa, faqat aktiv elektr energiyasi isroflari ahamiyatga molik bo'ladi. reaktiv elektr energiyasi isroflari kattaligi amaliy ahamiyatga ega bo'lmaydi. Energiya isroflari kattaligi odatda yetkazib berilgan energiyaga nisbatan foiz miqdorlarda baholanadi. Bu yerda elektr energiyasi isroflari qancha bo'lishi kerak degan savolga javob topish kerak bo'ladi. Elektr tarmoqlarda elektr energiyasi isroflarini masalan o'tkazgich simlarining kesim yuzasini kattaroq bo'lganlariga almashtirib kamaytirish mumkin. Lekin bunda o'tkazgich simlarining materialiga bo'lgan kapital mablag'lar sarfi ortadi. Shu sababdan elektr tarmoq konstruksiyasini tanlashda tarmoq sxemasining samarali qurishda raqobatlashuvchi optimallashtirish parametrlari sifatida kapital mablag'lar sarfi va elektr energiyasi isroflari narhi olinadi. Aytilganlardan kelib chiqib xulosa qilamizki, elektr energiyasi isroflari har doim ham asosiy parametr bo'la olmaydi, chunki energosistemaning konkret konstruksiyasi va sharoitlari uchun optimal (samarali) elektr energiyasi isroflarining kattaligi mavjud bo'ladi. Ekspluatatsiya sharoitida esa real elektr tarmoq uchun, agan bu qo'shimcha kapital mablag'larga olib kelmasa, elektr energiyasi isroflarining kattaligini doim kamaytirishga harakat qilish kerak bo'ladi. Turli rivojlangan davlatlar energosistemasi tajribasidan kelib chiqib aytishimiz mumkinki, elektr energiyasi isroflari keng diapazoda o'zgarishi mumkin

va o'rtacha 7 dan 15 % foizgacha bo'lishi mumkin. Elektr energiyasi isroflarining samarali kattaligining muhim parametr bo'lib, uning kattaligini ortishi

qo'shimcha yoqilg'i sarfi bilan bog'langan, qo'shimcha elektr energiyasi ishlab chiqarishga olib keladi. Shunday qilib, elektr energiyasi isroflari issiqlik elektrostantsiyalardagi yoqilg'i sarfi bilan to'g'ridan-to'g'ri bog'langan bo'lib, energosistema faoliyatining iqtisodiy ko'rsatkichlariga to'g'ridan-to'g'ri ta'sir ko'rsatadi. Ba'zida aytishadi, elektr energiyasi isroflarini hisoblash umuman shartmikan, uning kattaligini elektrostantsiyada va iste'molchilar oldida hisobga olib, schetchiklarning ko'rsatishlari farqi ko'rinishida aniqlash mumkin.



9.1-rasm. Elektr energiyasini uzatish isroflarining strukturasi

Uning kattaligini elektrostantsiyada va iste'molchilar oldida hisobga olib, schetchiklarning ko'rsatishlari farqi ko'rinishida aniqlash mumkin. Lekin bunday yondoshuv elektr energiyasi isroflari muammosini echmaydi, chunki bunda o'lchov asboblari ma'lum bir xatolik bilan o'lchashi mumkin, ikkinchidan bunda elektr tarmoqning uchastkalari bo'yicha elektr energiyasi isroflarining

taqsimlanishini bilolmay qolamiz. Natijada elektr tarmoqdagi elektr energiyasi isroflari o'choqlarini bila olmaymiz va uni kamaytirish bo'yicha qanday samarali chora tadbirlar qo'llanilishi no'ma'lum bo'lib qoladi. Elektr energiyasi isroflarini kamaytirish bo'yicha samarali chora tadbirlar ishlab chiqish va qolaversa elektr tarmoqlarni loyihalashtirishda elektr energiyasi isroflari miqdori hisoblab topiladi. Eksploatatsiya sharoitida xisobotli (belgilangan davr uchun haqiqiy isroflar) va rejali bo'ladi. Bunda elektr energiyasi isroflari miqdori bir oy, kvartal, yoki yil uchun aniqlanilishi mumkin. Elektr tarmoqlarni loyihalashtirishda ko'pincha yillik elektr energiyasi isroflari miqdori olinadi. Ma'lumki loyihaviy hisoblarda elektr energiyasi isroflari miqdorini eksploatatsiyaviy sharoitlari uchun hisoblariga nisbatan kamroq aniqlik talab qilinadi, chunki loyihalash hisoblarida dastlabki ma'lumotlar kamroq bo'ladi. Hisoblarning ma'lumotlar bilan ta'minlanganligi yana hisoblash usullariga ham bog'liq bo'ladi. Elektr tarmoq uchastkalari optimal loyihalashtirilganligini bilish uchun ulardagi elektr energiyasi isroflari miqdorini tarkibini tahlil qilish va aniqlash kerak bo'ladi. Elektr energiyasi isroflarining strukturaviy tahlili elektr tarmoqni gruppalariga bo'lib bajariladi: sistemalararo va olisga tortilgan elektr uzatish liniyalar, 110-500 kV kuchlanishli asosiy tarmoqlar, 6, 10, 35 kVli taqsimlovchi tarmoqlar, kuchlanishi 1000 Vgacha bo'lgan tarmoqlar.

Har bir elektr tarmoqlar guruhi ichida yana kuchlanishlar klacsi hisobga olinadi. Liniyalar va transformatorlarda elektr energiyasi isroflari yuklamaga bog'liq va yuklamaga bog'liq bo'lmagan (salt ishlash isroflari) guruhlarga ajratiladi. Shu yo'l bilan elektr energiyasi isroflari haqidagi ma'lumotlar tahlili, sistema zvenolarida elektr energiyasi isroflarining salmog'ini aniqlash va baholash imkonini beradi. To'plangan ma'lumotlar dinamikasi elektr energiyasi isroflarini kamaytirishning samarali yo'llarini topish imkonini beradi. Tanlangan yo'llar keyinchalik batafsil texnik – iqtisodiy tahlil qilinishi va samaradorligi baholanishi zarur. Foydalanilgan yo'llar va metodlarning haqiqiy elektr energiyasi isroflariga ta'siri o'rganiladi. Agar aktiv va reaktiv yuklama xarakteriga, bir necha generatori bo'lgan elektrostantsiyaga ega bo'lgan elektr tarmoqning ish rejimi

ma'lum bo'lsa, ya'ni kuchlanish miqdori ma'lum bo'lib, o'zgarishsiz qolsa, t vaqt ichidagi elektr energiyasi isroflari miqdorini to'g'ridan-to'g'ri hisoblash mumkin bo'lar edi:

$$\Delta W = \Delta P \cdot t, \quad (9.2)$$

bu yerda: ΔP –berilgan rejim parametrlarida quvvat isroflari miqdori.

Lekin haqiqatda elektr tarmoqning ish rejim parametrlari doimo o'zgarib turadi. Bu o'zgarishlarning ko'pchiligi tasodifiy xaraktyerda bo'ladi. Har qanday holatda hisoblar sodda bo'lishi uchun biror uchastka yoki elementi olinib (liniya, transformator), unda elektr energiyasi isroflari aniqlanadi. Xilma xil uchastkalarga ega bo'lgan, bir uchastka rejimlari boshqa uchastka rejimlariga ta'sir ko'rsatib turgan murakkab tarmoqlar uchun (sistemaviy va taqsimlovchi) maxsus usullar qo'llaniladi.

Elektr uzatish liniyalarida va transformatorlarda salt ishlash va yuklama elektr energiyasi isroflari bo'ladi (9.1-rasm). Salt ishlash elektr energiyasi isroflari uchastkalardagi yuklama toklariga bog'liq bo'lmaydi va doimiy isroflar deb qabul qilinadi, haqiqatda esa bu isroflar kuchlanish rejimlariga bog'liq ravishda ma'lum darajada o'zgaradi. Transformatorlardagi salt ishlash isroflari quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta W_{xt} = \Delta R_x T_t, \quad (9.3)$$

bu yerda: ΔR_x –salt ishlash quvvat isroflari;

T_t – T hisobiy vaqt ichida transformatorning ishlab turgan vaqti.

Agar hisobiy davrni bir yil deb qabul qilsak, ya'ni $T_t \approx 8760$ ch. bo'lsa, kabel tarmoqlarining T_{kl} ishlab turgan vaqtida izolyatsiyadagi ΔR_{iz} aktiv quvvat isroflari oqibatida bo'lgan energiya isroflari quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta W_{xkl} = \Delta R_{iz} T_{kl}. \quad (9.4)$$

Havo elektr uzatish tarmoqlarning salt ishlash isroflari toj razryad isroflaridan va izolyatorlardan o'tayotgan sirqib chiqish toklari isroflaridan iborat bo'ladi. Elektr uzatish liniyasining toj razryad isroflari o'tkazgich simlarning kesim yuzasiga, ob-havo sharoitiga (namlik, qor, muzlash, qirov bilan qoplanish) va kuchlanish kattaligiga bog'liq bo'ladi. Elektr energiyasi isroflari miqdori har

bir region uchun, eksperiment yo'li bilan aniqlangan quvvat isroflari kattaligiga asoslanib hisoblanadi.

Elektr uzatish liniyasida izolyatorlar orqali o'tayotgan o'tish toki kattaligi 0,5 –1 mA atrofida bo'lib, izolyatorlarning ifloslanishiga, ob-havo sharoitiga va bir km masofadagi tayanchlar soniga bog'liq bo'ladi. Elektr tarmoq elementlarida T hisobiy vaqt ichidagi yuklama isroflari aktiv qarshilik R va kuchlanish U kattaliklari o'zgarishsiz qolganda quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta W = 3 R \int_0^T I^2(t) dt = \frac{R}{U^2} \int_0^T S^2(t) dt, \quad (9.8)$$

bu yerda: $I - t$ vaqt ichida elektr tarmoq elementidan o'tayotgan tok kattaligi;

$S - t$ vaqt ichida elektr tarmoq elementidagi quvvat.

Lekin tok yoki quvvat $I_2(t)$ va $S_2(t)$ kattaligini sutka yoki yil davomidagi o'zgarishlarini qayt qilib borish murakkab masala hisoblanadi. SHu sababli yuklama isroflarini hisobida turli xil cheklanishlarga yo'l qo'yiladi, ularga asoslanib, xilma-xil hisoblash usullari ishlab chiqiladi. Elektr energiyasi isroflarining amaliy hisoblarida yuqoridagi metodlarga asoslanib EHM da amalga oshiriladigan dasturiy material ishlab chiqilgan. Elektr tarmoqlari konstruksiyasi xususiyatlaridan kelib chiqib, me'yoriy xujjatlarda elektr energiyasi isroflari miqdori keltirilgan bo'ladi. Har bir uchastkada tarmoq uzunligi va o'tkazgich simlarning kesim yuzasiga qarab elektr energiyasi qiymati hisoblanadi va jadval qiymatlari bilan solishtiriladi va tarmoq faoliyati baholanadi.

9.2. Elektr energiyasi isroflari hisobining usullari

9.2.1. Elektr energiyasi isroflarini hisobining xarakterli sutkalik rejimlar usuli

Bu usulda hisobiy T davr ichidagi xarakterli sutkalar ajratib olinadi. Tanlab olingan sutkalar uchun yuklama grafiklari ishlab chiqiladi, har bir grafik pog'onalarida yuklama doimiy deb qabul qilinadi. U holda mos xarakterli sutkalar uchun elektr energiyasi isroflari miqdorini quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta W_x = \sum_i \Delta P_i t_i = 3R \sum_{i=1}^n I_i^2 t_i = \frac{R}{U^2} \sum_{i=1}^n S_i^2 t_i, \quad (9.10)$$

bu yerda: I – i-grafik pog'onasidagi elektr tarmoq elementidan o'tayotgan tok kattaligi;

S_i – i-yuklama grafigi pog'onasidagi quvvat kattaligi;

t_i – i-grafik pog'onasining davomiyligi;

n –sutkalik grafikning pog'onalari soni

Elektr energiyasining yillik isroflari miqdori quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta W_y = \sum_{j=1}^m \Delta W_{xj} n_{xj} \quad (9.11)$$

bu yerda: m –ko'zda tutilgan xarakterli sutkalar soni;

n_{xj} - j - xarakterli sutkalar soni.

Xarakterli sutkalar sifatida ishchi sutkalar, dam olish kunlar, qishki, yozgi sutkalar olinadi, ya'ni sutkalar soni 8 bo'lsa, uholda $m = 8$ bo'ladi. Taxminiy hisoblarda odatda xarakterli yozgi va qishki sutkalar soni olinadi. U holda elektr energiyasi isroflari quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta W = \Delta W_{znz} + \Delta W_{nl}, \quad (9.12)$$

bu yerda: ΔW_z , ΔW_l –xarakterli qishki va yozgi sutkalardagi elektr energiyasi isroflari miqdorlari; n_z , n_l – xarakterli qishki va yozgi sutkalar soni, odatda $n_z = 152$, $n_l = 213$ deb qabul qilinadi.

Ekspluatatsiya sharoitida yuklama grafiklari yilning xarakterli sutkalari uchun maxsus o'lchovlar natijasida shakllantiriladi. Elektr tarmoqlarni loyihalashtirishda hisobiy yuklamalar taxminan aniqlanadi, shu sababdan, hisoblab topilgan elektr energiyasi isroflari ham taxminiy bo'ladi. Metodning kamchiliklari shundan iboratki, olinayotgan quvvat aktiv emas, to'la quvvat olinadi, va oqibatda taxminiy natijalar chiqadi. Bundan tashqari hisoblar natijasiga tarmoq sxemasining yil davomida o'zgarishi, yuklamaning yil davomida, yoki sutka davomidagi dinamikasi, elektrostantsiya yuklamasining o'zgarishi va boshqa omillarning o'zgarishi ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli yilning xarakterli sutkalari uchun hisoblangan elektr energiyasi isroflari miqdori sutka va yil davomida o'zgarishsiz qolmaydi. Shunday bo'lsada, xarakterli rejimlar usuli boshqa

metodlarga nisbatan ancha aniq hisoblanadi. Bu usul energosistemadagi asosiy hisoblash usuli sifatida tavsiya qilinadi, hamda boshqa metodlari natijalarini baholashda etalon sifatida olinadi. 9.11 va 13.12 ifodalar bo'yicha hisoblangan yillik isroflar aniqligini oshirish uchun smenalardagi majburiy o'zgarishlarni hisobga oluvchi yuklama rejimlarining doimiymaslik koeffitsienti k_{cx} kiritiladi:

$$\Delta W_{sx} = \Delta W_{ksx}. \quad (9.13)$$

Yuklama rejimlarining doimiymaslik koeffitsienti k_{cx} kattaligini 1,04–1,08 atrofida qabul qilinadi. Agar xarakterli sutkalar uchun ΔW_{xj} elektr energiya isroflari kattaligini aniqlashda qiyinchiliklar bo'lsa, (9.11 ifoda) hisoblashlarni xarakterli rejimlar metodi bilan amalga oshirish zarur. U holda yillik elektr energiyasi isroflari quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta W = \sum_{j=1}^k \Delta P_j \Delta t_j, \quad (9.14)$$

bu yerda: ΔP_j – j -chi rejimdagi yuklama quvvat isroflari;

Δt_j – j -chi rejimning davomiyligi;

k – tanlab olingan xarakterli rejimlar soni.

Bu yerda eng qiyini, tanlab olingan xarakterli rejimlarni va ularning davomiyligini asoslashning murakkabligidir.

9.2.2. O'rtacha yuklamalar metodi.

Ko'rib chiqilayotgan T davr muddatlar uchun yuklama elektr energiyasi isroflari quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta W = \Delta R_{sr} T, \quad (9.15)$$

bu yerda: ΔR_{sr} – tarmoqning o'tacha yuklamalaridagi aktiv quvvat isroflari kattaligi.

Ekspluatatsiya sharoitida o'rtacha yuklamalar miqdori aktiv W_a va reaktiv W_r elektr iste'molini o'lchovlari natijasida aniqlanadi:

$$R_{o'r} = \frac{W_a}{T}, \quad Q_{o'r} = \frac{W_r}{T}.$$

W_a va W_r kattaliklarini o'lchab olish qiyin bo'lganida, ular taqriban quyidagi ifodalar bilan aniqlanishi mumkin:

$$R_{o'r} = \frac{W_{ekat} + W_{ekich}}{2}, \quad Q_{o'r} = \frac{Q_{ekat} + Q_{ekich}}{2} \quad (9.16)$$

bu yerda: R_{nb} , Q_{nb} – T davr ichida bo'lgan eng katta yuklamalar rejimidagi aktiv va reaktiv quvvatlar;

R_{nm} , Q_{nm} – T davr ichida bo'lgan eng kichik yuklamalar rejimidagi aktiv va reaktiv quvvatlar.

Shunday qilib, elektr tarmoqda elektr energiyasi isrofini aniqlash uchun uchastkalardagi o'rtacha yuqlamalari ma'lum bo'lgan tarmoq sxemasini ishlab chiqish, quvvatlar oqimi taqsimotini aniqlash, ularga asoslanib quvvat isroflarining o'rtacha qiymatlarini aniqlash kerak bo'ladi. Ammo (9.15) ifoda, elektr energiyasi isroflarining bazaviy qiymatlarini aniqlaydi. Shu bilan birgalikda elektr tarmoq uchastkalarida yuklama grafiklarining xarakterlari turlicha bo'ladi, bu esa uchastkalardagi turli rejimlardagi quvvatlar oqimiga va quvvatlar isrofiga ta'sir ko'rsatadi. Shu holatni hisobga olish uchun, elektr energiyasi isroflari ifodasiga yuklama grafigi shakli koeffitsienti k_f kiritiladi:

$$\Delta W = \Delta P_{cp} T k_f^2, \quad (9.17)$$

Bu koeffitsient vositasida quvvat isroflari kattaligini eng katta yuklamadan foydalanish vaqti bog'lanadi:

$$k = \frac{1090}{W_{ekat}} + 0,876 \quad (9.18)$$

Ochiq elektr tarmoq uchastkalari uchun aktiv yoki to'la quvvat uchun eng katta quvvatlar iste'moli T_{nb} vaqti shu uchastkadan ta'minlanayotgan n uzellarning $T_{i\,nb}$, o'rtacha ta'sir etuvchi qiymatlariga tayangan holda n uzellarning $T_{i\,nb}$, eng katta yuklamalar vaqti bo'yicha hisoblanadi:

$$T_{o'rt} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{i\,ekat} R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (9.19)$$

bu yerda R_i – i -chi uzelnining yuklamasi.

Yopiq tarmoqlarda $T_{sr.vz}$ kattaligini barcha uzellardagi R_i va $T_{i\,nb}$ bo'yicha aniqlashda qo'pol xatoliklarga yo'l qo'yilishi mumkin, va real sharoitlarda, yopiq

tarmoqlarda k_f kattaligini boshqacha ko'rinishda quyidagicha aniqlash mumkin bo'ladi:

$$k_f = \sqrt{1 + \frac{3(1-k_{\min})^2}{4(1+k_{\min})^2}} \quad (9.20)$$

bu yerda: $k_{\min}$ – elektr tarmoq uchastkasidagi eng kichik yuklamani eng katta yuklamaga nisbati quyidagi ko'rinishida aniqlanadi:

$$k_{\min} = \frac{R_{ekich}}{R_{ekat}} \quad \text{yoki} \quad k_{\min} = \frac{S_{ekich}}{S_{ekat}} \quad (9.21)$$

110 –10 kV kuchlanishli elektr tarmoqlarning real yuklama grafiklari uchun koeffitsient k_f qiymatlari 1,05–1,15 diapazonda yotadi. Bu usul kuchlanishi 110 kV va undan yuqori bo'lgan elektr tarmoqlarda elektr energiyasi isroflarini aniqlash uchun foydalanilishi mumkin. Lekin uning qo'llanilishi elektr energiyasi isroflarini kamaytirish yo'llarini qidirishda xatoliklarga olib kelishi mumkin.

9.2.3. O'rtacha kvadrat rejim parametrlari metodi

Bu usulda T o'zgarishsiz davr ichida real o'zgaruvchan yuklanishli tarmoq uchastkasini T davt ichida shu elektr energiyasi isroflari keltiruvchi, ma'lum bir o'rtacha kvadrat yuklamali yuklamaga su'niy ravishda almashtiriladigan usul ishlatiladi. Yuklama sifatida tok yoki to'la quvvat olinadi. 13.8 ifodani hisobga olib, quyidagini yozishimiz mumkin:

$$\begin{aligned} \Delta W &= 3R \int_0^T I^2(t) dt = 3RI_{o'rt.kv}^2 \cdot T \\ \Delta W &= \frac{R}{U^2} \int_0^T S^2(t) dt = \frac{R}{U^2} S_{o'rt.kv}^2 \cdot T \end{aligned} \quad (9.22)$$

bu yerda: I_{sk} , S_{sk} –o'rtacha kvadrat tok va quvvat.13.22 ifodadan kelib chiqib yozishimiz mumkin:

$$I_{o'rtkv} = \sqrt{\frac{\int_0^T I^2(t) dt}{T}}; \quad \text{yoki} \quad S_{o'rtkv} = \sqrt{\frac{\int_0^T S^2(t) dt}{T}};$$

ya'ni, I_{sk} va S_{sk} larning o'rtacha kvadrat rejim parametrlari $I(t)$ va $S(t)$ yuklama grafiklari xarakteriga bog'liq bo'ladi. Albatta, agar tarmoq uchastkalaridagi yuklama grafiklari ma'lum bo'lsa hisoblar bevosita xarakterli rejimlar hisobi

usulidan foydalanish mumkin. Lekin avvaldan izlanishlar o'tkazib, o'rtacha kvadrat rejim parametrlari va yuklama grafiklari parametrlari orasidagi bog'lanishlar aniqlansa, keyingi elektr energiyasi isroflarini hisoblari sezilarli darajada soddalashadi. Quyidagi ko'rinishdagi empirik bog'lanish aniqlangan:

$$I_{sk} = I_{nb}(0,12 + T_{nb} \cdot 10^{-4}), \quad (9.23)$$

bu yerda: I_{nb} –turli maqsadlarda foydalaniladigan (o'tkazgich simlarning kesim yuzasini aniqlashda, ruxsat etilgan qizish toki bo'yicha tekshirishda va hokazo), xarakterli kattalik bo'lib, yuklama grafigidagi tokning eng katta qiymati. O'rtacha kvadrat tokning o'rtacha tok va yuklama grafigi shakli koeffitsienti bilan bog'liqligi ham ma'lum bo'lsin:

$$I_{sk} = k_f I_{o'r}, \quad (9.24)$$

T vaqt ichida o'rtacha tok kattaligi miqdori I_{cr} uchun quyidagini yozishimiz mumkin:

$$I_{o'r} = \frac{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}{\sqrt{3} U T}. \quad (9.25)$$

Shunday qilib, o'rtacha kvadrat parametrlar usuli bilan EEsining yuklama isroflari kattaligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta W = 3 \cdot I_{o'rtkv}^2 R \cdot T \quad (9.26)$$

yoki

$$\Delta W = \frac{S_{o'rtkv}^2}{U^2} R \cdot T \quad (9.27)$$

Amalda o'rtacha kvadrat parametrlar usuli 6–35 kV kuchlanishli ochiq taqsimlovchi tarmoqlarda elektr energiyasining yuklama isroflari kattaligi qo'llanilishi mumkin. Lekin 110 kV dan yuqori kuchlanishli tarmoqlarda o'rtacha kvadrat parametrlar usulini tavsiya qilib bo'lmaydi, chunki T_{nb} , k_f va elektr tarmoq uzellaridagi yuklama grafiklari parametrlari orasida yaqin korrelyatsion bog'lanish mavjud emas.

9.2.4. Eng katta isroflar vaqti usuli.

Usul shunga asoslanganki, eng katta isroflar vaqti τ aniqlanadi, bu vaqt ichida tarmoqda bo'ladigan elektr energiyasi isroflari ko'rib chiqilayotgan T davr ichida haqiqiy yuklamalar rejimida bo'lgan elektr energiyasi isroflariga teng bo'ladi deb qabul qilinadi. Tarmoqning haqiqiy yuklama rejimini sun'iy ravishda olingan o'zgarishsiz eng katta yuklama bilan bunday almashtirilishi quyidagi tenglamani yozish imkonini beradi:

$$\begin{aligned}\Delta W &= 3R \int_0^T I^2(t) dt = 3RI_{eng\ kat}^2 \cdot \tau \\ \Delta W &= \frac{R}{U^2} \int_0^T S^2(t) dt = \frac{R}{U^2} S_{eng\ kat}^2 \cdot \tau.\end{aligned}\quad (9.28)$$

bu yerda I_{nb} —katta tok; S_{nb} —eng katta quvvat.

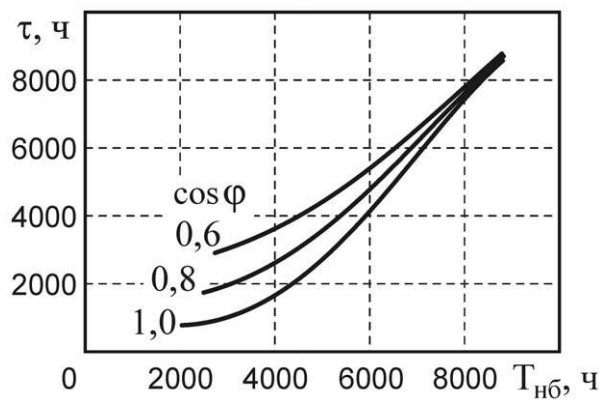
Bundan eng katta isroflar vaqti quyidagicha aniqlanadi:

$$\tau = \frac{\int_0^T I^2(t) dt}{I_{eng\ kat}^2} \quad (9.29)$$

$$\text{yoki } \tau = \frac{\int_0^T S^2(t) dt}{S_{eng\ kat}^2} \quad (13.30)$$

(13.29) va (13.30) ifodalardan kelib chiqadiki, eng katta isroflar vaqti yuklama grafiklari xarakteri $I(t)$ yoki $S(t)$ bilan bog'liq bo'ladi. SHu sababli ma'lum bo'ladiki, eng katta isroflar vaqti bilan yuklama grafiklarining turli xarakterli parametrlari, masalan eng katta yuklamadan foydalanish vaqti, quvvat koeffitsienti, eng kichik yuklamani eng katta yuklamaga nisbati va boshqalar bilan bog'lanishlarini aniqlash mumkin bo'ladi. Bunday bog'lanishni aniqlash uchun maxsus izlanishlar olib borilishi mumkin, bunda iste'molchilarningeng xarakterli rejimlarini ifodalovchi turli yuklama grafiklari qabul qilinadi. Bunday izlanishlarga asoslanib turli xil empirik bog'lanishlar taklif qilinadi. Masalan eng katta isroflar vaqti va eng katta to'la quvvatdan foydalanish vaqti orasidagi bog'lanishni quyidagi ifoda ko'rsatadi:

$$\tau = (0,124 + T_{engkat} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 \quad (9.31)$$



9.2 -rasm. Eng katta isroflar vaqtining eng katta yuklamadan foydalanish kaqtiga bog'liqligi

Bu formulaning kamchiligi shundaki, uning tarkibiga eng katta to'la quvvatdan foydalanish vaqti kiradi, uni analitik aniqlash esa murakkab masala hisoblanadi, bunda qo'shimcha xatoliklarga sabab bo'luvchi, bir necha cheklanishlar kiritilishi kerak bo'ladi.

Quvvat koeffitsientini $\cos\varphi$ hisobga olish $\tau = f(T_{nb})$ bog'lanish yordamida amalga oshirilgan, uning grafik tasviri 13.2 – rasmda ko'rsatilgan, lekin, butun hisobiy davrda $\cos\varphi = \text{const}$ deb qabul qilinsa, u sutkalik aktiv va reaktiv quvvatlar grafigiga o'xshash bo'ladi. Bu bog'lanishlar xuddi 13.31-ifodadagidek ochiq elektr tarmoqlardagi elektr energiyasi isroflari hisobida kam xatoliklarga yo'l qo'yadi. Kuchlanishi 110 kV va undan yuqori bo'lgan ta'minlovchi va taqsimlovchi elektr tarmoqlar uchun bajariladigan loyiha hisoblarida quyidagi ifodadan foydalanish tavsiya qilinadi:

$$\tau = 2 T_{engkata} - 8760 + \frac{8760 - T_{engkata}}{1 + \frac{T_{engkata} - 8760}{2 R_{engkat}}} \cdot \left(1 - \frac{R_{engkich}}{R_{engkat}}\right)^2, \quad (9.32)$$

bu yerda $T_{engkata}$ –eng katta aktiv quvvatdan foydalanish vaqti;

R_{engkat} , $R_{engkich}$ – ko'rib chiqilayotgan davr ichidagi eng katta va eng kichik aktiv quvvat kattaligi.

Bu yerdagi T_{nb} , R_{nb} , R_{nm} parametrlar tarmoqlarni loyihalashtirishda oson aniqlanishi mumkin. Lekin bu formula ham $\cos\varphi$ ni vaqt bo'yicha o'zgarishini, hamda eng katta isroflar vaqtiniyuklama grafigi

vaqti orasidagi bog'liqlikni hisobga ola olmaydi. Shunday qilib, bu usulda elektr energiyasi isroflarini quyidagi ifoda bilan hisoblanadi:

$$\Delta W = 3I_{nb}^2 R \tau \quad (9.33)$$

yoki:

$$\Delta W = \frac{S_{engkat}^2}{U^2} \cdot R \cdot \tau = \frac{P_{engkat}^2 + Q_{engkat}^2}{U^2} \cdot R \cdot \tau. \quad (9.34)$$

Ko'rsatib o'tilgan kamchiliklarga qaramasdan, loyihalashtirishda bu usul soddaligi uchun amalda keng qo'llaniladi.

Tekshirish uchun savollar

1. Elektr tarmoqning f.i.k. qanday aniqlanadi?
2. Kommertsiya isroflari qanday kelib chiqadi?
3. Qanday isroflar texnik isroflar deyiladi?
4. Elektr energiyasi isroflarining strukturaviy tahlili nimadan iborat?
6. Transformatorlarda salt ishlash isroflari qanday aniqlanadi?
7. Havo va kabel elektr uzatish tarmoqlarida qanday elektr energiyasi isroflari bor?
8. Xarakterli sutkalar sifatida qandaylari olinadi?
9. Yuklama grafiklari shakl ko'effitsienti nimalarni hisobga oladi?
10. O'rtacha kvadrat tok va o'rtacha kvadrat quvvat nima?
11. Eng katta isroflar vaqti metodi nima?
12. Eng katta isroflar vaqti nima, va u nimalarga bog'liq?
13. Isroflarning qanday turlari bo'ladi?
14. Transformatorlarda qanday elektr energiyasi isroflari bo'ladi?
15. Isroflar qanday kamaytirilishi mumkin?
16. Yuklama isroflari nima?
17. O'chov sistemasi isroflari nimalardan iborat bo'ladi, u qanday kelib chiqadi?
18. Texnologik isrof nima, bunday isroflar qanday kelib chiqadi?
19. Elektr energiyasi isroflari reaktiv quvvat bilan qanday bog'langan bo'ladi?

20. Elektr energiyasi isroflarini qanday tashkiliy usullar bilan kamaytiriladi?
21. Xozirgi kunda Respublikamiz regionlari elektr tarmoqdagi energiya isroflari kancha?
22. Rivojlangan davlatlarda energiya isroflari kancha? Nima sababdan ular bir biridan farq qiladi?
23. Elektr tarmoqlardagi doimiy isroflar nimalardan iborat bo'ladi?
24. Elektr tarmoqlardagi qanday o'zgaruvchi isroflar mavjud?
25. Reaktiv quvvat kompensatorlari nima maqsadda ishlatiladi.
26. Elektr tarmoqda qanday turdagi elektr energiyasi isroflari bo'ladi?
27. Turli kuchlanish klasslarida tarmoq aktiv va reaktiv qarshiliklarini solishtiring, isroflarda qaysi biri salmoqli bo'ladi?

10-bob. ELEKTR ENERGIYASINI UZATISH VA TAQSIMLASH SISTEMALARI REJIMLARINI ROSTLASH ASOSLARI

10.1.Rejimlarni rostlashning asosiy masalalari.

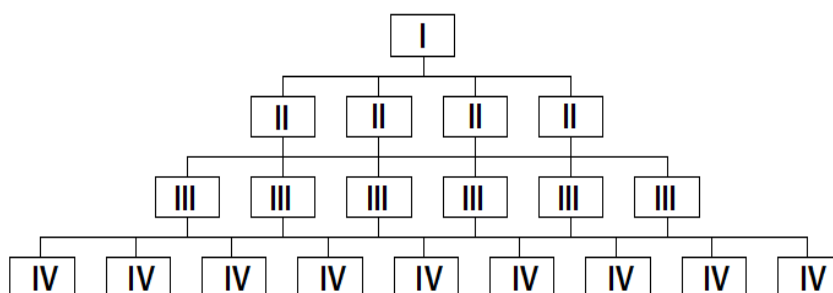
Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sistemasining ish rejimlari deganda sistemaning ma'lum bir momentdagi yoki vaqt oralig'i ichidagi sharoiti va kattaliklari majmuini xarakterlovchi holati tushuniladi. Rejimlar normal, avaryaviy, avaryadan keyingi va remont rejimlariga ajratiladi. Normal ish rejimi deganda barcha elektr iste'molchilar o'rnatilgan oraliqlarida bo'lgan elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlariga ega bo'lgan (chastota va kuchlanish sifat ko'rsatkichlari) elektr energiyasi bilan ta'minlanib turgan holat tushuniladi.

Respublika markaziy boshqarish punkti Toshkent IESda va janubiy podstantsiyasida o'rnatilgan bo'lib, markazlashtirilgan holda elektroenergetika sistemasini boshqarib turadi. Markaziy boshqarish punkti viloyat elektr tarmoqlari korxonalari dispetcherlik punktlari, ular esa rayon elektr tarmoqlari korxonalariga dispecherlik punktlari bilan bog'lanib yagona energosistema rejim ko'rsatkichlari nazorati va boshqarilishi amalga oshiriladi. Energosistemada kuchlanish, chastota,

yuklamalar, quvvatlar (aktiv, reaktiv) oqimi boshqarib turiladi. Avariyaaviy rejimlar ham nazorat qilib boshqarilib turiladi. Boshqa ichki xududlarning normal ish rejimlari ta'minlanadi. Har bir regionda quvvatlar oqimi nazorat qilib turiladi.

Energosistema rejimlarini boshqarishning ierarxik strukturasidan foydalanishi mumkin. Bunda boshqarish tizimi bir necha darajali boshqarish, avtomatlashtirish vositalari yordamida amalga oshiriladi. Bunday ierarxik (tabaqalangan) boshqarish tizimi yordamida xududiy struktura elementlari boshqariladi. Har bir xudud chegarsida ko'rsatkichlar nazorat qilinadi va boshqariladi. 10.1-rasmda 4 darajali ierarxik boshqarish strukturasini ko'rsatilgan.

Bu yerda har bir darajadagi boshqaruv tizimi keyingi boshqarish tizimlarini koordinatsiya qilib turadi. Eng quyi darajadagi avtomat vositalar bevosita elektr uskunalarda o'rnatiladi va ularni kattaliklarini boshqaradi, nazorat qiladi .



10.1-rasm. Ierarxik boshqarish strukturasini .

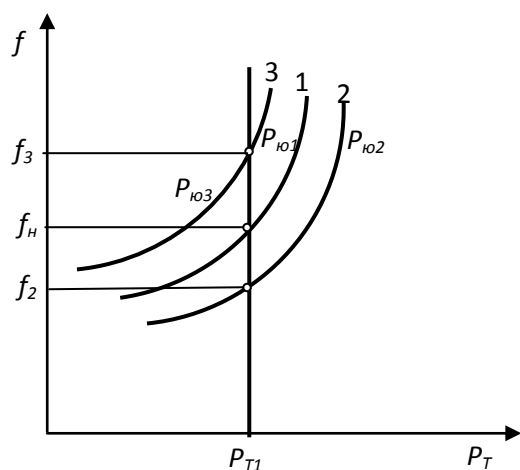
Ularni optimal rejimlarda ishlab turishi keyingi (III) bosqich avtomat tizimlari vositasida muvofiqlashtirib turiladi, nazorat qilinadi. Masalan IV bosqich avtomatik elementlari va elektr qurilmalari transformator punktlarida o'rnatilgan bo'lsa, III bosqich avtomatlari rayon elektr tarmoqlari korxonalari dispetcherlik punktlariga o'rnatilgan II-bosqich avtomatlar viloyat elektr tarmoqlari korxonalari dispetcherlik punktiga va I bosqich avtomatlari markaziy boshqarish punktida o'rnatilgan bo'ladi. Bunday bosqichma-bosqich avtomatlashtirish vositalari o'zaro muvofiqlashtirilgan holda ishonchli ishlab turadi va butun energosistemani to'liq

qamrab oladi. Agar energosistemaning biror qismida avariyaaviy rejim yuzaga kelsa, shu xudud ajratiladi, boshqa yonma – yon joylashgan xududlarda rejimlarda vaqtinchalik o'zgarishlar bo'ladi, lekin rejim ko'rsatkichlari texnik ruhsat etilgan qiymatlari ichida saqlanadi. Boshqa ierarxik bosqichdagi avtomat tizimlar ishonchli ishlab turadi. Eng quyi bosqichdagi avtomat tizimlar bevosita iste'molchilarda o'rnatiladi va tegishli texnik vositalar yordamida rejimlar nazorat qilinadi. Boshqa avtomat tizimlari boshqarish punktlarida bo'ladi va dispetcherlar tomonidan boshqariladi.

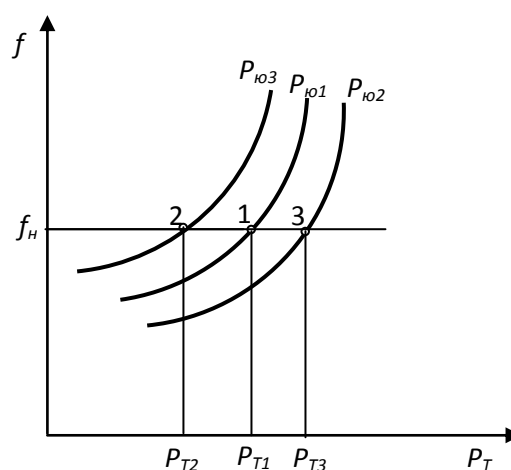
10.2. Elektrostantsiyalarda chastota va kuchlanishni boshqarish.

Elektr tarmoqda tok chastotasi elektrostantsiyadagi generatorning aylanish chastotasiga bog'liq bo'ladi. Elektr tarmoqda yuklama o'zgarishlari turbinani yuklanishi va uning tok chastotasini o'zgarishiga olib keladi.

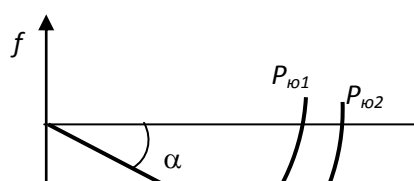
10.2-rasmda turbina aylanish chastotasi va yuklamasining o'zgarish grafigi keltirilgan, xarakteristikadan ko'rinib turibdiki, yuklama ortishi bilan masalan R_0 dan R_1 gacha, chastota f_0 dan f_1 gacha kamayadi. Xarakteristika rostlash statizimi (qiyalik) 4% gacha bo'ladi. Ya'ni yuklama P_0 dan R_n gacha ortganida chastota 4% kamayadi. Avtomat ekspluatatsiya sharoiti talablaridan kelib chiqib, ma'lum bir qiymatlarga o'rnatiladi va rejim ko'rsatkichlari nazorat qilinadi. Bu qiymatlar ustavka deyiladi.



a)



b)



10.2- rasm. Turbogenerator yuklamasining va chastota regulyatorlarining statik xarakteristikalarini: a,b-chastota regulyatorlarini, v,g-yuklamaning statik xarakteristikalarini.

Elektr tarmoqlarda nominal tok chastotasi qat'iy nazorat qilinadi. Agar chastota rostlagichlari nosoz bo'lsa, turbogeneratorni ekspluatatsiyada foydalanish man qilinadi. Energosistemaning chastota bo'yicha rejimi turbinaning yuklama statik xarakteristikasi bilan chastota bo'yicha rostlash xarakteristikalarining kesishish nuqtasiga o'rnatiladi (P_0, f_0)

Tarmoqqa qo'shimcha yuklamalar ulansa R_0 dan R_1 gacha yuklama ortsa, chastota f_1 gacha kamayadi, (m_2 nuqta) demak, quvvat o'zgarishlarida chastota o'zgarishi:

$$\Delta f = f_0 - f_1 = -C\Delta P \text{ bo'ladi}$$

$\Delta f, \Delta P$ – chastota va quvvat o'zgarishlari.

C-rostlagichning statizm koeffitsienti (taxminan 4% ga teng bo'ladi).

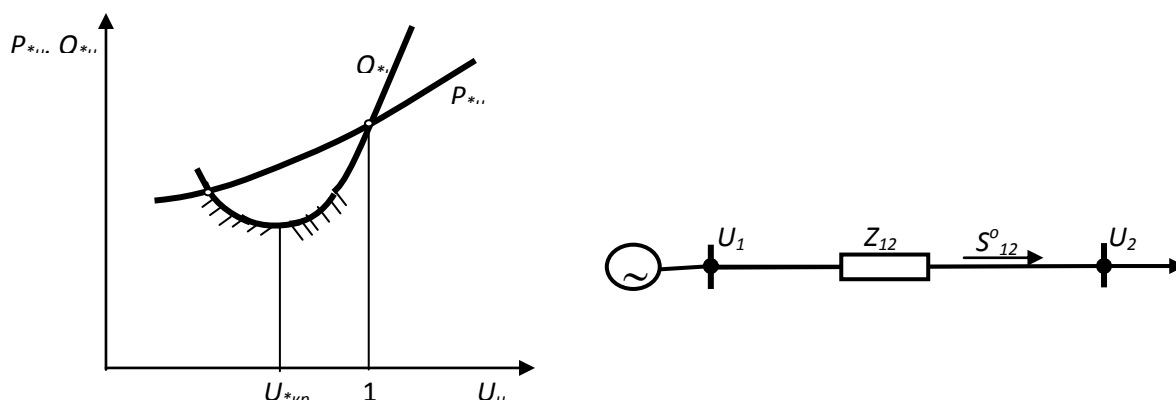
Agar dastlabki shartlar boshqacha bo'lsa, masalan 1-chiziq bo'yicha o'zgarsa, m_3 nuqtada sistema barqarorlashadi.

Demak, chastota doimiy bo'lib qolganida aktiv quvvat balansi manba bilan iste'molchi quvvatlari tengligi bilan ifodalanadi: $R_g = R_{isg} \cdot \Delta f \cong 0$

Agar rostlash intervali o'zgarsa, aktiv quvvat qayta taqsimlanadi va chastotani doimiy saqlab qolishga erishiladi. Energosistema rejimlarini boshqarish tizimi buni ta'minlaydi boshqarish asosan avtomat ravishda bajariladi, lekin zarurat bo'lsa, qo'lda ham amalga oshirish mumkin bo'ladi. Regulyatorga o'rnatilgan

quvvat $R_{o,r}$ va xaqiqiy quvvat R_{fakt} ta'sir etib turadi. $R_{o,r} = R_f$ bo'lsa, regulyator tinch turadi. Bu muvozanat buzilsa, rostlovchi vosita ishga tushadi.

Tarmoqda kuchlanish va reaktiv quvvatni boshqarish. Chastotadan farqli ravishda elektr tarmoqlaridagi kuchlanish turli nuqtalarda turlicha bo'ladi va uzatilayotgan yuklama (quvvat) miqdoriga va tarmoq qarshiligiga bog'liq bo'ladi. Yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlar uchun $R \ll X$. Elektr energiyasini uzoq masofalarga uzatilganida tarmoqda elektr energiyasi isrof bo'ladi va kuchlanish kamayib boradi. Tarmoq barqaror bo'lishi uchun kuchlanish ma'lum bir chegaradan kamaymasligi zarur. Tarmoq barqarorligi va me'yoriy kuchlanish miqdori elektr ta'minotchi korxonalar tomonidan nazorat qilib turiladi. Kuchlanishning o'zgarishi asosan elektr energiya ko'rsatkichi bo'lib, uning iste'molchilarning ish ko'rsatkichlarga ta'siri alohida o'rganiladi, energosistemada kuchlanishni avtomat rostlash amalga oshiriladi. Kuchlanishni rostlovchi birlamchi qurilma bu generatorni qo'zg'atish tizimini avtomat boshqarish tizimidir. Bunda kuchlanishning o'zgarishlari qo'zg'atish tizimiga berilgan qo'zg'atish toki bilan kompensatsiya qilinadi.



10.3- rasm. Generatorda kuchlanishni rostlash tizimi va yuklama rejimining statik xarakteristikasi

10.3- rasmda generatorda kuchlanishni rostlash tizimi va yuklama rejimining statik xarakteristikasi keltirilgan $\Delta U \approx 4\%$. Tarmoq yuklamasi ortib

borsa, kuchlanish kamayadi va chegara miqdorida kuchlanishni avtomat rostlash tizimi (ARN) ishga tushib kuchlanishni barqarorlashtiradi.

10.3 Elektr tarmoqlarda kuchlanish va reaktiv quvvatni boshqarish

Uzoq masofali elektr uzatish tarmog'ining reaktiv quvvati kuchlanishning pasayishiga asosiy omil bo'lar ekan. Sistemaning barqarorligi uchun unda iste'molchilar reaktiv quvvatiga teng reaktiv quvvat generatsiyalanishi zarur. Aks holda kompensatsiyalovchi qurilmalar o'rnatiladi: $Q_{\Gamma} = Q_{\text{HAITP}}$.

Agar $Q_{\Gamma} < Q_{\text{HAITP}}$, bo'lsa $Q_{\Gamma} + Q_{\text{KK}} = Q_{\text{HAITP}}$ yoki $Q_{\Gamma} = Q_{\text{HAITP}} - Q_{\text{KK}}$ bo'ladi.

Shundagina tarmoqda kuchlanish miqdori talab darajasida ushlab turiladi. Elektrostantsiyalarda generatorning kuchlanishi yana ikkilamchi kuchlanishni rostlash vositalari yordamida ham nazorat qilib turiladi. Generatorning kuchlanishi uning qo'zg'atish tokini o'zgartirish bilan rostlab turiladi. Bunda o'zgarish oralig'i 25%gacha bo'ladi. Buning uchun qo'zg'atish tokning chegaralovchisi avtomat ravishda ishlab turadi. Avtomat qo'zg'atish tizimidagi tokni chegaralovchi sistema qo'zg'atish tokini $I_{\beta \min}$ va $I_{\beta \max}$ oralig'ida ushlab turuvchi vosita bo'lib, reaktiv quvvatlar generatsiya quvvatlarini taqsimlovchi sistema bilan birgalikda ishlab turadi va kuchlanishni barqaror ushlab turuvchi kompleks bo'ladi. Taqsimlovchi magistral tarmoqlarda ta'minlovchi podstantsiya shinalardagi kuchlanish maxalliy vositalar yordamida rostlab turiladi. ular kuchlanish ostida transformatorlarni transformatsiya koeffitsientini o'zgartirib, transformatorning yuklamasi o'zgarishiga mos zarur kuchlanish miqdorini ta'minlab turadi.

$$Q_{\text{shina}} k I_{\text{yukl}} = U_{\text{o'm}}$$

bu yerda: k -tarmoq qarshiligiga proporsional bo'lgan doimiy,

Agar yuklama toki o'zgarsa, tarmoqda o'rnatilgan kuchlanish farqli bo'ladi. Bunda avtomat ravishda ikkilamchi chulg'am sonini o'zgartirib, transformatsiya koeffitsienti K_{tr} o'zgartiriladi va kuchlanishni o'rnatilgan miqdori ta'minlanadi. Maxalliy rostlash tizimida kondensatorli kompensatsiyalovchi qurilmalari ham

qo'llaniladi. Ular taqsimlovchi tarmoqdagi podstantsiyalarda o'rnatiladi va bir necha sektsiyali qilib ishlangan bo'ladi. Kondensator batareya sektsiyalari avtomat yoki qo'lda boshqarilishi mumkin.

2. Avariyaqa qarshi boshqarish sistemasi. Energosistemada xilma-xil avariyaaviy rejimlar yuzaga kelishi mumkin. Xizmatchi xodimlar avariyaaviy rejimlarni mustaqil ravishda o'z vaqtida oldini ola olmaydi. SHuning uchun barcha bo'lishi mumkin avariyaaviy rejimlardan avtomat ximoya vositalari o'rnatiladi. Energosistemada avariyaqa qarshi avtomat ravishda ishlovchi yagona kompleks mavjud. Avariyaalar lokal va lavinaviy xarakterli bo'lishi mumkin. Lokal avariyaalar tarmoqning biror uchastkasida paydo bo'ladi va o'sha uchastkani sistemadan ajratilishi bilan tugaydi. Iste'molchilarga rezerv liniyadan energiya beriladi yoki avariya qisqa muddatga bo'lsa, avtomat ravishda tarmoq qayta ulanadi. (ARU yoki AQP). Lavinaviy avariyaalar zanjir reaksiyali bo'lib, o'zidan keyin boshqa avariyaaviy vaziyatlarni keltirib chiqaradi va oldi olinmasa butun energosistemani yaroqsiz holga keltirishi mumkin. Lavinaviy avariyaalarga qarshi ishlovchi ximoya vositalari mavjud. Lavinaviy xarakterli avariyaalar 4- hilda bo'lishi mumkin:

1.O'ta yuklangan tarmoq bo'ylab (energiya) quvvat berilishi to'xtatilishi yoki ajratilishi. Bunda yonma-yon tarmoqlar ishlab turganida yuklama ularga o'tadi va ruhsat etilgan miqdordan ortib ketadi. Keyin tarmoq ham uziladi va uning istemolchilariga boshqa tomondan (energiya) quvvat beriladi. Bunda keyingi manbalarning avariyaaviy ajratilishi ehtimoli ortib boradi.

2. Asinxron rejim . Sinxron generatorlarda sistemadagi statik va dinamik barqarorlik buzilganida asinxron rejim yuzaga kelishi mumkin. Bunga faza siljishlari buzilishi oqibatida generatorning EYuKi (kuchlanish) o'ta pasayishi kuzatiladi. Bu holat boshqa generatorlarda ham yuzaga kelishi mumkin. Shuning uchun sinxron generatorlardagi asinxron rejim o'z vaqtida yo'qotilishi lozim. Asinxron rejim quvvat ishlab chiqarilishini butkul to'xtatib tarmoqdagi chastotani ham keskin pasayib kyetishiga olib keladi.

3. Sistemada chastotaning o'ta pasayishi. Chastotaning keskin pasayishi elektr motorlarning aylanishlar sonini keskin pasayishiga olib keladi. Bunda texnologik mashina va mexanizalarning ish unumdorligi pasayadi. Elektrostantsiyalarda iste'molchilar, jumladan elektr motorlarning normal ish rejimlari buziladi. Agar chastota 10% gacha kamayib ketsa, ular butunlay to'xtab qolishi mumkin. Natijada elektr stantsiya hayot faoliyati buzilib, to'xtab qolishi mumkin, bunday manzara boshqa elektrostantsiyalarga ham tarqalishi mumkin.

4. Kuchlanishning pasayishi oqimi (lavinasi), kuchlanishning pasayish oqimi ikki holatda yuzaga kelishi mumkin:

a) chastotaning keskin pasayishi oqimi oqibatida. Bunda rele ximoyasi vositalarining funktsiyasi ham buzilishi mumkin va avariya vaziyat nazoratdan chiqib ketishi mumkin.

b) yuklama tugunlarida va taqsimlash punktlarida ta'minlovchi tarmoqlarning bir qismini uzib, yuklamalarni boshqa yonidagi tarmoqlarga tashlaganida ular ham ortiqcha yuklanib, kuchlanishning pasayib ketishi to'liqini keng qamrovli xarakterga o'tib ketishi mumkin.

Chastota pasayishi to'liqining oldi olinib, sistema qayta ishga tushirilishida va ko'pchilik iste'molchilar uzilgan holda kuchlanishning ortib ketishi to'liqini kuzatilishi mumkin. Lokal va lavinali avariya lavalarga qarshi o'zaro bog'langan ogohlantirilib oldini oluvchi avariya vaziyat joyini ajratib qo'yuvchi va normal ish rejimlarini tiklovchi avariya lavalarga qarshi sistemalar yagona kompleksi ishlab chiqilgan. Bu sistema avariya lavalardagi lavina xarakterini yo'qotib qisqa muddatlar ichida (2-3-min) avariya vaziyat rejimini inson ishtirokisiz oldini oladi. Aktiv quvvat balansi chastota bilan, reaktiv quvvat balansi esa kuchlanish bilan birgalikda bo'ladi. $\Delta a = 0$ bo'lganida, $Q_r = Q_{ucr}$ $\Delta u = 0$ da quvvatlar balansi mavjud bo'ladi.

Energosistemada aktiv quvvat balansi, chastota doimiy bo'lib qolganida energosistemada qancha iste'molchilar bo'lsa, ularning quvvatiga teng quvvat generatsiya qilinishi kerak deganidir. Bunda $\Delta f = 0$ bo'lganida quvvatlar balansi quyidagicha yoziladi: $\Sigma P_r = \Sigma P_H + \Sigma P_X + \Sigma \Delta P = \Sigma P_{norp}$

bu yerda: ΣP_r -elektrostantsiyadagi generatorlar quvvati.

ΣP_{yu} - yuklamalar quvvati,

ΣP_{xu} - xususiy iste'molchilar (ichki) quvvatlari,

$\Sigma \Delta P$ - isroflar yig'indisi (EUT va transformatorlardagi),

ΣP_{norp} -iste'mol qilinayotgan quvvatlar.

Elektr tarmoqlarda elektr energiya isroflari miqdori elektr uzatish tarmoq uzunligi va transformatorlar soniga bog'liq bo'ladi, va yuklamalar quvvatlarining 15% gacha bo'lishi mumkin: $(5-15\%) \Sigma P_H$. Xususiy iste'molchilar quvvatlari elektrostantsiya quvvatini 5% atrofida bo'ladi. Kichik elektrostantsiyalarda esa, ba'zida 10%gacha bo'lishi mumkin. O'zgaruvchan tok chastotasi butun energosistema bo'yicha bir xil bo'lishi zarur. Standart bo'yicha chastota og'ishi $+0.1\text{Gts}$ dan ortmasligi zarur. Lekin ayrim rayonlar uchun, elektrostantsiyalar uchun generatsiya quvvatlarini o'zgartirib, uni boshqarish mumkin. Iste'molchilar quvvati o'zgarib turganligidan sistemadagi chastota miqdori doim o'zgarib turadi. Kuchlanish va chastota miqdorlarinig generatsiya quvvatlariga bog'liq ravishda o'zgarishi yuqorida ko'rib chiqilgan edi.

Energosistemadagi kuchlanishni va chastota miqdorini o'zgarishlari turli vositalar va tadbirlar qo'llab muvozanatlab turiladi. Energosistemada quvvatlar tanqisligini to'ldirib turish uchun quvvatlar rezervi (zaxirasi) bo'ladi. Ular yuklama, remont, avariyaaviy va xo'jalik rezervlaridan iborat bo'ladi.

Yuklama rezervi $(3-5)\%$ bo'lib, energosistema balansiga kirmagan yoki hisobga olinmagan quvvat o'zgarishlarini qoplash uchun saqlanadi, remot rezervi elektrostantsiyalarda energobloklarni kapital va joriy remontini sistemada energobalansni buzmasdan o'tkazish uchun xizmat qiladi. Avariyaaviy rezerv avariyaaviy rejimlarda ishdan chiqqan generatsiya quvvatlarini qoplash ularni barqaror ishlab turishini ta'minlash uchun xizmat qiladi. Xo'jalik rezervi ishlab chiqarishdagi o'zgarishlar hisobiga kirib kelayotgan yangi iste'molchilar quvvatlarini qoplash uchun xizmat qiladi. Reaktiv quvvat balansi quyidagicha ifodalanadi:

$$\Sigma Q_{\Gamma} = \Sigma Q_H + \Sigma Q_{cH} + \Sigma \Delta Q - \Sigma Q_c - \Sigma Q_{KY} = \Sigma Q_{uct}$$

Elektr va magnit maydonlarning tebranishi (o'zgarishi) reaktiv quvvat talab qiladi, reaktiv quvvat iste'molchilarga transformatorlar, asinxron motorlar, induksion qurilmalar (po'lat eritish tsexlarida pechlar) elektr uzatish tarmoq simlari va boshqalar bo'ladi. Elektr tarmoqlarda reaktiv quvvat isroflari 50% gacha bo'lishi mumkin. ($\Sigma \Delta Q = 0,5 Q_{\Gamma}$) Ular asosan transformatorlarda va qisman elektr uzatish tarmoqlarida bo'ladi. Iste'molchilarning reaktiv yuklama quvvatlari iste'molchi turiga va konstruktsiyasiga bog'liq bo'ladi.

Sig'imli konstruktsiyalarda Q_c reaktiv energiya inertsiali bo'ladi. Q_c (kabellarda ko'proq, elektr uzatish tarmoqlarida kamroq) $\Delta U = (PR + QX)/U \cdot 100\%$ ifodaning elektr uzatish tarmoqlarida ikkinchi qismi katta bo'lganidan (yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlarda $X \gg R$) elektr uzatish tarmoqlarida kuchlanish miqdori reaktiv quvvatni o'zgartirish bilan rostlanib turiladi. Sistemada reaktiv quvvat miqdorini o'zgartirish uchun kompensatsiyalovchi qurilmalar qo'llaniladi.

Normal rejimning asosiy parametrlariga quyidagilar kiritiladi: sistemadagi o'zgaruvchan tok chastotasi; kuchlanishi, toklari, sistema uzellaridagi aktiv va reaktiv quvvatlar oqimi; sxema zanjirlaridagi toklari, aktiv va reaktiv quvvatlar oqimi (liniyalar va transformatorlar); elektrostantsiyalarning aktiv va reaktiv quvvatlari; kompensatsiyalovchi qurilmalarning reaktiv quvvati.

Agar sistemaning bir yoki bir necha elementlari remont qilish uchun o'chirilgan bo'lsa, sistemada remont rejimi yuzaga keladi. Agar sistemaning bir yoki bir necha elementlari qo'qqisdan paydo bo'lgan zararlanishlari natijasida o'chirilgan bo'lsa, sistema avariya dan keyingi rejim holatida bo'ladi.

Normal, remont va avariya dan keyingi rejimlar turg'un rejimlarga kiritiladi. Ular katta davomiyligi (soatlar, sutkalar, oylar) bilan va sekin o'zgaruvchi rejim parametrlari bilan xarakterlanadi. Remont va avariya dan keyingi rejimlarda ham, normal rejimlardagidek elektr energiyasi sifati me'yoriy xujjatlarda ko'rsatilganiday bo'lishi kerak.

Shu bilan birgalikda normal rejimlardan farq qilib remont va avariya dan keyingi rejimlar yuzaga kelganida iste'molchilar quvvatiga ayrim chegaralanishlar qo'yiladi. Avariya viy rejimlar o'tkinchi jarayonlarga kiritiladi va qisqa muddatliligi bilan xarakterlanadi (sekundning ulushlaridan bir necha sekundgacha). Ular turli xil zararlanishlar oqibatida paydo bo'ladi, masalan, qisqa tutashuvlarda, bunda rejim parametrlari tez o'zgaruvchan bo'ladi va barqaror rejim parametrlaridan keskin farq qiladi. Normal rejimlarni rostlash sutkalik reja bo'yicha amalga oshiriladi. Agar sistemaning faoliyatida o'zgarishlar bo'lsa rejadagi rejimga o'zgartirishlar kiritiladi. Bunda iste'molchilarning elektr ta'minoti ishonchliligiga, elektr energiyasi sifatiga va iqtisodiy samaraliligiga qo'yiladigan talablar qondirilishi zarur. Normal rejimlarni boshqarishda operativ ulanishlarni bajarilishi ta'minlanadi, nosoz qurilmalarni remontga chiqarish va rezervini ishga kiritish va qurilmalarni remontdan keyin qayta ishga tushirish, rele ximoyasi va sistemaviy avtomatikani rostlash sistema faoliyati to'g'risidagi ma'lumotlarni yig'ish va ishlov berish amallari bajariladi.

Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sistemasining normal rejimlarini boshqarish tadbirlarini shartli ravishda quyidagilarga ajratish mumkin:

- 1) iste'molchilarning elektr ta'minoti ishonchliligini ta'minlash uchun boshqarish;
 - 2) elektr tarmoq samaraliligini va elektr energiyasining kuchlanishi bo'yicha sifatini ta'minlash uchun kuchlanish va reaktiv quvvatlar oqimini boshqarish;
- Iste'molchilarning elektr ta'minoti ishonchliligini ta'minlash uchun boshqarish quyidagilarni o'z ichiga oladi:

Rejim parametrlarini operativ nazorat qilish (aktiv quvvatlar oqimlarini, sistemaning asosiy uzellaridagi kuchlanishni) va agar ularning qiymatlari ishonchlilik shartlari bo'yicha ruxsat etilgan chegaralardan tashqariga chiqsa zarur choralar ko'rish; Kutilayotgan remont va bo'lishi mumkin bo'lgan avriyaviy rejimlarni baholash, rejimga o'zgartirishlar kiritish tarmoq sxemasini o'zgartirish; Tranzit va sistemalararo elektr uzatish liniyasi bo'ylab oqayotgan quvvatlarni chegaralash. Kuchlanish va reaktiv quvvat bo'yicha boshqarish quyidagilarni o'z ichiga oladi:

elektr energiyasi sifati me'yorlariga ko'ra elektr iste'molchilarda kuchlanishni ushlab turish;

elektr tarmoq elementlari bo'yicha texnik chegaralanishlarni hisobga olib, elektr tarmoqning samarali rejimlarini ta'minlash.

10.3.1. Kuchlanishni yuklama ostida rostlash qurilmalari bo'lgan transformatorlar yordamida rostlash.

Transformatorlar yordamida kuchlanishni rostlashning mohiyati shundaki, transformatorning ikkilamchi tomonida kuchlanishni o'zgartirish kerak bo'lsa uning transformatsiyalash koeffitsientini o'zgartiriladi. Shu maqsadda barcha transformatorlarda maxsus bo'laklanishlar qilinadi, va chulg'amlardagi har bir chiqishi ma'lum bir o'ramlar soniga va mos ravishda transformatsiyalash koeffitsientiga to'g'ri keladi. Haqiqatdan ham ikki chulg'amli pasaytiruvchi transformatorning past kuchlanish shinalaridagi kuchlanishni quyidagicha ifodalashimiz mumkin:

$$U_n = \frac{U'_n}{k_t} = \frac{U'_n}{U_{yuk}(1 \pm 0,01n\Delta k_t)/U_{pk}}$$

bu yerda:

U'_n - yuqori kuchlanishga keltirilgan past kuchlanish (PK) shinasidagi kuchlanish miqdori;

U_{PK} – past kuchlanish chulg'aming nominal kuchlanishi;

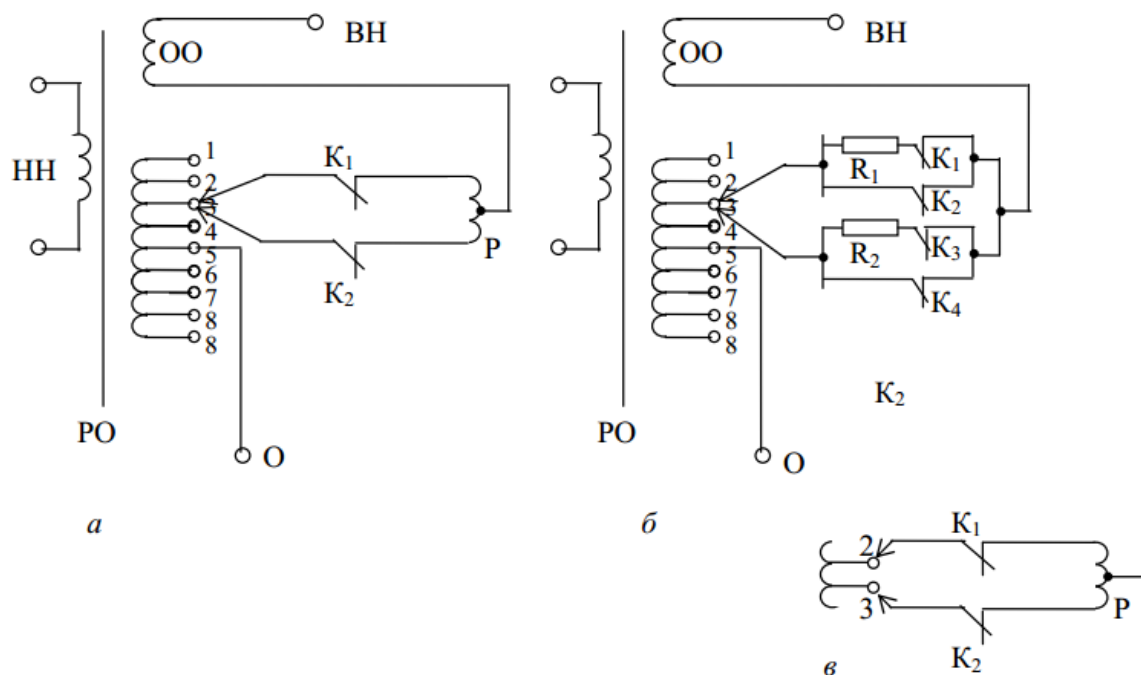
U_{YUK} – yuqori kuchlanish chulg'amining bo'laklanishlarining o'rtadagisidan chiqishining nominal kuchlanishi;

Δk_t – yuqori kuchlanish chulg'amidagi kuchlanishni rostlash pog'onalari (qadami), %;

n – o'rtadagiga nisbatan chulg'amdan bo'laklanib chiqishlari soni.

Shunday qilib, transformatorning har bir bo'laklanishidan chiqishlariga o'zining nominal kuchlanishi to'g'ri keladi. Chulg'aming bo'laklanishlari ulagichini bir holatidan boshqa holatlariga n marta o'tkazilib, yuqori kuchlanish chulg'aming kuchlanishini o'zgartirish mumkin bo'ladi, bunda albatta past kuchlanish shinasidagi kuchlanish ham o'zgarib turadi – kuchlanish rostlanadi. Ko'rinib turibdiki, yuqori kuchlanish chulg'amida nominal kuchlanishning ortishida (qavsda “plyus” ishora) U_n kuchlanish kamayadi, transformatsiyalash koeffitsienti kamayganida esa (qavsda “minus” ishora) –ortadi.

Transformatorning neytrali “0” o'rtadan chiqqan tarmoqlanishga ulangan bo'lsa va qayta ulagich 5 holatida bo'lsa, transformatorning asosiy chulg'ami ishga ulangan bo'ladi. Qayta ulagich 1-4 holatidan birida bo'lsa, transformatorning asosiy chulg'amiga mos ravishda rostlanuvchi qismidan o'ramlar qo'shiladi, va buning natijasida transformatsiyalash koeffitsienti ortib boradi. Agar qayta ulagich 6-9 holatida bo'lsa, transformatorning asosiy chulg'amiga rostlanuvchi qismidan qarama qarshi yo'nalishda magnit oqimi hosil qiladigan o'ramlar qo'shiladi, buning natijasida transformatsiyalash koeffitsienti kamayadi. Tok chegaralovchi reaktorli sxemada (10.4a-rasm) qayta ulagich biror holatida turgan bo'lsa (masalan 3 tarmoqlanishda), normal rejim toki quyidagi zanjirdan o'tadi: YUK chiqishi, OO chulg'ami, R reaktorning elkalari, K_1 va K_2 kontaktorlar, chulg'amning rostlanuvchi qismi RO ning 3 va 5 zanjirlari oralig'i, transformatorning neytrali.



10.4-rasm. YuOKR li transformator chulg'amlarining printsipl sxemasi:

a – tok chegaralovchi rektor bilan; *b* – s tok chegaralovchi aktiv qarshiliklar bilan;

3 v – pereklyuchatelning oraliq holatida

Kuchlanish ostida rostlanuvchi (YuOKR qurilmali) ikki chulg'amli pasaytiruvchi transformatorning bitta fazasi chulg'amlari uchun printsipl sxema 10.4-rasmda keltirilgan. Bu yerda: OO- chulg'amning asosiy qismi;

RO – transformatorning neytrali tomonidan ulangan, chulg'amning rostlanuvchi qismi; K – kontaktorlar; R – tokchegaralovchi reaktor; R – tokchegaralovchi aktiv qarshiliklar; 1–9 – chulg'amning rostlanuvchi qismidan chiqqan tarmoqlanishlar. Agar pereklyuchatelni 3- zanjirdan 2-zanjirga o'tkazish kerak bo'lsa quyidagi ketma-ketlikda amallar bajariladi: kontaktor K_1 ajratiladi, ulagich kontakti 2 holatiga o'tkaziladi, kontaktor K_1 ulanadi (10.4-rasm), kontaktor K_2 ajratiladi, qayta ulagichning pastki kontakti 2 holatiga o'tkaziladi, kontaktor K_2 ulanadi. Natijada transformator yuklama toki o'tayotgan zanjir, hech bir moment oraliqlarida ajratilmaydi. E'tibor qilamiz ma'lum bir moment oralig'ida yuqorigi kontakt 2 holatida turibdi, pastki kontakt esa 3 holatida (10.4, v-rasm). Bu yerda 2 va 3 nuqtalar orasida transformatorni rostlash pog'onasi kuchlanishi qo'yilgan bo'ladi. Agar 5 bo'laklanish chiqishi liniya nominal

kuchlanishiga to'g'ri kelsa – 115 kV, rostlash pog'onasi kuchlanishi 1,78 % bo'lsa, 2 va 3 nuqtalar orasidagi kuchlanish quyidagicha bo'ladi:

$$U_{23} = \frac{1,78}{100} \cdot \frac{115}{\sqrt{3}} = 1,18 \text{ kV}.$$

2 va 3 nuqtalar orasidagi o'ramlar qarshiligi kam bo'lganligidan u yerda hosil bo'lgan kuchlanish konturda ruxsat etilgan tokdan kattaroq tok hosil qilishi mumkin (10.4, v-rasm).

Shu sababli qayta ulagich sxemasiga tok kattaligini chegaralovchi reaktor R ulanadi. Yana boshqa ayrim sxemalarda tok kattaligini chegaralovchi qarshiliklar R_1 va R_2 (10.4, b-rasm) qo'yiladi. Qayta ulagichning pastki va yuqorigi kontaktorlari 3 holatida bo'lsa, kontaktorlar K_3 va K_4 ulangan, a K_1 va K_2 ajratilgan bo'ladi. Qarshilik R_2 kontaktor K_4 vositasida shuntlanadi, undan ishchi tok oqib o'tadi. Qayta ulagich bo'laklanishining 2-6 holatiga o'tkazish uchun: yuqorigi kontakt 2- holatiga o'tkaziladi, R_1 , K_1 , K_2 larda tok bo'lmaydi, K_4 kontaktor ajratiladi, natijada ishchi tok R_2 qarshilik orqali o'tadi; K_1 kontaktor ulanadi, bunda ishchi tok R_1 va R_2 qarshiliklar orasida taqsimlanadi va paydo bo'lgan konturda muvozanatlovchi tok paydo bo'ladi; K_3 kontaktor ajratiladi; qayta ulagichning pastki kontakti 2 holatiga o'tkaziladi; K_2 kontaktor ulanib, R_2 qarshilikni shuntlaydi, natijada ishchi tok faqat K_2 kontaktor orqali o'tadi. Aktiv qarshiliklarni qisqa muddatli tok kattaligiga hisoblanadi, shu sababli ular kompakt bo'ladi. Bu yerda qayta ulagichning tezkorligi ta'minlanishi kerak. 10.5,a,b,v-rasmlarda voltqo'shuvchi transformatorning (VDT) bir fazasining printsiptial ulanish sxemasi avtotransformatorlar misolida ko'rsatilgan.

Sxemalar avtotransformatorning A fazasi uchun berilgan. Rostlanuvchi 2 chulg'amdagi ta'minlovchi 1 chulg'amga berilgan kuchlanish kattaligiga qarab bo'ylama, ko'ndalang va bo'ylama-ko'ndalang EYUK hosil bo'ladi. Ta'minlovchi 1 chulg'amni avtotransformator fazasiga mos fazaga (ko'rilyotgan holatda A faza) va avtotransformator neytraliga ulanganda, ko'ndalang EYUK hosil bo'ladi, uning vektori avtotransformatorning shu faza kuchlanish vektori bilan mos tushadi (10.5,

a-rasm). Natijada avtotransformatorning o'rta kuchlanish chulg'ami chiqishidagi kuchlanish quyidagicha bo'ladi:

$$U_{A'} = U_A + E_{A'}.$$

Agar voltqo'shuvchi transformatorning (VQT) ta'minlovchi chulg'amning A fazasiga U_v kuchlanish vektori qo'yilsa, rostlanuvchi 2 chulg'amda ko'ndalang EYUK hosil bo'ladi (10.5, *b-rasm*), Natijada avtotransformatorning o'rta kuchlanish chulg'ami chiqishidagi kuchlanish quyidagicha bo'ladi:

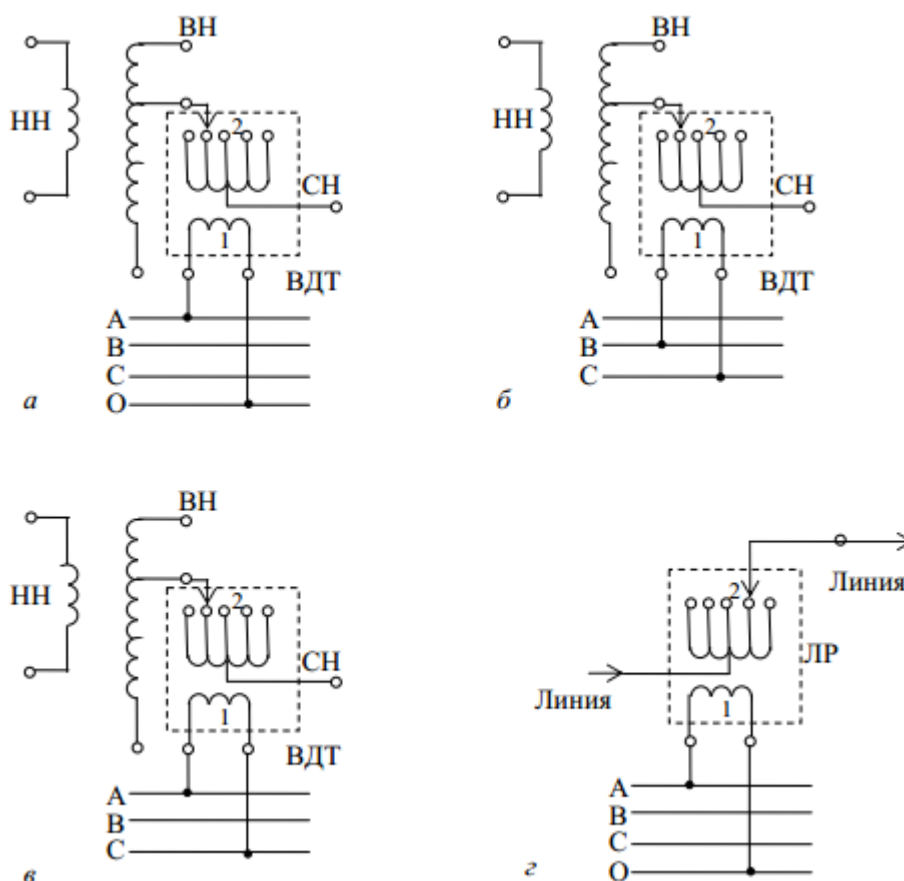
$$U_{A'} = U_{A'} + jE''_{A'}.$$

E Agar voltqo'shuvchi transformatorning (VQT) ta'minlovchi chulg'amning A fazasiga U_v kuchlanish vektori qo'yilsa, rostlanuvchi 2 chulg'amda ko'ndalang EYuK hosil bo'ladi (10.5, *b-rasm*), Natijada avtotransformatorning o'rta kuchlanish chulg'ami chiqishidagi kuchlanish quyidagicha bo'ladi:

$$U_{A'} = U_{A'} + jE''_{A'}.$$

Yana, nihoyat voltqo'shuvchi transformatorning (VQT) ta'minlovchi chulg'amning A fazasiga U_{AC} kuchlanish vektori qo'yilsa (10.5, *v-rasm*) rostlanuvchi 2 chulg'amda bo'ylama-ko'ndalang EYuK hosil bo'ladi. Natijada avtotransformatorning o'rta kuchlanish chulg'ami chiqishidagi kuchlanish quyidagicha bo'ladi (10.5, *v-rasm*):

$$U_{A'} = U_{A'} + E_{A'} = U_{A'} + E'_{A'} + jE''_{A'}.$$



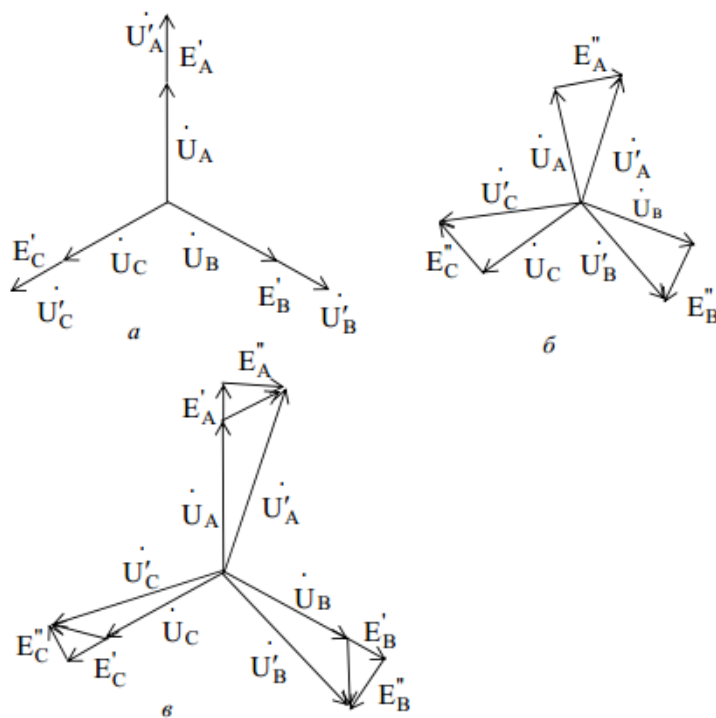
10.5, v-rasm. Printsipial ulanish sxemalari:

a, b, v – voltqo'shuvchi transformatorning (VQT); g – liniya rostlagichining

ЛЕКТСИЯ 17. ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Shuni ta'kidlash lozimki, barcha uchchala holatda ham voltqo'shuvchi transformator (VQT) ulanganidan so'ng kuchlanish moduli $|U'_A|$ o'zgarib $|U'_A|$ ko'rinish olmoqda. Liniya rostlagichning LR ulanish sxemasi va ishlash printsipi VQT ga o'xshash bo'ladi. Na 10.5, g-rasmda, liniya rostlagichning LR ulanish sxemasining varianti ko'rsatilgan. Bu yerda ta'minlovchi chulg'am 1 A fazasiga va transformatorning neytraliga (avtotransformator) ulangan bo'lib, rostlovchi chulg'amning 2 A fazasida bo'ylama EYuK hosil bo'lgan holati ko'rsatilgan. Endi talab qilinadigan kuchlanish rejimini ta'minlash uchun kuchlanish ostida rostlash qurilmasini amalda qo'llanilish masalasini ko'rib chiqamiz. Bunday masalalar ham elektr tarmoqlarning ekspluatatsiya sharoitlarida, ham uni loyihalashtirish jarayonida yuzaga kelishi mumkin. Ekspluatatsiyada podstantsiyaning ikkilamchi kuchlanish shinasida turli rejimlarda talab qilingan kuchlanish olinishi mumkin bo'lgan transformatorning konkret bo'laklanishlarini tanlashga to'g'ri keladi.

Elektr tarmoqlarni loyihalashda ikkilamchi kuchlanish shinasida tanlangan rejimni ta'minlash uchun transformatorning kuchlanish ostida roslash qurilmasida (KYuOR) yetarli bo'lgan kuchlanishni rostlash pog'onalari mavjudligiga ishonch hosil qilish zarur.



10.6

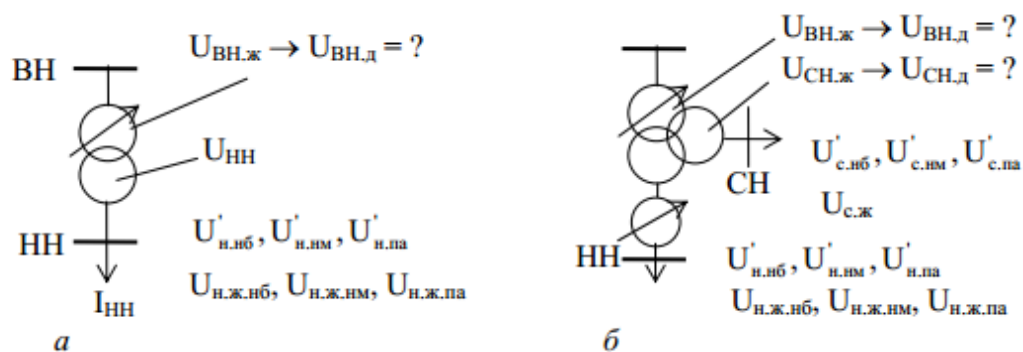
10.6 rasm. Kuchlanishlarning vektor diagrammalari: *a* – bo'ylama rostlashda; *b* – kundalang rostlashda; *v* – bo'ylama – ko'ndalang rostlashda

Ikkala holatda ham chulg'amlarning bo'laklanish zanjirlarini tanlash uchun dastlabki ma'lumot sifatida elektr tarmoqning eng katta va eng kichik yuklamalarda hamda eng og'ir avariyalardan keyingi rejimlar ko'rsatkichlari yoki transformatorning kirishidagi kuchlanishni o'lchash natijalari xizmat qiladi.

Kuchlanish ostida roslash qurilmasi bo'lgan ikki chulg'amli transformator uchun qo'llanilganida tarmoqning elektr hisoblari natijasida transformatorning yuqori kuchlanishiga keltirilgan past kuchlanish shinalaridagi kuchlanish eng katta yuklama rejimidagi kuchlanish $U'_{n.ekat}$ va eng kichik yuklama rejimlaridagi kuchlanish $U'_{n.ekich}$, hamda eng og'ir avariya dan keyingi rejimidagi kuchlanish

$U'_{n.ak}$ ma'lum bo'ladi (10.6.a-rasm). Agar kerak bo'lsa, bir necha avariya dan keyingi rejimlar ko'rib chiqiladi.

YuOKR qurilmasi transformatorni tarmoqdan o'chirmasdan rostlash chulg'aming bir bo'laklanish chiqishidan boshqasiga o'tish imkoniyati bo'lganligidan sutka davomida elektr iste'molining turli rejimlari uchun talab qilingan (kutilayotgan) mos kuchlanish tanlanishi mumkin. Ular ta'minot markazi (TM) shinalaridagi kuchlanish grafigidan kelib chiqib, masalan kuchlanishni stabillash rejimi bilan, qarama-qarshi rostlash rejimiga ko'ra mos ravishda qabul qilinadi. Shunday qilib, umumiy holda podstantsiyaning past kuchlanish shinasidagi eng katta yuklama rejimidagi kuchlanish $U'_{n.ekat}$ va eng kichik yuklama rejimlaridagi kuchlanish $U'_{n.ekich}$, hamda eng og'ir avariya dan keyingi rejimidagi kuchlanish $U'_{n.ak}$ o'rnatiladi (10.6, a-rasm). Elektr iste'molchi uchun elektr tarmoq qanday holatda ekanligining ahamiyati yo'q – normal yoki avariya dan keyingi rejimligi. Har qanday vaziyatda tarmoqda sifatli elektr energiyasi bo'lishi kerak. Shu sababli avariya dan keyingi rejim uchun ham odatda normal rejimdagi kuchlanish maqsadga muvofiq bo'ladi.



10.7-rasm. YuOKRli transformatorlar chulg'aming bo'laklanishlarini tanlash uchun dastlabki ma'lumotlar: *a* – ikki chulg'amli; *b* – uchchulg'amli

Agar masalan avariya dan keyingi rejim uchun eng katta yuklamali rejim qabul qilinadigan bo'lsa, qarama-qarshi rostlash qo'llaniladi, podstantsiyaning past kuchlanish shinasidagi kuchlanishi uchun quyidagilar qabul qilinadi:

$$U_{n.j.ekat} = U_{n.j.avk} = 1,05U_{nom} \text{ va } U_{n.j.ekich} = 1,0U_{nom},$$

bu yerda: U_{nom} – past kuchlanishli tarmoqning nominal kuchlanishi.

Bo'laklanishlarni tanlash uchun shu transformatorning parametrlari ma'lum bo'lishi kerak. Xususan: past kuchlanish chulg'aming nominal kuchlanishi U_{PK} va yuqori kuchlanish U_{YUK} chulg'aming va uning har bir bo'laklanishlari nominal kuchlanishlari. Bu yerda izlanayotgan parametr yuqori kuchlanish chulg'aming (har bir bo'laklanishlari) kutilayotgan kuchlanishi $U_{YUK.kut}$ bo'ladi (10.7, a-rasm). Elektr iste'molining har bir rejimi uchun shakllantirilgan birlamchi ma'lumotlarda kutilayotgan transformatsiyalash koeffitsientini past kuchlanish shinalaridagi kuchlanish kattaligini yuqori kuchlanishga keltirilgan nisbati sifatida, va o'z transformatori parametrlari orqali yuqori kuchlanish bo'laklanishlarining kutilayotgan kuchlanishining past kuchlanish chulg'amlari kuchlanishiga nisbati ko'rinishida ifodalashimiz mumkin:

$$k_{t\text{ kut ekat}} = \frac{U'_{n\text{ ekat}}}{U_{n\text{ kut ekat}}} = \frac{U_{YUK\text{ kut ekat}}}{U_{PK}}$$

$$k_{t\text{ kut ekich}} = \frac{U'_{n\text{ ekich}}}{U_{n\text{ kut ekat}}} = \frac{U_{YUK\text{ kut ekich}}}{U_{PK}}$$

$$k_{t\text{ kut av keyn}} = \frac{U'_{n\text{ av key}}}{U_{n\text{ kut avkey}}} = \frac{U_{YUK\text{ kut avkey}}}{U_{PK}}$$

Bundan past kuchlanish shinasidagi kutilayotgan kuchlanishni ta'minlovchi transformator bo'laklanishlarida kutilayotgan kuchlanish kattaligini mos rejimlar uchun quyidagicha aniqlash mumkin bo'ladi:

$$U_{YUK\text{ kut ekat}} = \frac{U'_{n\text{ ekat}}}{U_{n\text{ kut ekat}}} \cdot U_{PK}$$

$$U_{YUK\text{ kut ekich}} = \frac{U'_{n\text{ ekich}}}{U_{n\text{ kut ekich}}} \cdot U_{PK}$$

$$U_{YUK\text{ kut av k}} = \frac{U'_{n\text{ av key}}}{U_{n\text{ kut avkey}}} \cdot U_{PK} \quad (10.1)$$

Transformator bo'laklanishlarida kutilayotgan (hisobiy) kuchlanish kattaligi bo'yicha shu transformator uchun YuOKR qurilmasida bo'lgan bo'laklanishlarning (tarmoqlanish) eng yaqin standart kuchlanishlari qabul qilinadi: $U_{YUK.xaq.ek}$, $U_{YUK.xaq.ekich}$, $U_{YUK.xaq.av.k}$. Tanlab olingan standart bo'laklanishlar kuchlanishida past kuchlanish shinalaridagi haqiqiy kuchlanish kattaligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned}
U_{n\text{ xaq ekat}} &= \frac{U'_{n\text{ ekat}}}{k_{t\text{ xaq ekat}}} = \frac{U'_{n\text{ ekat}}}{U_{YUK\text{ xaq ekat}} / U_{PK}} = \frac{U'_{n\text{ ekat}}}{U_{YUK\text{ xaq ekat}}} \cdot U_{PK} \\
U_{n\text{ xaq ekich}} &= \frac{U'_{n\text{ ekich}}}{k_{t\text{ xaq ekich}}} = \frac{U'_{n\text{ ekich}}}{U_{YUK\text{ xaq ekich}} / U_{PK}} = \frac{U'_{n\text{ ekich}}}{U_{YUK\text{ xaq ekich}}} \cdot U_{PK} \\
U_{n\text{ xaq av key}} &= \frac{U'_{n\text{ av k}}}{k_{t\text{ xaq av k}}} = \frac{U'_{n\text{ av key}}}{U_{YUK\text{ xaq av k}} / U_{PK}} = \frac{U'_{n\text{ av k}}}{U_{YUK\text{ xaq av k}}} \cdot U_{PK}
\end{aligned} \tag{10.2}$$

bu yerda: $k_{t.\text{xaq}}$ – elektr iste'molining mos rejimida tanlab olingan tarmoqlanishdagi haqiqiy transformatsiyalash koeffitsienti.

YuOKRli uch chulg'amli transformatorlarning yuqori kuchlanish chulg'amlari bo'laklanishlarini tanlash masalasiga to'xtalamiz. Dastlabki rejim ma'lumoti sifatida eng katta va eng kichik yuklamalar rejimi, hamda avariya dan keyingi past kuchlanish shinalaridagi rejimlar olinadi. Xuddi ikki chulg'amli transformatorlardagidek, har bir rejim uchun past kuchlanish shinalarining kutilayotgan kuchlanishi kattaliklari qabul qilamiz: $U_{n.\text{kut ekat}}$, $U_{n.\text{kut ekich}}$, $U_{n.\text{kut av k}}$. Bu yerda yuqori kuchlanish chulg'amidagi RPNni avvalambor past kuchlanish shinalarida o'rnatilgan rejimlarni ta'minlash uchun foydalanamiz.

Aytib o'tilgan shartlardan kelib chiqib, o'rta kuchlanish shinasida faqat kutilayotgan kuchlanish $U_{s.\text{kut}}$ berilishi mumkin chunki o'rta kuchlanish chulg'amida YuOKR mavjud emas.

Uch chulg'amli transformator dastlab YuK – PK yo'nalishli ikki chulg'amli transformator sifatida ko'riladi va har bir elektr iste'moli rejimi uchun yuqori kuchlanish chulg'amining bo'laklanishlaridagi haqiqiy kuchlanishlarni $U_{VN.\text{xaq.ekatek}}$, $U_{VN.\text{xaq.ekich}}$, $U_{VN.\text{xaq.av k}}$ ta'minlab beradigan YuOKRning mos ulanish pog'onalari tanlanadi. Bu bo'laklanishlar past kuchlanish shinalarining kutilayotgan kuchlanishi kattalikliklarini ta'minlab beradi. SHundan keyin yuqori kuchlanish chulg'amidagi belgilangan rostlanish pog'onalari (bo'laklanishlari) uchun o'rta kuchlanish bo'laklanishlarini tanlashga kirishiladi, bunda uchchulg'amli transformator endi YuK– O'K yo'nalishida ko'riladi. Bu yerda transformatsiyalash koeffitsienti normal rejim parametrlari va transformatorning chulg'am parametrlari bo'yicha quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin:

$$k_{t\text{ kut}} = \frac{U'_{O'K\text{ ekat}} + U_{O'K\text{ ekich}}}{2U_{O'K\text{ kut}}} = \frac{U_{YUK\text{ xaq ekat}} + U_{YUK\text{ xaq ekich}}}{U_{O'K\text{ kut}}}$$

Bundan o'rta kuchlanish chulg'ami bo'laklanishlaridagi kutilayotgan kuchlanish quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$U_{O'K\text{ kut}} = \frac{(U_{YUK\text{ xaq ekat}} + U_{YUK\text{ xaq ekich}})U_{O'K}}{U'_{O'K\text{ ekat}} + U'_{O'K\text{ ekich}}} \quad (10.3)$$

Shu hisobiy kuchlanish kattaligi bo'yicha shu transformatorida mavjud bo'lgan standart kuchlanish qiymatini $U_{O'K\text{ xaq}}$ tanlanadi. U holda O'K shinalaridagi haqiqiy (mavjud) kuchlanish mos rejimlarda quyidagicha ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{aligned} U_{O'K\text{ xaq ekat}} &= \frac{U_{O'K\text{ ekat}}}{k_{t\text{ xaq ekat}}} = \frac{U'_{O'K\text{ ekat}}}{U_{YUK\text{ xaq ekat}}/U_{O'K\text{ xaq}}} = \frac{U_{O'K\text{ ekat}}}{U_{YUK\text{ xaq ekat}}} \cdot U_{O'K\text{ xaq}} \\ U_{O'K\text{ xaq ekich}} &= \frac{U'_{O'K\text{ ekich}}}{U_{YUK\text{ xaq ekich}}/U_{O'K\text{ xaq}}} = \frac{U_{O'K\text{ ekich}}}{U_{YUK\text{ xaq ekich}}} \cdot U_{O'K\text{ xaq}} \\ U_{O'K\text{ xaq avk}} &= \frac{U_{O'K\text{ avk}}}{k_{t\text{ xaq avk}}} = \frac{U'_{O'K\text{ avk}}}{U_{YUK\text{ xaq avk}}/U_{O'K\text{ xaq}}} = \frac{U_{O'K\text{ avk}}}{U_{YUK\text{ xaq avk}}} \cdot U_{O'K\text{ xaq}} \end{aligned} \quad (10.4)$$

bu yerda: $k_{t\text{ xaq}}$ – transformatorning YUK va O'K chulg'amlari orasidagi haqiqiy transformatsiyalash koeffitsienti.

Hisoblarni EHMda bajarish paytida transformator chulg'amlarining bo'laklanishlarini turli usullarda tanlash mumkin. Birinchi usulda podstantsiyaning YuK, O'K va PK shinalaridagi va transformatorning almashinish sxemasining nol nuqtasi uchun tarmoqning YuK kattaligiga teng bo'lgan bazis kuchlanish beriladi, unga mos transformatsiyalash koeffitsienti 1ga teng bo'ladi. SHu shart uchun rejim hisoblanadi.

Hisob natijasida YuK shinalariga keltirilgan kuchlanishlar aniqlaniladi. Keyin esa transformator chulg'amlarining bo'laklanishlari (10.1) va (10.2) ifodalar yordamida tanlanadi. Ikkinchi usul elektr tarmoqning barqaror rejimlarini hisoblash programmasini qo'llash imkonini beradi. Unga ko'ra podstantsiyaning YuK, O'K va PK shinalaridagi kuchlanishlari uchun mos tarmoq kuchlanishiga teng bo'lgan bazis kuchlanish beriladi (masalan, 110, 35 i 10 kV). Uchchulg'amli transformatorning almashinish sxemasining nol nuqtasi uchun YuK shinasini

kuchlanishi kattaligiga teng bo'lgan bazis kuchlanish beriladi. Ikki chulg'amli transformatorga to'g'ri keladigan shahobcha uchun va uch chulg'amli transformatorning past kuchlanish chulg'amiga to'g'ri keladigan shahobcha uchun RPN qurilmasining kuchlanishni rostlash pog'onalari belgilanadi. Undan tashqari tanlab olingan qarama-qarshi rostlash printsipligiga ko'ra har bir rejim uchun (eng katta, eng kichik yuklama va avariya dan keyingi rejimlar) (PK) past kuchlanish shinalarida kutilayotgan kuchlanish kattaligi o'rnatiladi. EHMLarida hisoblar natijasida berilgan ma'lumotlar yordamida har bir podstantsiya bo'yicha tanlanadigan bo'laklanishlar (shahobchalar) va PK shinasidagi haqiqiy kuchlanish kattaligi aniqlanadi. O'rta kuchlanish chulg'ami bo'laklanishlarini tanlash uchun rejimlar hisobida YuK– O'K yo'nalishida transformatsiyalash koeffitsienti mos ravishda yuqori $U_{YUK\ b}$ va o'rta kuchlanish $U_{O'K\ b}$ bazis kattaliklari nisbati sifatida belgilanadi:

$$k_{YUO'} = \frac{U_{YUK\ b}}{U_{O'K\ b}}$$

Bunda topilgan yuqori kuchlanishga keltirilgan mos rejimlar kuchlanishlari quyidagicha aniqlanadi:

$$U'_{O'K\ s.kat} = U_{O'K\ s.kat} \cdot k_{YUO'}$$

$$U'_{O'K\ s.kich} = U_{O'K\ s.kich} \cdot k_{YUO'}$$

$$U'_{O'K\ av.k.} = U_{O'K\ av.k.} \cdot k_{YUO'}$$

Keyin bo'laklanishlar (17.3) ifoda bo'yicha tanlanadi. Shunga e'tibor qaratiladiki, YuOKR qurilmasi bo'lgan rostlash sistemasi uchun chulg'amlar bo'laklanishlari har bir hisobiy rejimlar uchun tanlanadi, YuOKR qurilmasi bo'lmagan rostlash sistemasi uchun chulg'amlar bo'laklanishlari barcha rejimlar uchun bitta bo'ladi. Uchinchi usul transformatorning konkret bo'laklanishini tanlash muxim emas, balki pasaytiruvchi podstantsiyalar ikkilamchi shinalaridagi kuchlanish rostlash oralig'i uchun yetarli ekanligini tekshirish muxim bo'lganida qo'llanilishi foydali bo'ladi. Bu holda eng katta yuklama va avariya dan keyingi rejimlar uchun eng kichik transformatsiyalash koeffitsienti quyidagicha beriladi:

$$k_{YUP} = \frac{U_{bo'l.min}}{U_{PK}} \quad (10.5)$$

bu yerda: U_{PK} – past kuchlanish chulg'aming nominal kuchlanishi;

$U_{bo'l.min}$ – rostlovchi bo'laklanishlar diapazoni ichidagi eng kichik kuchlanish.

Masalan, rostlash diapazoni $115 \pm 9 \times 1,78 \%$ bo'lsa $U_{bo'l.min}$ rostlanish diapazonidagi eng kichik kuchlanish $115 - 9 \times 1,78 \%$, t. e. 96,6 kV bo'ladi.

O'rta kuchlanish shinalarida bazis kuchlanish tarmoqning nominal kuchlanishiga teng qilib olinadi. Rejimlar hisoblari natijasida past kuchlanish shinalari uchun olingan kuchlanish kattaligi va shu rejim uchun kutilayotgan kuchlanish solishtiriladi. Agar $U_{n.xaq} \geq U_{n.kut}$ sharti bajarilsa, transformatoridagi RPNning rostlash diapazoni mos rejimlarda kutilayotgan kuchlanishni berishi uchun yetarli bo'ladi. Xuddi shunday tartibda eng kam yuklama uchun hisoblar bajariladi, faqat bunda transformatsiyalash koefitsientining eng katta qiymati beriladi, chunki bunda eng kam yuklama rejimida kutilayotgan kuchlanishdan ortiq bo'lmagan kuchlanish olish imkoniyati quyidagicha tekshiriladi:

$$k_{YUP} = \frac{U_{bo'l.maks}}{U_{PK}} \quad (10.6)$$

bu yerda: $U_{bo'l.maks}$ – transformatorning rostlovchi bo'laklanishlari diapazonidagi eng katta kuchlanish. Masalan, rostlash diapazoni $115 \pm 9 \times 1,78 \%$ bo'lganida $U_{bo'l.maks}$ kuchlanish kattaligi $115 + 9 \times 1,78 \%$, ya'ni 133,4 kV ga teng bo'ladi. Agar, PK shinalarida olingan kuchlanish eng kam yuklamalar rejimida kutilayotgan kuchlanishdan katta bo'lmasa, ya'ni $U_{n.xaq.ekam} \leq U_{n.kut.ekam}$ bo'lsa, bu rejim uchun YuOKR dagi mavjud rostlash diapazoni talab qilinayotgan kuchlanishni ta'minlash uchun yetarli bo'ladi deb qabul qilinadi.

Avtotransformatorlar ham yuqori kuchlanish chulg'ami tomonida, ham o'rta kuchlanish chulg'ami tomonida YuOKR qurilmasiga ega bo'lishi mumkin. Lekin ko'proq o'rta kuchlanish chulg'ami tomonida YuOKR qurilmasiga ega bo'lgan avtotransformatorlar qo'llaniladi. Shu sababli o'rta kuchlanish chulg'ami tomonida YuOKR qurilmasiga ega bo'lgan konstruktsiyali avtotransformatorlar tanlash masalasini ko'rib chiqamiz. Agar avtotransformatorlar ikki xil nominal kuchlanishi bo'lgan yopiq tarmoqni bog'lab turish uchun ishlab turgan bo'lsa,

ularning chulg'amlarining bo'laklanishini tanlash shu tarmoqning rejimini optimallashtirishga asoslanib bajariladi. Lekin ko'pincha avtotransformatorlar radial tarmoqlarda ham ishlab turishi mumkin: tarmoqning normal radial sxemasida; remont ishlari paytida va avariya dan keyingi rejimlarda yopiq tarmoq uzilganida, iqtisodiy samaradorlik nuqtai nazaridan va qisqa tutashuv toklarini chegaralash maqsadida ochiq tarmoq rejimida ishlab turgan, yopiq tarmoq sxemasida; bunda quvvatlar oqimi, odatda, YuK tomonidan O'K tomoniga (yoki YuK tomonidan PK tomoniga) yo'nalgan bo'ladi. Bunda asosiy quvvat o'rta kuchlanish tomoniga yo'naltirilganligi uchun avtotransformator chulg'amini bo'laklanishini tanlashda o'rta kuchlanish shinasini uchun kutilayotgan kuchlanish $U_{O'K.kut}$ kattaligi qiymati belgilanadi. Uholda xuddi transformatorlardagidek, har bir ko'rib chiqilayotgan rejimlar uchun yuqori va o'rta kuchlanish chiqishlari orasidagi transformatsiyalash koeffitsienti uchun quyidagi ifodalarni yozishimiz mumkin:

$$k_{YUO'} = \frac{U'_{O'K}}{U_{O'K.kut}} = \frac{U_{YUK}}{U_{O'K.kut}}$$

bu yerda: $U'_{O'K}$ – yuqori kuchlanishga keltirilgan o'rta kuchlanish shinasining kuchlanishi; U_{YUK} —yuqori kuchlanish chiqishidagi nominal kuchlanish kattaligi; $U_{O'K.kut}$ —o'rta kuchlanish bo'laklanishidan chiqishining kutilayotgan kuchlanishi. Bundan kelib chiqib quyidagi ifodalarni yozamiz:

$$U_{O'K.kut} = \frac{U_{YUK}}{U'_{O'K}} U_{O'K.kut} \quad (10.7)$$

Bu yerda qo'shilishi kerak bo'lgan kuchlanishning o'rta kuchlanish U_{SN} shinasidagi kattaligiga nisbatan qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$\delta U_{kut} = U_{O'K.kut} - U_{O'K}, \text{ kV} \quad (10.8)$$

yoki boshqacha ko'rinishda quyidagicha bo'ladi:

$$\delta U_{kut} = \frac{U_{O'K.kut} - U_{O'K}}{U_{O'K}} 100\% \quad (10.9)$$

Kutilayotgan kattaliklarga $U_{O'K.kut}$ va δU_{kut} asoslanib, haqiqiy qiymatlari $U_{O'K.xaq}$ va δU_{xaq} qabul qilinadi. O'rta kuchlanish bo'laklanish shinasidagi δU_{xaq} qo'shimchasiz haqiqiy (real) kuchlanish quyidagicha bo'ladi:

$$U_{O'} = \frac{U_{O'}' U_{O'K}}{U_{YUK}} \quad (10.10)$$

δU_{xaq} qo'shimchasi bilan quyidagicha bo'ladi:

$$U_{O' xaq} = \frac{U_{O'}' U_{O'Kxaq}}{U_{YUK}} = \frac{U_{O'}' (U_{O'K} + \delta U_{xaq})}{U_{YUK}} \quad (10.11)$$

bu yerda: $U_{O'K}$ – o'rta bo'laklanishdagi kuchlanish.

δU_d qo'shimcha kuchlanish bo'lganida o'rta kuchlanish shinasidagi kuchlanish kattaligi quyidagicha bo'ladi:

$$\delta U_{O' xaq} = \left\{ \frac{U_{O' xaq} - U_{O'}}{U_{O'}} \right\} \cdot 100\% = \left\{ \frac{U_{O'}' (U_{O'K} + \delta U_{xaq})}{U_{YUK}} - \frac{U_{YUK}}{U_{O'}' U_{O'K}} \right\} \cdot 100\% = \frac{\delta U_{xaq}}{U_{O'K}} \cdot 100\%$$

ya'ni kuchlanishning o'zgarishi foizlardagi kiritilgan qo'shimcha kuchlanishga teng bo'ladi.

10.3.2. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarda kuchlanishni rostlash rejimlarini tanlash

Kuchlanishi 10(6)–0,38 kV bo'lgan taqsimlovchi tarmoqlarda kuchlanishni rostlashning asosiy maqsadi elektr iste'molchilarda davlat standarti bo'yicha nominal kuchlanish kattaliklarini ta'minlashdan iborat bo'ladi. Kuchlanishni rostlash uchun taqsimlovchi tarmoqlarning ta'minot markazida joylashgan transformatorlarni kuchlanish ostida rostlash (RPN) yoki boshqa kurilmalar, va kuchlanish sifatini yaxshilash uchun 10(6)/0,38 kVli transformator podstantsiyalari (TP), ayrim hollarda esa 10(6) kV ili 0,38 kVli tarmoqlarga ulangan kompensatsiyalovchi qurilmalar ishlatilishi mumkin. Transformatoridan 10(6)/0,38 kVli tarmoqlanishni tanlash ta'minot markazida kuchlanishni rostlash rejimi bilan birgalikda amalga oshiriladi. Dastlab eng katta va eng kichik yuklamalar uchun rejimlar hisobi bajariladi. 10 (6) kVli taqsimlovchi tarmoqlar rejimlarining hisobida quyidagi soddalashtirishlar kiritiladi:

a) tarmoq uchastkalarida quvvatlar oqimi hisobi quvvat isroflarini hisobga olmasdan nominal kuchlanish bo'yicha bajariladi;

b) ko'ndalang kuchlanishlar pasayishini hisobga olinmaydi, va kuchlanishlar yo'qolishi (isrofi) kattaligini kuchlanish pasayishining bo'yлама tashkil etuvchisiga teng deb olinadi.

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_{nom}}, B \quad \Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_{nom}} \cdot 100\%$$

v) elektr uzatish liniyasining ko'ndalang o'tkazuvchanligi va TP transformatorlarining salt ishlash isroflari hisobga olinmaydi. Elektr tarmoq uchastkalari parametrlari va TP yuklamalari bo'yicha elektr tarmoqning barcha uchastkalaridagi quvvatlar oqimi aniqlanadi. Hisoblashlar tarmoq oxiridan boshiga qarab ta'minot markazigacha bajariladi. Bunda elektr tarmoqning har bir bo'laklanish nuqtasida Kirxgoffning 1 –qonuni qo'llaniladi. ΔU uchun ifodalardan foydalanib, topilgan quvvatlar oqimi bo'yicha elektr tarmoqning har bir uchastkalaridagi quvvat isroflari hisoblanadi, keyin esa hisoblar TM shinasidan har bir podstantsiyaning 0,38 kVli shinasigacha eng katta va eng kichik yuklamalar rejimida aniqlanadi. Davlat standarti bo'yicha elektr iste'molchilar kirishida kuchlanishning uzoq muddatga ruxsat etilgan normal kattaligi $\pm 5\%$ atrofida bo'lishi kerak.

Agar podstantsiyaga eng yaqin joylashgan iste'molchida kuchlanishning og'ishi maksimal kattalikda bo'lsa, ya'ni $\delta U_{\delta} = + 5 \%$, va 0,38 kV li tarmoqda podstantsiyadan iste'molchigacha kuchlanish yo'qolishi $\Delta U_{nn.b}$ bo'lsa, eng yaqin joylashgan iste'molchining ishlash sharoiti bo'yicha 0,38 kVli shinada kuchlanishning ruxsat etilgan og'ishi kattaligi quyidagicha bo'ladi:

$$\delta U_{tp.ekat} = \delta U_{\delta} + \Delta U_{nn.yaq}, \quad (10.12)$$

bu yerda: $\Delta U_{nn.yaq}$ – TP 0,38 kV shinasidan eng yaqin joylashgan iste'molchigacha kuchlanishning yo'qolishi.

podstantsiyadan eng olisda joylashgan iste'molchida kuchlanishning og'ishi eng past chegara darajasida bo'ladi, ya'ni $\delta U_{olis} = -5 \%$ bo'ladi. Agar bunda 0,38 kV tarmoqda TPdan iste'molchigacha bo'lgan kuchlanish yo'qolishi $\Delta U_{nn.olis}$ ga teng bo'lsa, eng olisda joylashgan elektr iste'molchi ishlashi bo'yicha

podstantsiyaning 0,38 kVli shinasida kuchlanishning eng kam ruxsat etilgan og'ishi quyidagicha aniqlanadi:

$$\delta U_{tp.engkam} = \delta U_{olis} + \Delta U_{nn.olis}, \quad (10.13)$$

bu yerda: $\Delta U_{nn.olis}$ – eng olisda joylashgan elektr iste'molchidan podstantsiyaning 0,38 kVli shinasigacha kuchlanishning yo'qolishi. Shunday qilib, eng olisda va eng yaqinda joylashgan elektr iste'molchilardagi elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlari uchun standart talablariga rioya qilgan holda podstantsiyaning 0,38 kVli shinasida kuchlanish quyidagi oraliqlarda bo'lishi zarur:

$$\delta U_{TP.engkam} \leq \delta U_{TP.r.et} \leq \delta U_{TP.engkat}, \quad (10.14)$$

(10.14) shart eng katta $\delta U_{TP.r.et}$ va eng kichik $\delta U_{TP.r.et}$ yuklamalar rejimida saqlanishi lozim:

$$\begin{aligned} \delta U''_{TP.ekich} &\leq \delta U''_{TP.r.et} \leq \delta U''_{TP.ekat} \\ \delta U'_{TP.ekich} &\leq \delta U'_{TP.r.et} \leq \delta U'_{TP.ekat} \end{aligned} \quad (10.15)$$

Agar elektr iste'molchida kuchlanishning ruxsat etilgan og'ishlarining me'yorlari elektr tarmoq rejimlariga bog'liq emasligini hisobga olsak, ya'ni quyidagi tengliklar bajarilsa, ya'ni

$\delta U''_{yaq} = \delta U'_{yaq} = \delta U_{yaq}$ va $\delta U''_{olis} = \delta U'_{olis} = \delta U_{olis}$, bo'lsa, u holda

$$\begin{aligned} \delta U''_{TP.ekat} &= \delta U_{yaq} + \Delta U''_{PK.yaq} \\ \delta U''_{TP.ekich} &= \delta U_{olis} + \Delta U''_{PK.olis} \end{aligned} \quad (10.16)$$

$$\begin{aligned} \delta U'_{TP.ekat} &= \delta U_{yaq} + \Delta U'_{PK.yaq} \\ \delta U'_{TP.ekich} &= \delta U_{olis} + \Delta U'_{PK.olis} \end{aligned} \quad (10.17)$$

10(6) kV li taqsimlash tarmog'ida, odatda, kuchlanish ostida rostlash qurilmasi bo'lmagan transformatorlar o'rnatiladi. Shunday bo'lsada bu transformatorlar chulg'amlari ham bo'laklangan bo'lib qo'lda rostlash vositasi bilan jihozlanadi va ularda ham turli transformatsiyalash koeffitsienti olinishi mumkin. Ularda YuOKR bo'lmaganligi uchun har bir transformatorida turli rejimlar (eng katta va eng kichik) uchun faqat bitta zanjir chiqarilishi mumkin bo'ladi. Odatda transformatorlarda 5 ta bo'laklanish chiqishlari bo'ladi. Harbir

kuchlanishni rostdash pog'onasi 2,5 % ga teng bo'ladi. Transformator tomonidan beriladigan qo'shimcha kuchlanish o'rnatilgan rostdash pog'onasi bilan aniqlanadi:

$$\delta U_t = \left(\frac{U_{2nom}^*}{U_{1nom}^*} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (10.18)$$

bu yerda: U_{1nom}^* – transformatorning birlamchi chulg'aming nominal kuchlanishi (nisbiy birliklarda, kuchlanishning rostdash pog'onalarini hisobga olib) yozamiz:

$$U_{1nom}^* = \frac{U_{1nom}}{10(6)};$$

U_{2nom}^* – transformatorning ikkilamchi chulg'aming nominal kuchlanishi (nisbiy birliklarda).

$$U_{2nom}^* = 0,4/0,38.$$

Kuchlanishi $10 \pm 2 \times 2.5\% / 0.4$ va $6 \pm 2 \times 2.5\% / 0.4$ kV bo'lgan transformatorlar uchun kuchlanishning rostdash pog'onalaridagi qo'shimcha kuchlanish qiymatlari quyidagi jadvalda keltirilgan.

Elektr iste'molchilarda ruxsat etilgan kuchlanish og'ishlarini ta'minlash uchun transformatorlardagi barcha mavjud kuchlanishni rostdash pog'onalari ishlatilishi maqsadga muvofiq bo'ladi (10.1-Jadval).

10.1-Jadval

TP transformatorlari uchun kuchlanishning rostdash pog'onalaridagi qo'shimcha kuchlanish kattaliklari

Tartib raqami	Birlamchi chulg'am tarmoqlanishida, %	Tarmoqlanish kuchlanishi, kV	Qo'shimcha kuchlanishning yaxlitlangan kattaligi, δU_t , %
1	+5	10, 5 (6, 3)	0, 25
2	+2, 5	10, 25 (6, 15)	2, 70
3	0	10 (6)	5, 26
4	-2, 5	9, 75 (5, 85)	7, 96
5	-5	9, 5 (5, 7)	10, 80

Bunda har bir bo'laklanishga taqsimlash tarmog'ining ma'lum bir zonasi to'g'ri keladi. Elektr ta'minoti markaziga yaqin joylashgan TP da kuchlanish

qo'shimchasi kamroq (ya'ni yuqoriroq transformatsiya bilan +5 yoki +2,5 %), olisroq joylashgan podstantsiyalarda esa kuchlanish qo'shimchasi ko'proq (ya'ni kamroq transformatsiya bilan -2,5 yoki -5 %) berilsa, maqsadga muvofiq bo'ladi. Transformatorning bir rostlash pog'onasidan boshqasiga o'tish sharoitini ko'rib chiqamiz. Buning uchun ta'minoti markaziga eng yaqin joylashgan transformator punktida eng kam qo'shimcha kuchlanish 0,25 % uchun mos transformatoridagi +5 % bo'laklanishda kuchlanish yo'qolishi aniqlanadi (jadval). Podstantsiyaning 0,38 kVli shinasidagi kuchlanish og'ishi uchun ifodani quyidagicha yozamiz:

$$\delta U_{TP} = \delta U_{TM} - \Delta U_{ky} + \delta U_{qk},$$

bu yerda: δU_{TSP} – ta'minot markazidagi (TM) kuchlanishning og'ishi;

ΔU_H – ta'minot markazi (TM) shinasidan TPning 0,38 kV shinasigacha bo'lgan oraliqda kuchlanish yo'qolishi;

δU_T – TM transformatorida qo'shimcha kuchlanish.

Ulardan kelib chiqib:

$$\Delta U_H = \delta U_{TSP} - \delta U_{TP} + \delta U_T. \quad (10.19)$$

Podstantsiyaning 0,38 kV li shinasida ruxsat etilgan kuchlanishning og'ishi (10.14), (10.16) va (10.17) ifodalar bilan aniqlanadi. Yuqoridagilardan kelib chiqib ta'minoti markazidan podstantsiyaning 0,38 kV li shinasigacha TP transformatorida eng kam kuchlanish qo'shimchasiga $\delta U_{T.NM} = 0,25$ mos keladigan kuchlanishning rostlash pog'onalarini o'rnatilishi mumkin bo'lganida eng katta kuchlanish yo'qolishi quyidagi ifodalardan aniqlanadi.

Eng katta yuklama rejimi uchun:

$$\begin{aligned} \text{a) } \Delta U''_{n.ekat} &= \delta U''_{TMekat} - \delta U''_{TPekich} + 0,25 \\ \Delta U''_{n.ekich} &= \delta U''_{TMekat} - \delta U''_{TPekat} + 0,25 \end{aligned} \quad (10.20)$$

bundan kelib chiqib yozamiz:

$$\Delta U''_{n.ekich} \leq \Delta U''_n \leq \Delta U''_{n.ekat}; \quad (10.21)$$

$$\begin{aligned} \text{b) } \Delta U''_{n.ekat} &= \delta U''_{TMekich} - \delta U''_{TPekich} + 0,25 \\ \Delta U''_{n.ekich} &= \delta U''_{TMekich} - \delta U''_{TPekat} + 0,25 \end{aligned} \quad (10.22)$$

$$\text{bundan kelib: } \Delta U''_{n.e.kich} \leq \Delta U''_n \leq \Delta U''_{n.e.kat}. \quad (10.23)$$

Shunday qilib, eng katta yuklamalar sharti ikkala (10.21) va (10.23) shartlar birdaniga bajarilganida podstantsiyadagi transformatorlarda eng kam kuchlanish qo'shimchasi tanlanishi mumkin.

Eng kam yuklamalar rejimi uchun:

$$\begin{aligned} \text{a) } \Delta U'_{n.ekat} &= \delta U'_{TMekat} - \delta U'_{TPekich} + 0,25 \\ \Delta U'_{n.ekich} &= \delta U'_{TMekat} - \delta U'_{TPekat} + 0,25 \end{aligned} \quad (10.24)$$

bundan kelib chiqib

$$\Delta U'_{n.ekich} \leq \Delta U'_n \leq \Delta U'_{n.ekat}; \quad (10.25)$$

$$\begin{aligned} \text{b) } \Delta U'_{n.ekat} &= \delta U'_{TMekich} - \delta U'_{TPekich} + 0,25 \\ \Delta U'_{n.ekich} &= \delta U'_{TMekich} - \delta U'_{TPekat} + 0,25 \end{aligned} \quad (10.26)$$

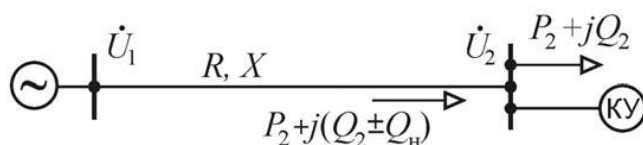
$$\text{bundan kelib chiqib yozamiz: } \Delta U'_{n.ekich} \leq \Delta U'_n \leq \Delta U'_{n.ekat}. \quad (10.27)$$

Bundan kelib chiqib, eng kichik yuklamalar sharti ikkala (10.25) va (10.27) shartlar birdaniga bajarilganida podstantsiyadagi transformatorlarda eng kam kuchlanish qo'shimchasi tanlanishi mumkin. Demak, 0,25 kuchlanish qo'shimchasi (+5 % li shahobcha), (10.21), (10.23), (10.25) va (10.27) shartlar birdaniga bajarilganida, podstantsiyaning barcha iste'molchilardagi kuchlanish ruxsat etilgan og'ishlari talablarini bajaradi. Ko'rsatilgan shartlarda bajarilgan elektr hisoblashlar natijasida olingan kuchlanish yo'qolishlarini $\Delta U''_n$ va $\Delta U'_n$ solishtirib +5 % lik rostlash pog'onasi kerak bo'lgan transformatorlari bo'lgan TP topiladi. +5 % lik kuchlanish pog'onasi o'rnatiladigan elektr tarmoq zonasi aniqlanganidan keyin +2,5 % lik, qo'shimcha kuchlanish bilan $\delta U_T = 2,7 \%$ kuchlanish pog'onasi zonasini qidirish boshlanadi. Buning uchun (10.20), (10.22), (10.24), (10.26) ifodalariga 0,25 qo'shimcha kuchlanish o'rniga 2,7 ni qo'yib, (10.21), (10.23), (10.25) va (10.27) sharoitlarga mos keluvchi podstantsiya topiladi. TP transformatorlarida boshqa kuchlanish pog'onalari (0, -2,5, -5 %) uchun tarmoq zonalar ham xuddi shunga o'xshash aniqlanadi. 10(6)/0,38 kV kuchlanishli taqsimlovchi tarmoqlar rejimlarini hisoblash va 10(6)/0,38 kV li

transformatorlar uchun kuchlanishni rostdash pog'onalari tanlash uchun EHM da bajariladigan dasturlar ishlab chiqilgan.

10.3.3. Kuchlanishni reaktiv quvvat oqimini o'zgartirib rostdash.

Elektr tarmoq elementlari bo'yicha o'tayotgan reaktiv quvvatlar oqimiga ta'sir qilib kuchlanishni rostdash usulining mazmuni shundan iboratki, reaktiv quvvatlar oqimi o'zgarganida reaktiv qarshiliklardagi kuchlanish isroflari (yo'qolishi) ham o'zgaradi.



10.8-rasm. Kompensatsiyalovchi qurilmali tarmoqning sxemasi

10.8 rasmda keltirilgan elektr tarmoq sxemasi uchun tarmoq boshidagi U_1 va oxiridagi U_2 kuchlanishlar orasidagi bog'lanishni quyidagi ko'rinishda ifodalanishi mumkin:

$$U_2 = U_1 - \Delta U = U_1 - \frac{P_2 R + (Q_2 + Q_K) X}{U_2} \quad (10.28)$$

Aktiv quvvatdan farqli ravishda tarmoqning uzellaridagi reaktiv quvvatni ularda ko'ndalang kompensatsiyalovchi qurilmalar o'rnatish bilan, ya'ni yuklamaga parallel ulangan kompensatsiyalovchi qurilmalar (KQ) yordamida o'zgartirish mumkin. Bunday kompensatsiyalovchi qurilmalar sifatida kondensator batareyalari, sinxron kompensatorlar, shuntlovchi va boshqariladigan reaktorlar, statik tiristorli kompensatorlar ishlatilishi mumkin. Bunday qurilmalarga yana elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sistemasiga ulangan mahalliy elektr stantsiyalarning generatorlari, sinxron elektrodvigatellar, yuqori garmonika filtrlari kiritilishi mumkin. Bu kompensatsiyalovchi qurilmalarning ayrimlari elektr tarmoqga faqat reaktiv quvvatni ishlab chiqarib berib turishi, ba'zilar esa reaktiv quvvatni faqat iste'mol qilib turishi (shuntlovchi va boshqariluvchi reaktorlar) mumkin. Bu kompensatsiyalovchi qurilmalarning muximlari tarmoq

rejimiga qarab ham reaktiv quvvatni generatsiya qilishi, ham reaktiv quvvatni kompensatsiya qilishi (singdirishi) mumkin (sinxron kompensatorlar, statik tiristorli kompensatorlar).

Kompensatsiyalovchi qurilmalar rostlanuvchi va rostlanmaydigan bo'lishi mumkin. Rostlanmaydigan kompensatsiyalovchi qurilmalar ulanganida tarmoqda doimo qo'shimcha kuchlanish isroflari (yo'qolishlari) hosil bo'ladi (musbat yoki manfiy). Agar kompensatsiyalovchi qurilmalar rostlanuvchi bo'lsa, ya'ni tarmoq rejimiga ko'ra uning quvvati o'zgartirilishi mumkin bo'lsa, kuchlanish yo'qotilishiga qo'shimcha kuchlanish kattaligi o'zgaruvchan bo'ladi, natijada tarmoqda kuchlanishni rostlash imkoni bo'ladi. 10.5-rasmda ko'rsatilgan tarmoq sxemasida kompensatsiyalovchi qurilma quvvatini Q_k ishlab chiqarishdan ((10.28) ifodada Q_k oldidagi ishora minus) iste'mol qilishigacha ((10.28) ifodada Q_k oldidagi ishora plus) o'zgartirib kuchlanish isroflari o'zgartiriladi, natijada $U_1 = \text{const}$ kuchlanish o'zgarishsiz bo'lganida tarmoq oxirida kuchlanishning o'zgarishiga olib keladi, ya'ni kuchlanishni rostlash ta'minlanadi. (10.28) ifodadan kelib chiqib, ko'ndalang kompensatsiyalovchi qurilmalar yordamida kuchlanishni rostlash samarasi reaktiv qarshiligi aktiv qarshilikdan katta bo'lgan tarmoqlarda yuqori bo'ladi, masalan kabel tarmoqlarda havo elektr uzatish liniyalariga nisbatan. Bunda eng yuqori samara, kompensatsiyalovchi qurilmalar taminlash markazidan eng olis masofada joylashgan yuklamalarda o'rnatilsa, olinadi.

Ko'ndalang kompensatsiyalovchi qurilmalar yordamida tarmoq oxirida kuchlanish tarmoq boshidagidan yuqori rejim hosil qilishga erishish mumkin ($U_2 > U_1$). Bunday rejim, (10.28) ifodaga ko'ra, tarmoqdagi kuchlanish isroflari (yo'qolishi) manfiy bo'lganida paydo bo'ladi:

$$\frac{P_2 R}{U_2} + \frac{Q_2 X}{U_2} - \frac{Q_k X}{U_2} < 0$$

Bunday rejim uchun kompensatsiyalovchi qurilmaning quvvati:

$$Q_k > P \frac{R}{X} + Q. \quad (10.29)$$

Ko'ndalang kompensatsiyalovchi qurilmalar yordamida kuchlanishni rostlashning fizik mohiyatini vektor diagramma yordamida qo'shimcha

tushuntiramiz. Buning uchun U_1 va U_2 kuchlanishlar orasidagi bog'lanishni kuchlanish pasayishi orqali quyidagicha yozamiz:

$$U_1' = U_2 + \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} + j \frac{P_2 X + Q_2 R}{U_2} = U_2 + \frac{P_2}{U_2} R + j \frac{P_2}{U_2} X - j \frac{Q_2}{U_2} R + \frac{Q_2}{U_2} X \quad (10.30)$$

Reaktiv quvvat ishlab chiqarib tarmoqqa beradigan kompensatsiyalovchi qurilmalar o'rnatilganida kuchlanishlar orasidagi bog'lanishni quyidagicha yozamiz:

$$U_1' = U_2 + \frac{P_2}{U_2} R + j \frac{P_2}{U_2} X = j \frac{Q_2 + Q_k}{U_2} R + \frac{Q_2 + Q_k}{U_2} X \quad (10.31)$$

Agar kompensatsiyalovchi qurilmalarning generatsiya quvvati iste'molchining reaktiv quvvatini to'la kompensatsiya qilsa ($Q_k = Q_2$), ifoda yanada soddalashadi va quyidagi ko'rinish oladi:

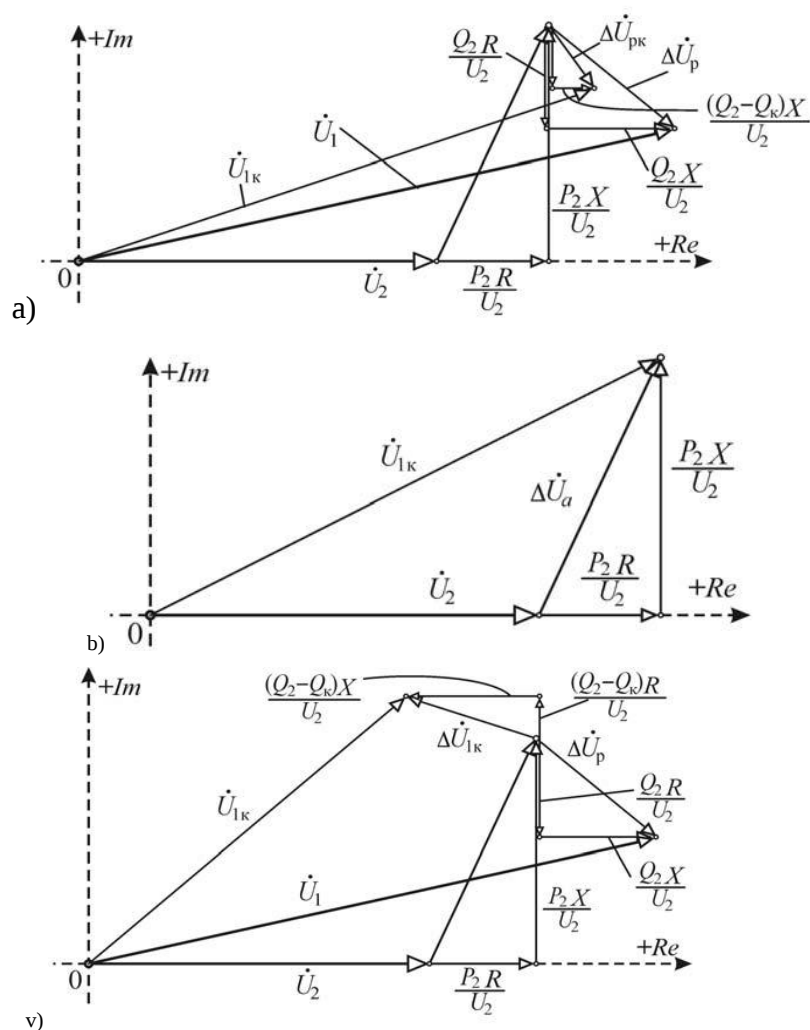
$$U_1' = U_2 + \frac{P_2}{U_2} R + j \frac{P_2}{U_2} X \quad (10.32)$$

10.9, a –rasmda (17.30) va (10.31) ifodalar bo'yicha qurilgan kuchlanishlar vektor diagrammasi, ulanmagan va kompensatsiyalovchi qurilmalar ulanganda $Q_k < Q_2$ bo'lgan holati uchun ko'rsatilgan. Bunda ΔU_a – aktiv quvvatni uzatishdagi kuchlanishning pasayishi, va ΔU_r – kompensatsiyalovchi qurilmasiz reaktiv quvvat kattaligi.

Diagrammadan ko'rinadiki, kompensatsiyalovchi qurilma o'rnatilganida, ΔU_a ning kattaligi o'zgarmaydi, ΔU_p vektor esa $\Delta U_{p,k}$ holatini oladi. Natijada dastlabki vektor U_1' liniya boshida moduli bo'yicha kamayadi, va $U_{1,k}'$ ga teng bo'lib qoladi. Shunday qilib, kompensatsiyalovchi qurilma o'rnatish hisobiga, berilgan kuchlanishni U_2 olish uchun, kuchlanish pasayishi kamroq bo'lganligidan, pastroq kuchlanish U_1 kerak bo'ladi.

10.9, b rasmda iste'molchining reaktiv quvvati to'la kompensatsiya qilingan ($Q_k = Q_2$), holati ko'rsatilgan, natijada tarmoqdagi reaktiv quvvatni uzatishdagi kuchlanishning pasayishi $\Delta U_{p,k}$ kuchlanishlar tenglamasida umuman yo'q bo'lib qolgan (10.32-ifoda). Va nihoyat, 10.9,v-rasmda dastlabki rejimida kompensatsiyalovchi qurilmalari bo'lmagan va kompensatsiyalovchi qurilmaning quvvati $Q_k > Q_2$ va (10.29) shartlarni qoniqtiradigan rejimlar ko'rsatilgan. Bu

yerda aktiv va reaktiv qarshiliklarda kuchlanishning pasayishi ishorasini o'zgartiradi, va U_2 kuchlanish U_{1k} kuchlanishdan katta bo'lib qoladi. Ko'ndalang kompensatsiyalovchi qurilmalar elektr tarmoq rejimiga kompleks ravishda ijobiy ta'sir o'tkazadi. Kuchlanishni roslash imkoniyatidan tashqari, kompensatsiyalovchi qurilmalar tarmoq elementlarini reaktiv quvvatdan va mos ishchi tok kattaliklarini kamaytirish hisobiga aktiv quvvat isroflari va elektr energiyasini kamaytirish imkonini beradi.



10.9-rasm. Kompensatsiyalovchi qurilma tomonidan reaktiv quvvat berilganida kuchlanishlar vektor diagrammasi: a – $Q_k < Q_2$ bo'lganida; b – $Q_k = Q_2$ bo'lganida; v – $Q_k > Q_2$ va $U_2 > U_1$ bo'lganida;

Ko'pchilik hollarda uzatilayotgan aktiv quvvat kattaligi, qizish bo'yicha ruxsat etilgan tok yoki ruxsat etilgan kuchlanish isrofi (yo'qolishi) bo'yicha,

chegaralangan bo'lsa, reaktiv quvvatlar oqimini kamaytirish hisobiga elektr tarmoqning aktiv quvvati bo'yicha o'tkazuvchanligini oshirish mumkin bo'ladi. Shu sababdan kompensatsiyalovchi qurilmalarni quvvatini va o'rnatish joyini tanlash masalalariga kompleks yondoshish kerak bo'ladi. Bu yerda esa kompensatsiyalovchi qurilmalarni quvvatini tanlash masalasini kuchlanishni rostlash sharti bo'yicha ko'rib chiqamiz. Deylik, $U_1 = \text{const}$ bo'lganida, U_2 kuchlanish qaysidir sabablarga ko'ra iste'molchilarni qoniqtirmaydi (10.9-rasm), va uni tarmoq oxorida o'rnatiladigan kompensatsiyalovchi qurilmalarning mos quvvatini tanlash yordamida U_{2kut} kuchlanishgacha ko'tarilishi kerak bo'ladi. Hisoblard shuni hisobga olish kerakki, kuchlanish U_2 dan U_{2kut} gacha o'zgarganida iste'molchilarning yuklamasi ham ularning statik xarakteristikalariga $R_2 = f(U_2)$ va $Q_2 = f(U_2)$ mos ravishda R_2 va Q_2 dan R_{2j} va Q_{2j} gacha o'zgaradi. Bu faktor kuchlanishni yuklama ostida rostlash (RPN) qurilmalari bo'lgan transformatorning ikkilamchi chulg'ami tomonida yuklama ulangan, va uning PK shinalarda kuchlanish o'zgarishsiz saqlangan bo'lsa hisobga olinmasligi mumkin. Q_k quvvatli kompensatsiyalovchi qurilma o'rnatilganicha va o'rnatilganidan keyin tarmoq boshi va oxiridagi kuchlanishlarning bog'liqligi mos ravishda quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$U_1 = U_{2kut} + \frac{R_{2kut}R + (Q_{2kut} - Q_k)X}{U_2}$$

Tenglamalarning o'ng tomonlarini tenglab kompensatsiyalovchi qurilmaning quvvatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$Q_k = \frac{(U_{2kut} - U_2)U_{2kut}}{X} + \left\{ P_{2kut} - P_2 \frac{U_{2kut}}{U_2} \right\} \cdot \frac{R}{X} + \left\{ Q_{2kut} - Q_2 \frac{U_{2kut}}{U_2} \right\} \quad (10.33)$$

Bu yerdagi R_2 , Q_2 , P_{2kut} , Q_{2kut} quvvatlar mos statik xarakteristikalar bo'yicha aniqlanadi. Agar kompensatsiyalovchi qurilma sifatida kondensatorlar batareyasi ishlatilgan bo'lsa, uning quvvati tarmoq kuchlanishiga bog'liq bo'ladi:

$$Q_k = Q_{kb.nom} \left(\frac{U_{2kut}}{U_{kb.nom}} \right)^2$$

bu yerda: $Q_{bk.nom}$ – nominal kuchlanishda ($U_{kb.nom}$) kondensatorlar batareyasining quvvati. Bu bog'lanishni hisobga olib, kuchlanish kattaligi dan gacha o'zgarganida kondensatorlar batareyasining nominal quvvati quyidagicha bo'ladi:

$$Q_{kb} = \left[\frac{(U_{2kut} - U_2)U_{2kut}}{X} + \left\{ P_{2kut} - P_2 \frac{U_{2kut}}{U_2} \right\} \frac{R}{X} + \left\{ Q_{2kut} - Q_2 \frac{U_{2kut}}{U_2} \right\} \right] \cdot \left(\frac{U_{kb.nom}}{U_{2.kut}} \right)^2 \quad (10.34)$$

Agar yuklamaning statik xarakteristikasi hisobga olinmasa: $R_{2kut} = R_2$ va $Q_{2kut} = Q_2$. U holda (17.33) ifodadagi kompensatsiyalovchi qurilmaning quvvati quyidagi ko'rinishga keladi:

$$Q_k = \frac{(U_{2kut} - U_2)U_{2kut}}{X} + \left\{ 1 - \frac{U_{2kut}}{U_2} \right\} \cdot \left(P_2 \frac{R}{X} + Q_2 \right) \quad (10.35)$$

Kondensatorlar batareyasi ko'rinishdagi kompensatsiyalovchi qurilma uchun (10.33) ifodadan mos ravishda quyidagini olamiz:

$$Q_{kb} = \left[\frac{(U_{2kut} - U_2)U_{2kut}}{X} + \left\{ 1 - \frac{U_{2kut}}{U_2} \right\} \cdot \left(P_2 \frac{R}{X} + Q_2 \right) \right] \cdot \left(\frac{U_{kb.nom}}{U_{2.kut}} \right)^2 \quad (10.36)$$

10.3.4. Kuchlanishni qarama-qarshi rostlash.

Elektr tarmoqning kuchlanishi doimo yuklama, ta'minlash manbasining ish holatlari va rejimlari, zanjirning qarshiligini 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 tanlash; v) tarmoq sxemasining noto'g'ri tuzilishi.

Kuchlanish og'ishini nazorat qilish uch yo'l bilan amalga oshiriladi:

1) kuchlanish darajasi bo'yicha kuchlanish og'ishlarini ularning ruxsat etilgan qiymatlari bilan solishtirish asosida; 2) elektr sistemasidagi joyi bo'yicha –

elektr tarmoqning ma'lum nuqtalarida, masalan, elektr uzatish tarmog'ining boshlanishi yoki oxirida, tuman podstantsiyasida; 3) kuchlanish og'ishi mavjud bo'lishining davomiyligi bo'yicha.

Kuchlanishni rostdash deb elektr sistemasining xarakterli nuqtalarida kuchlanish darajasini maxsus texnik vositalar yordamida o'zgartirish jarayoniga aytiladi. Avvaldan kuchlanish va reaktiv quvvatni rostdash usullari va yo'llari energetika sistemalarini boshqarishning quyi ierarxik darajalaridan yuqorisi tomon kelib chiqqan. Jumladan, boshlanishda kuchlanishni rostdash taqsimlovchi tarmoqlarning ta'minlash markazlarida – ish holati o'zgarganda is'temolchilardagi kuchlanish transformatsiyalash koeffitsientini o'zgartirish orqali tutib turiladigan tuman podstantsiyalarida amalga oshirilgan.

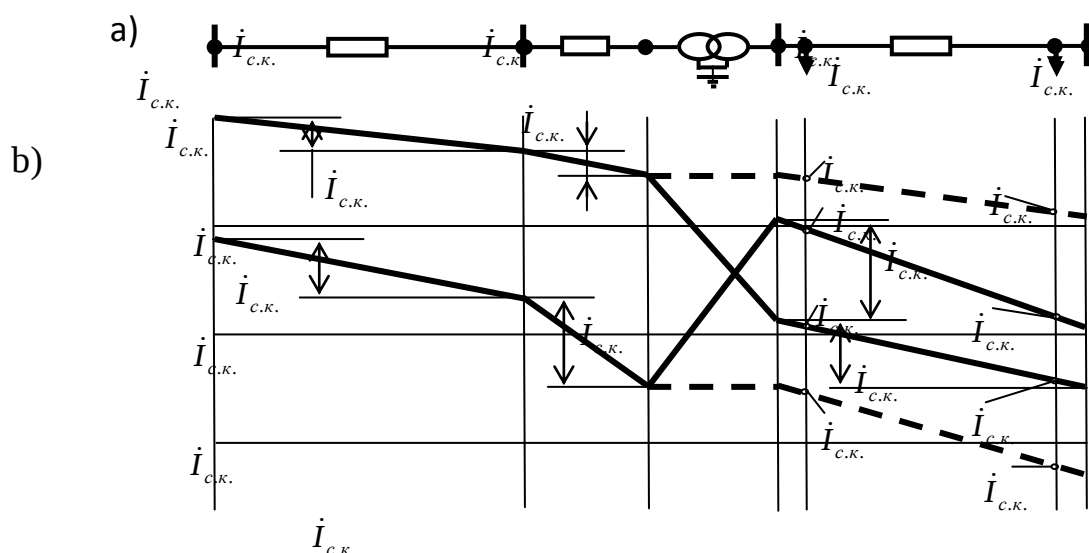
Kuchlanishni lokal rostdashni ta'minlash markazida amalga oshiriladigan markazlangan va bevosita is'temolchilarda amalga oshiridigan mahalliy usullarga bo'lish mumkin. Kuchlanishni mahalliy rostdashni guruhli va individualga usullarga bo'lish mumkin. Guruhli rostdash is'temolchilar guruhi uchun, individual rostdash asosan maxsus maqsadlarda amalga oshiriladi.

Yuqorida ko'rsatilgan kuchlanishni rostdash tiplarini yuklamani o'zgarishi xarakteriga bog'liq ravishda bir nechta nimtiplarga ajratish mumkin. Masalan, kuchlanishni markazlashgan rostdashda uchta nimtipni ajratish mumkin. Bular, kuchlanishni stabillash; kuchlanishni ikkinchi darajali 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.

Yorqin ifodalangan ikki darajali yuklama grafigiga ega bo'lgan is'temolchilar, masalan, bir smenli korxonalar, uchun ikki darajali rostdash qo'llaniladi. Bunda sutka davomida yuklama grafigiga mos ravishda kuchlanishning ikki darajasi tutib turiladi. Yuklama sutka davomida o'zgaruvchan bo'lgan hollarda qarama-qarshi rostdash amalga oshiriladi. Yuklamaning har bir qiymati mos kuchlanish va kuchlanish isrofi qiymatlariga ega bo'ladi. Shu sababli

yuklama o'zgarishi bilan kuchlanish ham o'zgaradi. Bunda kuchlanishning og'ishi ruxsat etilganidan ortib ketmasligi uchun uni yuklamaga bog'liq ravishda rostlash lozim. Yuklama nafaqat sutka davomida, balki yil davomida ham o'zgaradi. Masalan, yil davomida eng katta yuklama kuzgi-qishki mavsum davrida, eng kichik yuklama esa bahor va yozgi davrda bo'ladi. Qarama-qarshi rostlash kuchlanishni nafaqat yuklamaning sutka davomida o'zgarishi bo'yicha, balki mavsum davomida ham o'zgarishi bo'yicha rostlashdan iboratdir. U elektr stantsiyalari va podstantsiyalari shinalaridagi kuchlanish darajasini eng katta yuklama davrida oshirilgan holatda, eng kichik yuklama davrida esa kamaytirilgan holatda tutib turishni nazarda tutadi.



10.10-rasm. Kuchlanishni qarama-qarshi rostlash:

a- almashinish sxemasi; b- kuchlanishlar epyurasi.

10.10,b-rasmda ikkita holat – eng kichik va eng katta yuklama holatlari uchun kuchlanishning o'zgarish grafiklari tasvirlangan. Bunda ordinata o'qi bo'yicha kuchlanish og'ishining nominal kuchlanishga nisbatan foizlardagi qiymatlari joylashtirilgan.

Kuchlanishni qarama-qarshi rostlash bilan to'laroq tanishish uchun tranformatorning ikkita element - transformator qarshiligi va ideal transformator ko'rinishida tasvirlangan almashinish sxemasidan foydalanamiz (10.10-rasm). 10.10-rasmda quyidagi belgilanishlar qabul qilingan: U_1 - ta'minlash markazi

shinasidagi kuchlanish; U_{2yu} - tuman podstantsiyasining birlamchi shinasidagi (YUK)dagi kuchlanish;

U_{2q} -tuman podstantsiyasi ikkilamchi (past) kuchlanishshinasi (PK)dagi kuchlanish; U_3 - iste'molchilardagi kuchlanish.

Tuman podstantsiyalarining yuqori kuchlanish shinasidagi kuchlanish:

$$U_{2yu} = U_1 - d U_{12}$$

Yuqori kuchlanish va quyi kuchlanish shinalaridagi kuchlanishlar transformatoridagi kuchlanish isrofi dU_t ga farq qiladi va bundan tashqari ideal transformatorida kuchlanish transformatsiyalash koeffitsientiga mos ravishda pasaytiriladi. Bu pasaytirilish darajasi transformatorning rostlovchi shaxobchasini tanlashda hisobga olinishi lozim. 10.10,b-rasmdan ko'rinadiki (shtrix chiziqlar), $n_t=1$ bo'lganda eng kichik yuklamalar holatida is'temolchilardagi kuchlanishlar ruxsat etilganidan yuqori, eng yuqori yuklamalar holatida esa ruxsat etilganidan past (ya'ni kuchlanish og'ishlari ruxsat etilganidan katta).

Bunda past kuchlanish tarmog'iga ulangan qabul qilgichlar (masalan, A va V nuqtalarda) ruxsat etilmagan sharoitlarda ishlaydi. Quyi kuchlanish miqdorini - U_{2q} ni tuman podstantsiyasi transformatorining transformatsiyalash koeffitsienti k_t ni almashinish orqali o'zgartiramiz, ya'ni kuchlanishni rostlaymiz (10.10,b-rasmdagi uzluksiz chiziq).

Eng kichik yuklama sharoitlarida U_{2q} imkoni boricha U_n ga yaqin qiymatgacha kamaytiriladi. Bu holatda n_t ning shunday standart qiymati tanlanishi lozimki, bunda quyidagi shart bajarilsin:

$$U_{2q.ekich} \geq U_n \quad (10.37)$$

Eng kichik yuklamalar holatida U_{2q} ni 1,05-1,1 U_n ga imkoni boricha yaqinroq qiymatgacha orttiriladi. Bu holatda n_t ning shunday standart qiymati tanlanishi lozimki, bunda quyidagi shart bajarilsin:

$$U_{2q.ekat} \geq (1,05 \div 1,1) U_n. \quad (10.38)$$

Shunday qilib, ta'minlash markazidan uzoqdagi V va unga yaqindagi A nuqtalardagi is'temolchilardagi kuchlanishlar ruxsat etilgan chegaraga kiritiladi.

Eng katta va eng kichik yuklama holatidagi bunday rostdlashda kuchlanish mos ravishda oshiriladi va pasaytiriladi. Shu sababli bunday rostdlashni qarama-qarshi rostdlash deb ataladi.

Pasaytiruvchi podstantsiyalarda kuchlanishni rostdlash. Pasaytiruvchi podstantsiyalar transformatorlari tuzilishi bo'yicha ikki turga bo'linadi: a) rostdlovchi shoxobchalarni qo'zg'atishsiz almashlab ulovchi, ya'ni tarmoqdan uzish orqali (qisqacha, "QAULi transformatorlar"); b) rostdlovchi shoxobchalarni yuklama ostida rostdlovchi (qisqacha, "YUORli transformatorlar". Odatda, rostdlovchi shoxobchalar transformatorning kichik ishchi tok oquvchi yuqori chulg'ami tomonida yasaladi. Bunda almashlab ulash qurilmasining ishi engillashadi.

10.10,a-rasmda tasvirlangan sodda sxemani ko'rib o'tamiz. Bunda podstantsiya yuqori kuchlanish shinasidagi kuchlanish elektr stantsiyasi generatorlari kuchlanishi U_1 dan elektr uzatish tarmoqlaridagi kuchlanish isrofi qiymati ΔU_s ga, podstantsiya quyi kuchlanish shinasidagi yuqori kuchlanishga keltirilgan kuchlanish U_{2k}^{ro} esa yana transformator qarshiligidagi kuchlanish isrofi ΔU_t ga farq qiladi:

$$U_{2yu} = U_1 - \Delta U_s, \quad U_{2k}^{ro} = U_{2yu} - \Delta U_t.$$

Podstantsiyalar quyi kuchlanish shinalaridagi kuchlanishning haqiqiy qiymati quyidagicha topiladi:

$$U_{2k} = \frac{U_{2k}^{ro}}{n_T} = U_{2k}^{ro} \frac{U_{k,n}}{U_{shox}}, \quad (10.39)$$

bu yerda: $n_T = U_{shox}/U_{q,n}$ – transformatorning transformatsiyalash koeffitsienti; U_{shox} - yuqori kuchlanish chulg'am rostdlash shoxobchasining kuchlanishi; $U_{k,n}$ - quyi kuchlanish chulg'amining nominal kuchlanishi.

Transformatsiyalash koeffitsientini o'zgartirib, podstantsiyaning quyi kuchlanish tomonidagi kuchlanish U_{2q} ni o'zgartirishi mumkin. Podstantsiyalarda barcha kuchlanishni rostdlash vositalari aynan shu printsipta ishlaydi.

Qarama-qarshi rostdlash shartlari (2.1) va (2.2) bo'yicha

$$U_{\text{экат}}^{\text{хox}} \% = 5\%; \quad U_{\text{экич}}^{\text{хox}} \% = 0$$

bu yerda: $U_{\text{e.kat}}^{\text{хox}}$ -eng katta yuklama i-holatida kuchlanish og'ishining nominal kuchlanishga nisbatan foizi;

$U_{\text{e.kich}}^{\text{хox}} \%$ - shu singari eng kichik yuklama holati uchun.

Bularga mos ravishda:

$$U_{2\kappa.\text{экат}}^{\text{хox}} = U_{\text{н}} + U_{\text{экат}}^{\text{хox}}; \quad U_{2\kappa.\text{экич}}^{\text{хox}} = U_{\text{н}} + U_{\text{экич}}^{\text{хox}}.$$

Quyida kuchlanish tomonidagi kuchlanishning haqiqiy qiymati (10.30) ifodadan topiladi. Tarmoqning elektr hisoblari natijasida eng katta yuklama holatida quyi kuchlanish tomonidagi kuchlanishning yuqori kuchlanish tomoniga keltirilgan qiymati $U_{2\kappa.\text{экат}}^{\text{хox}}$ va eng kichik yuklama holatida quyi kuchlanish tomonidagi kuchlanishning yuqori kuchlanish tomoniga keltirilgan qiymati $U_{2\kappa.\text{экич}}^{\text{хox}}$ topiladi. $U_{2\kappa.\text{экат}}^{\text{хox}}$ va $U_{2\kappa.\text{экич}}^{\text{хox}}$ lar bo'yicha eng katta va eng kichik yuklama holatlari uchun transformator yuqori chulg'amida xohlanuvchi (kerakli) rostlash shoxobchasi aniqlanadi:

$$U_{\text{шох.экат}} = U_{2\kappa.\text{экат}}^{\text{ю}} \cdot \frac{U_{\text{к.н}}}{U_{2\kappa.\text{экат}}^{\text{хox}}}; \quad U_{\text{шох.экич}} = U_{2\kappa.\text{экич}}^{\text{ю}} \cdot \frac{U_{\text{к.н}}}{U_{2\kappa.\text{экич}}^{\text{хox}}} \quad (10.40)$$

(10.8) bo'yicha aniqlanilgan xohlanuvchi shoxobchalar kattaliklari (10.37) va (10.38) shartlari bajariladigan eng yaqin standart qiymatlargacha yaxlitlanadi. Asosiy shoxobchada transformatorning transformatsiyalash koeffitsientini nominal deb yuritiladi. To'rtta yordamchi shoxobchalardan foydalanilganda transformatsiyalash koeffitsienti nominaldan +5; +2,5; -2,5; va -5%ga farq qiladi. Transformatorning ikkilamchi (sxemada - quyi) chulg'ami unga ulangan tarmoqning 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 bermoqda va salt ishlash holatida quyi kuchlanish tomonidagi kuchlanish $1,05U_{\text{q.t.}}$. Bunda qo'shimcha kuchlanish 5% bo'ladi. Qo'lda yoki avtomat ravishda

boshqariluvchi transformator shoxobchasini o'zgartirib yaxlitlangan qiymatlari quyidagicha bo'lgan qo'shimcha kuchlanishni olish mumkin:

10.2-jadval

Boshqariluvchi transformator shoxobchasini kuchlanishini o'zgartirib yaxlitlangan qiymatlari

Ko'rsatkichlar	Ortishi		Neytrali	Kamayishi	
Birlamchi chulg'am shoxobchasi, %	+5	2,5	0	-2,5	-5
Salt ishlash holatida YUK tomonidagi kuchlanish ($U_t/U_{n.t}$):	1	1,025	1,05	1,075	1,1
Qo'shimcha kuchlanish, %:	0	+2,5	+5	+7,5	+10

Qo'lda yoki avtomat ravishda kuchlanishi boshqariluvchi transformatorning rostlash shoxobchalarini almashlab ulash uchun avvalo uni tarmoqdan ajratish talab etiladi. Bunday almashlab ulashlar kam – yuklamalarni mavsumiy o'zgarishida amalga oshiriladi. Shu sababli sutka davomidagi eng katta va eng kichik yuklama holatlarida (masalan, kunduzi va tunda) qo'lda yoki avtomat ravishda kuchlanishi boshqariluvchi transformator bitta rostlovchi shoxobcha va shunga mos yagona transformatsiyalash koeffitsienti bilan ishlaydi. Bunda kuchlanishni qarama-qarshi rostlash talablarini amalga oshirish, ya'ni (10.37) va (10.37) shartlarni bajarish mumkin emas. Haqiqatdan ham (13.1) ga muvofiq

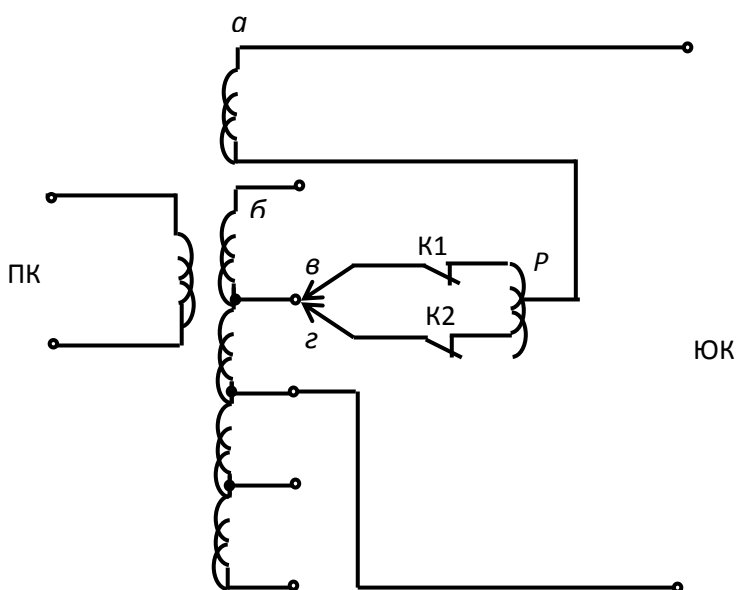
$$U_{2K.экат} = U_{2K.экат}^{ю} \cdot \frac{U_{K.H}}{U_{uox}}; \quad (10.41.)$$

Odatda $U_{2K.экат} < U_{2K.экич}$ shu sababli $U_{2q.ekat} < U_{2q.ekich}$.

Bu qarama–qarshi rostlash talablari (10.37) va (10.37) ga zid keladi. Kuchlanishni qarama-qarshi rostlashni faqat U_{shox} va transformatsiyalash koefitsientini sutka davomida o'zgartirish, ya'ni eng katta yuklama holatidan eng kichik yuklama holatiga o'tish orqali amalga oshiriladi.

O'rnatilgan yuqori kuchlanish ostida rostlovchi qurilmali kuchlanishni yuklama ostida rostlovchi transformatorlar qo'lda yoki avtomat ravishda kuchlanishi boshqariluvchili transformatorlardan almashlab ulovchi maxsus qurilma va shuningdek shoxobchalar sonining ko'pligi, diapazonining kattaligi bilan farq qiladi. Masalan, yuqori kuchlanish chulg'amini asosiy shoxobchasi kuchlanishi 115 kV bo'lgan transformator har biri 1,78% dan 18 ta rostlash darajali +16% rostlash diapazoniga ega.

Yuklama ostida rostlanuvchili transformator chulg'amlarining rostlash sxemasi avtomat ravishda ishlab turadi. Bu transformatorning yuqori kuchlanish chulg'ami ikki qismdan – rostlanmaydigan a va rostlanadigan b qismlardan tashkil topgan. Rostlanadigan qismining 1, 4 qo'zg'almas kontaklarida 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 koefitsienti oshadi. 3, 4 shoxobchalar asosiy chulg'am o'ramlariga nisbatan qarama - qarshi ulangan o'ramlar qismiga mos keladi. Ularning ulanishi transformatsiyalash koefitsientini kamaytiradi, chunki ular asosiy chulg'am o'ramlari bir qismining ta'sirini kompensatsiyalaydi. Transformatorning yuqori kuchlanish chulg'aming 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 v va g , qo'zg'almas $K1$ va $K2$ kontaktlardan hamda R reaktorlardan tashkil topgan almashlab ulovchi qurilma mavjud. Reaktorning o'rtasi transformator chulg'aming rostlanmaydigan a qismi bilan tutashgan. Me'yorli sharoitda yuqori kuchlanish chulg'ami toki reaktor chulg'ami yarimlariga teng bo'linadi. Shu sababli reaktorda magnit oqimi va shuningdek kuchlanish isrofi kamdir.



10.11.-rasm. Yuklama ostida rostlanuvchili transformator chulg'amlarining rostlash sxemasi.

Faraz qilaylik, qurilmani shoxobcha 2 dan shoxobcha 1 ga almashlab ulash talab etiladi. Bunda kontaktor K1 uziladi (10.11.-rasm). Qo'zg'aluvchan kontakt v shoxobcha kontakti 1 ga o'tkaziladi va K1 kontakt qayta ulanadi. SHunday qilib, chulg'amning 1, 2 sektsiyalari R reaktoring chulg'ami orqali yopiq ulanib qoladi. Bu vaqtda reaktoring induktivligi chulg'amning 1, 2 sektsiyasidagi kuchlanish ta'sirida hosil bo'luvchi tenglashtiruvchi tokni cheklaydi. SHundan so'ng kontaktor K2 uziladi, qo'zg'aluvchan kontakt 2 shoxobcha kontakti 1 ga o'tkaziladi va K2 kontakt qayta ulanadi.

Yuklama ostida rostlovchi vosita yordamida transformatorning shoxobchasini va transformatsiyalash koefitsientini sutka davomida yuklama ostida o'zgartirish orqali qarama-qarshi rostlash talabi (10.37) va (10.38) ni bajarish mumkin.

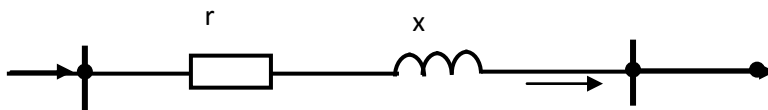
Liniya rostlagich transformatorlari (LRT) va ketma-ket rostlovchi transformatorlar kuchlanishni alohida uzatish liniyalarida yoki elektr uzatish liniyalari guruhlarida rostlash uchun qo'llaniladi. SHunday qilib, ular yuklama ostida rostlaydigan transformatorlardan foydalanilgan mavjud tarmoqlarni qayta

qurishda qo'llaniladi. Bunday hollarda podstantsiya shinasida kuchlanishni rostlash uchun liniyaviy rostlovchi transformatorlar rostlanmaydigan transformator bilan ketma-ket ulanadi. Chiqib ketuvchi elektr uzatish liniyalarida kuchlanishni rostlash uchun liniyaviy rostlovchi transformatorlari bevosita uzatish liniyalariga ketma-ket ulanadi. Liniyaviy rostlovchi transformatorlar yordamida kuchlanishni bo'ylama, ko'ndalang va bo'ylama-ko'ndalang rostlash mumkin.

Kuchlanishni tarmoq qarshiligini o'zgartirib rostlash. Iste'molchidagi kuchlanish tarmoqdagi kuchlanish isrofi qiymatiga bog'liqdir. Kuchlanish isrofi esa o'z navbatida tarmoq qarshiligi bog'liq. Masalan, 10.12-rasmda tasvirlangan tarmoqdagi kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisi quyidagichadir:

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12}^{(2)} + Q_{12}^{(2)} X_{12}}{U_2}. \quad (10.42)$$

Bu yerda $R_{12}^{(2)}, Q_{12}^{(2)}, U_2$ - liniya oxirida quvvat oqimlari va kuchlanish; r_{12}, x_{12} - liniyaning aktiv va reaktiv qarshiliklari.



10.12.-rasm. Kuchlanishni tarmoqning parametrlarini o'zgartirib rostlash.

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. (10.1) da suratning asosiy tashkil etuvchisi $R_{12}^{(2)}$ r_{12} bo'lib qoladi. Taqsimlovchi tarmoqlarda elektr uzatish liniyalari o'tkazgichining ko'ndalang kesimi o'zgarganda r_0 va unga mos ravishda r_{12} , ΔU_{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 tarmoqlarda aksincha $x_0 > r_0$ va shu sababli ΔU_{12} asosan elektr uzatish liniyalari o'tkazgichining ko'ndalang kesimiga kam darajada bog'liq bo'lgan reaktiv qarshilik bilan belgilanadi. Ta'minlovchi elektr tarmoqlarda elektr

uzatish liniyalari o'tkazgichini ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha tanlash iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emas. Reaktiv qarshilikni o'zgartirish uchun elektr uzatish liniyalariga kondensatorlar ulash lozim. Elektr uzatish liniyalari da kondensatorlar ulashdan oldingi kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisi (10.1) bo'yicha aniqlanadi. Faraz qilaylik, elektr uzatish liniyalarining oxirida kuchlanish ruxsat etilganidan past:

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

Elektr uzatish liniyasiga kondensatorlarni shunday ulaymizki, buning natijasida U_2 ruxsat etilgan kuchlanish kattaligi U_{2rux} gacha oshsin.

Bunda yuqoridagi ifodani quydagicha yozish mumkin:

$$U_{2rux} = U_1 - R_{12}^{(2)} r_{12} + Q_{12}^{(2)} (x_{12} - x_k) / U U_{2rux} \quad (10.43)$$

bu yerda: x_k -kondensatorning qarshiligi

Kondensatorlarni elektr uzatish liniyalarida ketma-ket ulash bo'ylama kompensatsiyalash deb yuritiladi. Bo'ylama kompensatsiyalovchi qurilma (BKQ) elektr uzatish liniyalarida induktiv qarshilik va kuchlanish isrofini kompensatsiyalash imkonini beradi (10.13,a-rasm).

Bunday rostdashning vektor diagrammasi 10.13,b-rasmda tasvirlangan. Undan ko'rinadiki:

$$U_2 = U_1 - \sqrt{3} I_{12} (r_{12} + jx_{12}), U_{2rux} = U_1 - \sqrt{3} I_{12} (r_{12} + jx_{12}) - \sqrt{3} I_n (-jx_k)$$

bu yerda: I_{12} -tarmoq toki.

$j \sqrt{3} I_{12} x_k$ qiymatini manfiy kuchlanish yoki tarmoqqa kiritiluvchi qo'shimcha e.yu.k sifatida qarash mumkin.

$U_1, U_{2rux}, r_{12}, x_{12}, R_{12}^{(2)}, Q_{12}^{(2)}$ ni bilgan holda (10.25) dan x_k ni topish hamda lozim bo'lgan ketma-ket va parallel ulanuvchi kondensatorlarning sonini tanlash mumkin. Bunda kondensatorlarda kuchlanishlar U_k va ulardagi toklar I_k tengdir:

$$U_k = \sqrt{3} I_{12} X_k, \quad I_k = I_{12} = S_{12} / \sqrt{3} U_k. \quad (10.44.)$$

Agar bitta kondensatorning nominal kuchlanishi $U_{k,nom} < U_k / \sqrt{3}$, bo'lsa, sxemada bir nechta kondensator o'rnatiladi. Ketma-ket ulanuvchi kondensatorlar soni quydagi ifoda bo'yicha topiladi:

$$n = U_k / \sqrt{3} U_{k,nom}$$

Kondensatorning pasportida uning quvvati Q_k ko'rsatiladi. Bu qiymatni bilgan holda nominal tokni aniqlash mumkin:

$$I_{k,nom} = Q_k / U_{k,nom};$$

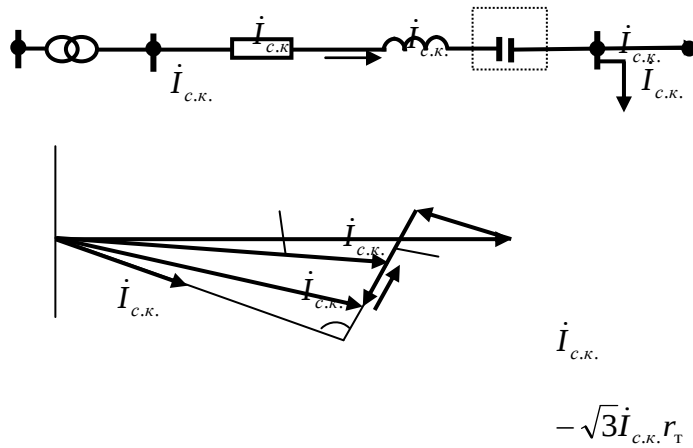
Agar $I_{k,nom} < I_k$ bo'lsa, m ta kondensator parallel o'rnatiladi, bunda

$$m = I_n / I_{k,nom}.$$

Kondensator batareyali kompensatsiyalovchi qurilmalar sig'im qarshiligini elektr uzatish tarmog'i induktiv qarshiligiga nisbatining foizlardagi qiymati kompensatsiyalash foizi deb ataladi:

$$C = \frac{X_k}{X_{12}} \cdot 100. \quad (10.45.)$$

Amalda elektr uzatish tarmog'ining reaktiv qarshiligini qisman kompensatsiyalash qo'llaniladi ($S < 100\%$). Yuklamani bevosita ta'minlaydigan taqsimlovchi tarmoqlarda to'la yoki ortiqcha kompensatsiyalash ($S \geq 100$) odatda qo'llanilmaydi. Bu tarmoqlarda o'ta kuchlanishni yuzaga kelishi mumkinligi bilan bog'liq.



10.13-rasm. Bo'ylama kompensatsiya: a - Kondensator batareyali kompensatsiyalovchi qurilmalar ni ulash sxemasi; b - vektor diagrammasi.

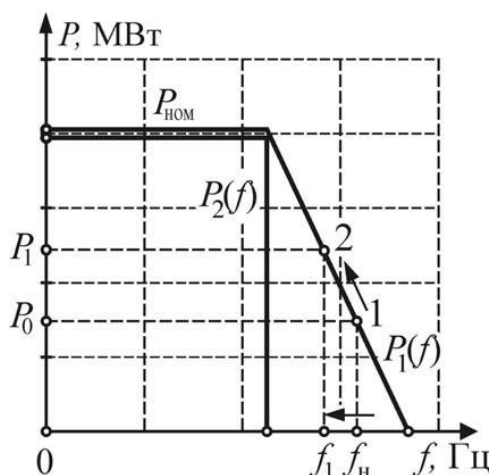
Kondensator batareyali kompensatsiyalovchi qurilmalarni qo'llash tarmoqda kuchlanish holatini yaxshilash imkonini beradi. Biroq, kuchlanishning ortishi kondensator batareyali kompensatsiyalovchi qurilmalar orqali o'tuvchi tok qiymati va fazasiga bog'liqdir. Shu sababli kondensator batareyali kompensatsiyalovchi qurilmalar yordamida rostlash imkoniyatlari cheklangan. Kondensator batareyali kompensatsiyalovchi qurilmalarni o'ta yuklangan radial elektr uzatish tarmoqlarida kuchlanish og'ishini kamaytirish uchun qo'llash eng samaralidir.

Ta'minlovchi tarmoqlarda kondensator batareyali kompensatsiyalovchi qurilmalarlar foydalanishda murakkab va qimmatdir, qisqa tutashuv davrida ularni o'takuchlanishdan himoyalash uchun maxsus tadbirlarni qo'llash lozimdir. Kondensator batareyali kompensatsiyalovchi qurilmalar nafaqat kuchlanishni rostlash uchun, balki elektr uzatish tarmog'ining o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish uchun ham qo'llaniladi. Kondensatorlar reaktiv quvvatni generatsiya qilib, elektr energiyasi sifatini oshirish imkonini ham beradi.

10.4. Energosistemada chastotani rostlash.

10.4.1.Chastotaning birlamchi rostlanishi. Energosistemaning normal rejimida iste'molchilarning yuklama quvvatining tarkibi va kattaligini o'zgarishida yuzaga kelayotgan chastotaning og'ishlari rotlab turiladi. Quvvatning bunday o'zgarishlari sutka ichida 20–50 %ni tashkil qiladi. Bu yerda chastotaning maksimal o'zgarish tezligi muhim rol o'ynaydi. Zamonaviy energosistemalarda

uning kattaligi minutiga 1,5 % ni yoki soatiga 5–15 % ni tashkil qiladi. Elektrostantsiyalar turbinasining aylanish chastotasini (tezligini) rostdlash uchun ular tezlik regulyatorlari bilan jihozlanadi. Elektrostantsiyalar turbinasining rostdlanish imkoniyatlari tezlik regulyatorlarining xarakteristikalariga bog'liq bo'ladi. Xarakteristikalar astatik $P_2(f)$ va statik $P_1(f)$ bo'lishi mumkin (16.7-rasm). Rostlash printsipli bu yerda shundan iboratki, chastota o'zgarishlarida turbina quvvati mos ravishda o'zgartirilib yana avvalgi to chastotasi tiklanadi. Masalan chastota f_n dan f_1 gacha pasayganida, yuklama avtomat ravishda R_0 dan R_1 gacha tanlanib o'zgartiriladi va balans tiklanadi. Chastota pasayishda davom etsa generator quvvati ortib chastota nominalga yetishiga erishiladi (10.14-rasm).

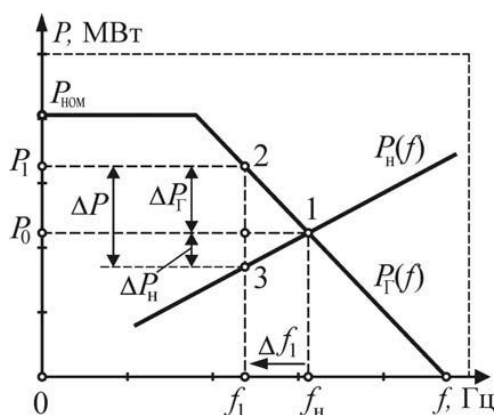


10.14-rasm. Generatorning (turbina) statik xarakteristikasi

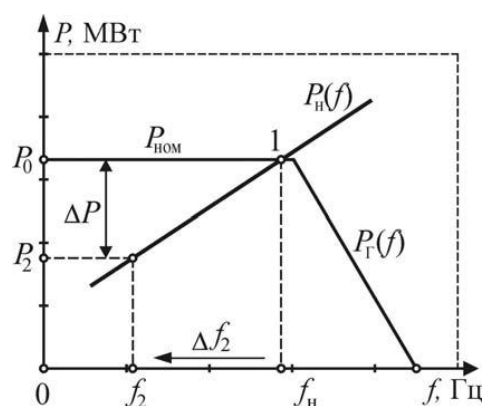
Xarakteristikaning qiyaligi uning egriligini ko'rsatadi. Xarakteristikaning egriligi deganda quvvatning foizlardagi o'zgarishining chastotaning foizlardagi o'zgarishiga nisbati tushuniladi. Xarakteristikaning egriligi ortgan sari statik xarakteristika $P_1(f)$ astatik– $P_2(f)$ xarakteristikaga aylanadi. Astatik xarakteristikali turbina chastotasining kamgina og'ishlarida u nominal yuklama oladi, ya'ni tezkor rostdlanadi. Lekin astatik xarakteristikali generatorlar parallel ishlay olmaydilar, chunki bu yerda quvvat stantsiyalar orasida bir xilda taqsimlanishi qiyin bo'ladi. SHu sababli energosistemalarda odatda statik xarakteristikali turbinalar qo'llaniladi.

Iste'molchilarning aktiv yuklamasining chastotaviy statik xarakteristikasi bilan turbina tezligi regulyatorining xarakteristikasini birgalikda olib, chastotaning rostlash jarayonini ko'rib chiqamiz (10.15-rasm). Nominal chastotada 0 nuqtada yuklama quvvati generatorlar quvvatiga teng bo'ladi $P_n = P_G$. Agar biror stantsiyada generatsiya quvvati kamayishi oqibatida chastota Δf_1 ga kamayib f_1 ga teng bo'lib qolsa, statik xarakteristika bo'yicha yuklama quvvati R_n quvvat isrofi ΔR_n ga kamayadi, generatorlar quvvati ΔR_G ga ortadi, va umumiy quvvat etishmovchiligi $\Delta P = \Delta R_n + \Delta R_G$ kesma bilan aniqlanadi.

Agar chastota kamayish momentida generatorlarda zahira quvvat bo'lmasa, generatsiya quvvatining kamayishi chastotaning sezilarli kamayishiga olib keladi. Stantsiya quvvati to'la foydalanilgan bo'lsa, chastotaning birlamchi rostlanishi iste'molchilar quvvatini o'zgartirib amalga oshiriladi. Birlamchi rostlanish jarayonida chastotaning o'zgarishi turbina va yuklamaning chastotaviy xarakteristikalarining qiyaligi bilan aniqlanadi.



10.15-rasm. Aktiv quvvatning yetarli zahirasi bo'lganida chastotani rostlash



10.16. -rasm Chastotaning quvvatning yetarli zahirasi bo'lmaganidagi o'zgarishi.

Generatorlar va iste'molchilar quvvatining chastota og'ishlaridagi chastotaning dastlabki qiymatini saqlashga intiluvchi o'zgarish jarayoni chastotaning birlamchi rostlash deyiladi. Chastotani rostlash uchun sistemaning barcha generatsiyalovchi qismi uchun birlashtirilgan rostlash xarakteristikasini bilish muhim bo'ladi.

$$\Delta R_g = \sum_1^n R_{gi} = \frac{\Delta f}{f_n} \cdot \sum_1^n (R_{inom} k_{gi}) \quad (10.46)$$

bu yerda n – sistemadagi generatorlar soni,

k_{Gi} – i -chi generator xarakteristikasining qiyaligi

Barcha generatorlar xarakteristikalarining qiyaligi ifodasidan butun generatsiya qismi uchun barcha generatorlar (quvvatlari) yuklamalari yig'indisining o'zgarishini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\Sigma R_{gi} = P_{sist} \cdot \frac{\Delta f}{f_n} \cdot k_{GS}, \quad (10.47)$$

$$k_{GS} = \sum_1^n \frac{(R_{inom} k_{gi})}{P_{sist}}, \quad (10.48)$$

bu yerda: P_{sist} – sistemadagi barcha generatorlarning nominal quvvati,

k_{GS} – sistemadagi barcha generatorlar xarakteristikalarining qiyaligi.

Chastotaning birlamchi rostlash samaradorligini tahlil qilishni sistemaning yakuniy chastotaviy xarakteristikasining qiyaligi bo'yicha olib borish qulay bo'ladi, chunki u yuklamaning statistik xarakteristikalari bo'yicha o'zgarishini va sistemadagi barcha generatorlarning tezlik rostlagichlarining xarakteristikalariga qarab ularning quvvatlari o'zgarishlarini hisobga olish imkonini beradi. Sistemaning birlashtirilgan chastotaviy xarakteristikasi chastotaning 1 %ga o'zgarishida iste'molchilar va generatorlarning quvvati qanchaga o'zgarishini quyidagi ifoda ko'rsatadi:

$$k_s = \frac{\Delta R}{R_{sist}} \cdot \frac{\Delta f}{f_n} \quad (10.49)$$

Sistema yuklamasining umumiy o'zgarishi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta R = \Sigma \Delta R_{gi} + \Delta P_{nagr} = R_{sist} \cdot \frac{\Delta f}{f_n} k_{GS} + \frac{\Delta f}{f_n} k_{nagr}, \quad (10.50)$$

bu yerda: R_{nagr} – ma'lum bir vaqt momentidagi sistema iste'molchilarining yuklamasi (nagruzkasi);

k_n – yuklamaning chastota bo'yicha o'zgarishining statik xarakteristikasining qiyaligi.

ΔR ning kattaligini (16.14) ifodaga qo'yib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$k_s = k_{GS} + \frac{R_{sist}}{P_{nagr}} k_{nagr} \quad (10.51)$$

Zahira koeffitsientini quyidagicha topiladi: $k_r = \frac{P_{sist}}{P_n}$, u holda quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$k_s = k_{gs} + \frac{k_{nagr}}{k_r} \quad (10.52)$$

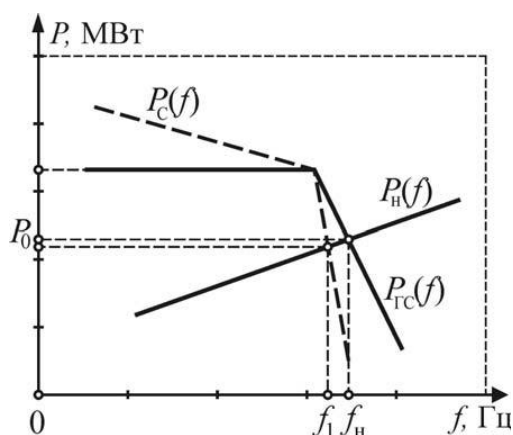
Barcha generatorlarda zahira bo'lmasa ($k_p=1$), generatsiya xarakteristikasining qiyaligi $k_{gs} = 0$ bo'ladi va $k_c = k_n$ boshqa holatlarda sistemaning birlashtirilgan statik xarakteristikasining qiyaligi $k_s \gg k_{gs}$ bo'ladi. k_c , k_{gs} i k_n koeffitsientlar orasidagi munosabat grafik ravishda 10.10 – rasmda mos ravishda P_c , P_{gs} , P_n xarakteristikalar yordamida ko'rsatilgan. Chastotaning birlamchi rostanishida chastota og'ishlari oqibatida sistema generatorlariga tushayotgan qo'shimcha yuklama generatorlarning chastotaviy xarakteristikalarining qiyaligiga to'g'ri proporsional taqsimlanadi. Chastota og'ishlarida sistemadagi quvvat etishmovchiligi iste'molchilar va generatorlarning quvvat o'zgarishlari yig'indisi bo'yicha aniqlanadi:

$$\Delta R = k_s \cdot R_{sist} \frac{\Delta f}{f_n}. \quad (10.53)$$

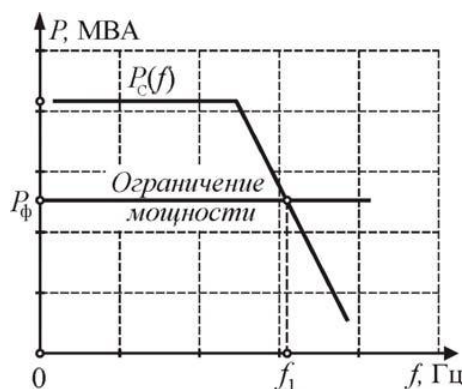
Zaxira koeffitsientini hisobga olib quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\Delta R = k_s k_r R_n \frac{\Delta f}{f_n} = (k_{gs} k_r + k_n) R_n \frac{\Delta f}{f_n}. \quad (10.54)$$

Chastotaning Δf ga og'ishlarida va iste'molchilar yuklamasining P_n o'zgarishlarida stantsiyalardagi generatorlarning quvvatini ΔP ga o'zgartirish lozim, shundagina sistema chastotasi yana nominal qiymatiga tiklanadi (erishadi).



10.17.-rasm. Generatsiyalarnig statik xarakteristikalari qiyaligining



10.18-rasm. Generatorning chastotaviy xarakteristikasini olishda quvvatni belgilab

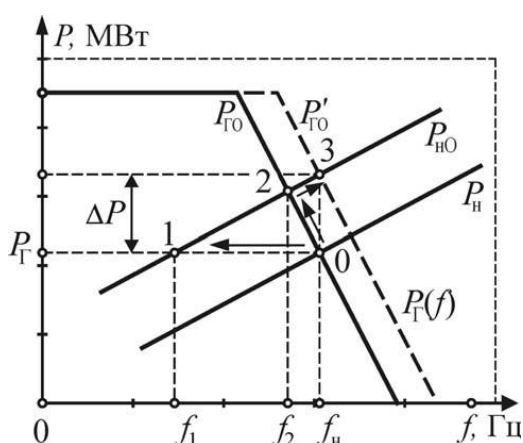
Chastotaning o'zgarishlarini bunda quyidagi ifoda bilan yozishimiz mumkin:

$$\Delta f = f_n \frac{\Delta R}{k_z k_r R_n} = f_n \frac{\Delta R}{(k_z k_r + k_n) R_n} \quad (10.55)$$

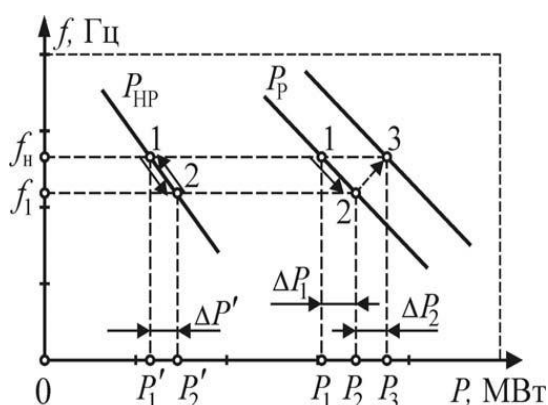
Stantsiya generatorlarining, yuklamaning, sistemaning chastotaviy xarakteristikalarini hisobiy yo'l bilan topish murakkab masala. Shu sababdan amalda energosistemaning ekspluatatsiyasi sharoitlarida ularni eksperimental yo'l bilan aniqlanadi. Alohida olingan generatorning tezlik regulyatori xarakteristikasining qiyaligini hisoblash uchun sistemada chastotani o'zgartirib, alohida olingan generatorning yuklamasining o'zgarishi kuzatiladi. Generator yuklamasining o'zgarishini chastota og'ishlari kattaligiga nisbati xarakteristikaning qiyaligini beradi. k_n kattaligini o'lchash quyidagicha bajariladi. Sistemaning bitta generatoridan tashqari barcha generatorlariga (o'rnatilgan) belgilangan yuklama quvvati R_f beriladi (10.18 – rasm). Uning kattaligi chastota kamayishlarida tezlik rostlagichlari ta'sirida o'zgarmasligi uchun turbinaga tushayotgan energiya manbai oqimi chegaralanadi. Bitta yirik stantsiyaning quvvatini pog'onali kamaytira borib, chastotani kamaytiriladi, bunda har bir pog'onadagi stantsiya quvvati qayd qilib turiladi. Tajribada boshqa stantsiyalar quvvati bir xil saqlanganligi uchun rostlanayotgan stantsiya quvvatining o'zgarishi yuklama quvvatining o'zgarishini ko'rsatadi. Natijada aktiv yuklamaning $R_n(f)$ chastotaviy statik xarakteristikasini olish mumkin bo'ladi.

10.4.2. Chastotaning ikkilamchi rostlanishi. Turbina tezligi rostlagichlarini statik xarakteristikali birlamchi chastota rostlagichlari ko'rinishida bajarilganida sistemada chastotaning nominal qiymatini ta'minlab bera olmaydi (saqlab turish mumkin bo'lmaydi). SHu sababli qo'shimcha ravishda ikkilamchi chastotani rostlash tizimi qo'llaniladi. Bunda turbina tezlik rostlagichi xarakteristikasi o'ziga nisbatan parallel sijitiladi. Ikkilamchi chastotaning rostlash

tizimi qo'lda yoki avtomat ravishda bajarilishi mumkin. Endi chastotaning birlamchi va ikkilamchi rostlashni birgalikda ko'rib chiqamiz. YUklamasining statik xarakteristikasi R_{n0} va sistemadagi generatorlarning R_{G0} tezlik rostlagichlarining o'rtacha xarakteristikalari ma'lum bo'lsin (10.19-rasm). 0 nuqtada berilgan chastotada generatsiya va iste'mol qilinayotgan quvvatlar muvozanati bo'lsin. Agar birlamchi tezlik rostlagichlari bo'lmasa, iste'mol qilinayotgan quvvatlar ortishida generatorning quvvati R_G o'zgarishsiz qoladi va chastota f_1 gacha kamayadi, yuklama xarakteristikasi esa 1 nuqtaga siljiydi va R_n holatini oladi. Birlamchi tezlik rostlagichlari ishlatilganida generatorlar yuklamaning bir qismini oladi va R_{G0} va R_n xarakteristikalarining kesishish nuqtasi 2 nuqtaga o'tadi, chastota esa f_2 bo'ladi, bu yerda $f_1 < f_2 < f_n$ bo'ladi. Va nihoyat, ikkilamchi tezlik rostlagichlari ishlatilganida generator xarakteristikasi R_{G0} to chastota nominal f_n qiymatga erishmaguncha siljib boradi (P_{G0} xarakteristikaning 3 nuqtasi). Natijada barcha quvvat ortishlarini stantsiya generatorlari o'ziga oladi. Ikkilamchi tezlik rostlagichlari ishlatilganida, ikkilamchi chastota (tezlik) rostlagichlari bitta generator uchun ishlatiladi, qolgan barcha generatorlarga o'rnatilgan yuklamani ushlab turish yuklatiladi va birlamchi chastota rostlash jarayonida ishtirok etib turishadi.



10.19-rasm. Chastotaning birlamchi va ikkilamchi birgalikda rostlash jarayoni



10.20-rasm. Normal rejimda chastotani rostlash

Rostlanmaydigan stantsiyalar xarakteristikasi dastlabki holatda bo'lsin (10.20-rasm.) R_{nr} , va rostlanadigan stantsiyalar holati – R_r bo'lsin. 1nuqta energosistemaning, f_n chastotada va stantsiyalarning mos yuklamalaridagi ishchi rejimi bo'lsin R'_1 va R_1 . Sistemada yuklama ortishida birlamchi rostlanish hisobiga rostlanadigan va rostlanmaydigan stantsiyalarga yuklama R'_2 va R_2 gacha ortadi, lekin chastota dastlabki qiymatigacha f_n tiklanmaydi va f_1 ga teng bo'lib qoladi. Stantsiyaning ish rejimlari 2 nuqtada davom etadi. Bunda stantsiyalar quvvatlarining ortishi $\Delta P_1' + \Delta P$ ni tashkil qiladi. Chastotaning dastlabki qiymatini tiklash uchun rostlovchi stantsiya R_3 gacha yuklamani o'ziga olishni davom ettiradi, bunda ikkilamchi rostlash jarayoni ketadi. Bu yerda uning chastotaviy xarakteristikasi chastota qiymati nominalga etgunicha o'ziga parallel ravishda 3 nuqtagacha siljiydi. Bu davrda rostlanmaydigan stantsiyalarda birlamchi rostlash jarayoni teskari tomoniga qarab 2-1 uchastkaga tomon davom etadi. Jarayon stantsiyaning dastlabki yuklamasiga va nominal chastotaga mos 1 nuqtada yakunlanadi. Sistemada nominal chastota tiklangach barcha qo'shimcha yuklamani $(\Delta P_1 + \Delta P_2)$ rostlovchi stantsiya o'ziga oladi.

10.4.3. Chastotani rostlash uchun stantsiya tanlash. Rostlanmaydigan stantsiyalarda quvvat zahirasi bo'lsa va rostlanadigan va rostlanmaydigan stantsiyalarda chastotaning og'ishlarida stantsiyalarda birlamchi rostlash jarayoni ketadi. Keyin rostlanadigan stantsiyalarda yuklama kattaligining mos o'zgarishlaridan keyin (ikkilamchi rostlash) sistema dastlabki rejimga tushadi. Birlamchi rostlashda chastotarostlovchi stantsiya o'ziga yuklamaning asosiy qismini olishi uchun ularning chastotaviy xarakteristikalarining qiyaligini rostlanmaydigan stantsiyalarnikiga nisbatan kattaroq olinadi. Birlamchi rostlashda yuklama ortib borishida chastotarostlovchi stantsiyaning quvvati quyidagi kattalikga o'zgaradi:

$$\Delta P'_{reg} = \frac{\Delta f}{f_n} k_g R_{nom}, \quad (1.56)$$

bu yerda:

k_G – chastotani rostlovchi stantsiyaning chastotaviy xarakteristikasining qiyaligi;

R_{nom} – chastotarostlovchi stantsiyaning nominal quvvati.

Chastotani o'rnatilgan qiymatlarda ushlab turish uchun ikkilamchi rostlashda chastotarostlovchi stantsiya quvvatining o'zgarish diapazoni quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta P_{reg}'' = n(P_n - \Delta P) - \Delta P, \quad (10.57)$$

bu yerda: n – yuklamaning maksimal nisbiy birliklardagi o'zgarish tezligini xarakterlovchi koeffitsient,

P_n – nominal chastotaga mos iste'molchi yuklamasining o'zgarishidan keyingi qiymati,

ΔP – birlamchi rostlash jarayonida sistemaning barcha generatorlari quvvati va yuklamaning o'zgarishi

Chastotaning ruxsat etilgan o'zgarish kattaligini hisobga olib quyidagini yozishimiz mumkin:

$$\Delta R_{reg}'' = n P_n - \Delta P(n+1) = n P_n \frac{\Delta f}{f_n} (k_{gc} k_p + k_n) P(n+1), \quad (10.58)$$

Chastotarostlovchi stantsiyasida, sistemada chastotani ruxsat etilgan qiymatlar oralig'ida ushlab turish uchun quvvatining to'liq rostlanish diapazoni quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta P_{reg} = \Delta P_{reg}' + \Delta P_{reg}'' \quad (10.59)$$

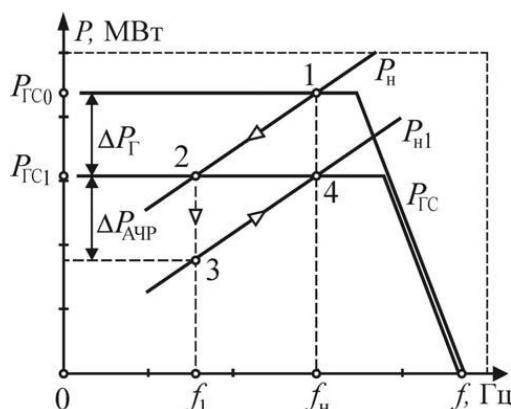
Chastotani rostlab turish uchun eng qulay elektrostantsiya gidro elektrostantsiya hisoblanadi. Agar energosistemada suv zahiralari chegaralangan GESlar bo'lsa, ular yuklama iste'moli grafigidagi "pik" yuklamalarda chastotani rostlash uchun ishlatiladi. O'zbekiston energosistemasida masalan Chorbog' GES si shu maqsadda foydalaniladi. Agar suv tanqisligi kam hajmda bo'lsa, GESda chastotaning rostlanishi 24 soat davomida bajariladi. Respublikamizning barcha regionlarida suv tanqisligi bor va barcha elektrostantsiyalr shu maqsadda ishlatilishi mumkin. Agar barcha GESlarda suv yetarli bo'lib, ular to'liq quvvat bilan ishlab turgan bo'lsa, rostlanuvchi agregat issiqlik elektrostantsiyalardan ham

olinishi mumkin. Bu maqsadda odatda imkoni boricha samarasiz elektrostantsiyalar ishlatiladi. Avariyalardan keyingi rejimlarda (sistemadagi generatorlar o'chirilganidapri) chastotani rostlab turuvchi elektrostantsiyalar odatda sistemadagi balansni saqlab turish masalasini yechishga yaramaydilar. SHu sababdan avariyalardan keyingi rejimlarda chastotaning sezilarli kamayishlarida amaldagi qoidalarga binoan rostlanmaydigan stantsiya generatorlari quvvati ham o'zgartiriladi. Masalan chastotaning 49,75 Gts gacha kamayishida bir gurux stantsiyalar yuklamasini oshirib, chastotani 49,5–49,75 Gts oralig'ida, boshqa guruxi esa 49,75–49,95 Gts oralig'ida rostlaydi. Ortiqcha rostlanmasligi uchun yuqorigi diapazon ham o'rnatiladi. Yagona energosistemalarda chastotarostlovchi stantsiyalarni tanlashda regionlararo liniyalarning quvvat oqimlarini o'tkazish imkoniyatlarini ham hisobga olish kerak bo'ladi.

10.4.4. Avariya dan keyin chastotani rostlash. Avariya dan keyingi rejim chastotaning sezilarli kamayishi bilan bog'liq bo'lib, sistemani nomutanosib bo'linishida yuzaga kelishi mumkin, bunda sistemaning bir bo'lagida aktiv quvvat ortiqcha bo'lishi va ikkinchi tomonida tanqis bo'lib qolishi mumkin. Eng havfli rejim chastotaning pasayib kyetishi bo'ladi. Chastotaning keskin pasayishi oqibatida quvvat etishmovchiligining yuzaga kelishida birlamchi va ikkilamchi rostlash natijasida barcha stantsiyalar to'liq yuklanib ishlaydi. Agar o'chirilgan generatorning quvvati barcha rezerv manbalar quvvatidan katta bo'lsa sistemada rostlash natijasida nominal chastota tiklanmaydi. Quvvat tanqisligi ortishi bilan chastota kamayishi ham ortib boradi. Chastotaning keskin pasayish quyunini oldini olish uchun tezkor ishlaydigan avtomat ximoya vositalari qo'llanilishi kerak. Chastotaning tiklanishi avtomat chastota yuksizlantirish (AChYu-ACHR) tizimi yordamida amalga oshiriladi. Bunda iste'molchilarning bir qismi o'chirib qo'yiladi. Iste'molchilarning bir qismini o'chirib qo'yilishi generatsiya quvvatlarining ishchi rejimlarini saqlab turish va qolgan iste'molchilarning elektr ta'minotini ta'minlash imkonini beradi.

AChYu (-ACHR) ishga tushirilganida chastotaning o'zgarish jarayonini ko'rib chiqamiz (10.21-rasm). Bu yerda R_{GS} – sistemaning generatsiya qismining chastotaviy xarakteristikasi va R_n – yuklamaning statik xarakteristikasi.

Energosistema rezervsiz R_{GS0} yuklama bilan ishlab turgan va chastota nominal bo'lgan holatni ko'rib chiqamiz. Bu rejim xarakteristikadagi 1 nuqta bilan xarakterlanadi, unda $R_{GS0} = R_n$ bo'ladi. Avariya natijasida ΔR_G generatsiya quvvati o'chirilgan bo'lsin.



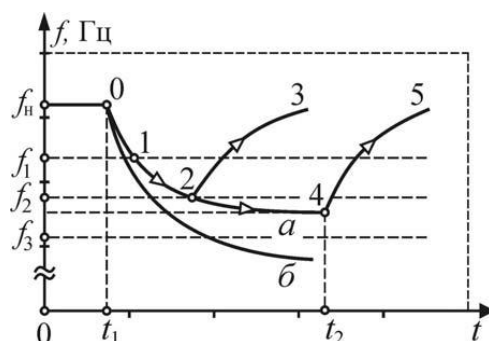
10.21-rasm. AChYu (ACHR) ishlab turganida chastotani rostdlash

U holda generatsiyalovchi qismning xarakteristikasi R_{GS1} holatiga suriladi va yuklamaning statik xarakteristikasiga binoan chastota f_1 (2 nuqta) gacha kamayadi. Chastotani dastlabki qiymatigacha tiklash uchun AChYu (ACHR) yordamida bir qism iste'molchi manbadan uziladi: $\Delta R_{ACHYU} = \Delta R_G$ 10.14-rasmda bu vaziyat yuklamaning statik xarakteristikasini o'ziga parallel ravishda R_{n1} holatiga surilishiga olib keladi. Bir qism iste'molchilarning manbadan uzilishi natijasida generatsiya quvvati iste'molchilarning quvvatidan katta bo'lib qoladi va chastota 3-4 chizig'i bo'yicha tiklanadi. Xarakteristikaning 4 nuqtasida yangi generatsiya va iste'mol quvvati bo'lgan nominal chastotali rejim barqarorlashadi. Chastota pasayishlarida ortiqcha o'chirishlar bo'lmasligi uchun barcha AChYu sistemasini ikki kategoriyaga bo'linadi (I va II navbatdagi AChYu sistemasini). AChYu ning har bir navbati yana bir necha pog'onalaridan iborat bo'ladi. AChYu pog'onalari bir biridan o'rnatilgan chastota kattaligi bilan farqlanadi. Sistemada chastota kamayib borishida dastlab AChYu I ishga tushadi vaziyat tiklanmasdan yomonlasha borsa,

ma'lum bir vaqt o'tkazib AChYu II ning pog'onalari ishga tushadi, AChYu yodamida kerakli miqdordagi iste'molchilar o'chirilgach muvozanat tiklanadi va sistema ishchi rejimga o'tadi. Sistemada quvvat etishmovchiligi yuzaga kelib AChYu tizimini ishga tushirilishi va muvozanatni tiklanish jarayonlari 10.15-rasmda ko'rsatilgan. Undagi 0 nuqta quvvat etishmovchiligi yuzaga kelgan boshlang'ich vaqt momentini ko'rsatadi. Bunda chastota ω egri chiziq bo'yicha pasayib boradi. 1 nuqtada ω_1 chastota AChYu -I ustavkasiga erishadi, AChYu bir qism iste'molchilarni ajratadi. Agar quvvat tanqisligi saqlanayotgan bo'lsa chastota yana kamaya boradi. 2 nuqtada ω_2 chastotada AChYu -I ning ikkinchi pog'onasi ishga tushib, keyingi gurux iste'molchilarni tarmoqdan uzadi.

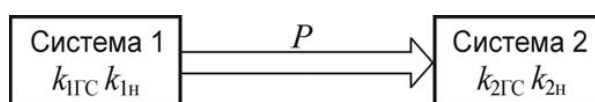
Yetarli miqdorda iste'molchilar tarmoqdan uzilganida generatsiya quvvati iste'molchilar quvvatidan katta bo'ladi va chastota ortib boradi (ω egri chiziqning 2-3 uchastkasi). Generatsiya quvvati bilan iste'molchilarning quvvati muvozanatlashsa, iste'mol quvvati AChYu pog'onalarining orasida ham qolishi mumkin (2-4 chiziq). Chastotaning osilib qolishi kuzatiladi. U holda bir oz vaqt o'tib AChYu -II ning 1-navbati ishga tushadi va chastota sekin asta orta boradi (4-5 egri chiziq). Agar chastota to'liq tiklanmasa AChYu -II ning 11-navbati ishga tushadi, va bir gurux iste'molchilarni o'chiradi va chastotani tiklaydi va xokazo. AChYuning tanlab ta'sir qilishi maxalliy va regional energosistemada quvvat tanqisligining yuzaga kelish joyi va kattaligiga qarab, chastotaning o'zgarish tezligini hisobga olgan jolda amalga oshiriladi. Inertsiasiz tufayli maxalliy energotizimda birlashgan energosistemaga nisbatan chastotaning o'zgarish tezligi yuqoriroq bo'ladi (10.22 rasm b egri chiziq). Boshqacha qilib aytganda quvvat tanqisligi qanchalik katta bo'lsa, chastota o'zgarishi shunchalik tezroq bo'ladi. SHu sababli bir xil quvvat o'zgarishlarida maxalliy energosistemada chastota o'zgarishlari tezroq bo'ladi. Shunday qilib, MES dagi sistemaviy liniyaning o'chirilishida chastotani tekislash uchun AChYu_{BES} qurilmasidan tashqari yana AChYu_{MES} sistemasi ham o'rnatilishi zarur. GESda chastotani rostlashda sistemaviy bog'lanishlar bo'lganligidan qator muammolar yuzaga keladi. Bunday masalalarni yechish odatda iqtisodiy nuqtai nazardan kelib chiqib amalga

oshiriladi, masalan elektr energiyasini GES dan yoki energiyatejamkor IES sidan sistemaga uzatishda.



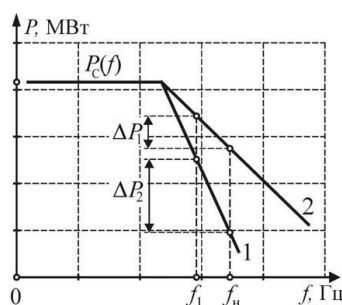
Ris. 10.22. Avtomat chastota rostlagich ishga tushganida avriyadan keyingi chastotaning o'zgarishi

Chastotani rostlash jarayonida energosistemadagi elektr uzatish liniyasi bo'ylab oqayotgan aktiv quvvat oqimi o'zgaradi va ma'lum bir chegaradan oshsa, liniya ortiqcha yuklanib qolishi mumkin bo'ladi. 10.22 rasmda ko'rsatilgan sxema misolida ortiqcha yuklanishning sababini o'rganamiz. Quvvati ortiqcha bo'lgan va etishmayotgan sistemalar orasidagi quvvatlar oqimini ko'rib chiqamiz.



10.23-rasm. Quvvati ortiqcha bo'lgan va etishmayotgan sistemalar orasidagi quvvatlar oqimi.

Deylik, nominal chastotali tarmoqda quvvatlar oqimi 1 sistemadan 2 sistemaga yo'nalgan bo'lsin. Generatsiya sistemasining statik (chastotaviy) xarakteristikasi k_{1GS} va k_{2GS} qiyalikka ega, yana $k_{1GS} > k_{2GS}$ (10.23-rasm). U holda chastotaning f_n dan f_1 gacha kamayishida, birlamchi rostlash jarayonida energosistemadagi stantsiyaning quvvati ΔP_1 ga oshadi, 2 sistema stantsiyasining quvvati esa ΔP_2 ga ortadi, bu yerda $\Delta P_2 > \Delta P_1$ bo'ladi. Bunda sistemaviy elektr uzatish liniyasida quvvatlar oqimi ortadi, bu esa liniyani ortiqcha yuklanishiga sabab bo'lishi mumkin.



10.24-rasm. Generatsiya sistemasining statik xarakteristikalar

Chastotaning sezilarsiz og'ishlarida bu oqimning o'zgarishi kam bo'ladi. Avariya dan keyingi rejimlarda, chastota katta miqdorga kamayishi kuzatiladi (10.24-rasm), iste'molchilarning quvvatining noproportsional o'zgarishi sistemaviy liniyalarni ortiqcha yuklanishiga va avariya ga olib kelishi mumkin. Shu sababdan chastotani rostdash jarayonida, liniyalarning ortiqcha yuklanishi bilan bog'liq bo'lgan, kutilmagan avariya lar paydo bo'lmasligi uchun liniyalardagi quvvatlar oqimi kattaligi nazorat qilinadi. Birlashtirilgan energosistemalarda odatda, regionlarning talabiga mos keluvchi, elektr uzatish liniyalaridagi quvvatlar oqimi grafigi tuziladi. Chastota kattaligini rostdash masalasi biror region yoki davlat energosistemasiga yuklatiladi. Boshqa energosistemalar o'zlaridagi generatsiya quvvatlarini (rostlab) o'zgartirib sistemadagi quvvatlar oqimini o'rnatilgan darajada ushlab turadi.

Tekshirish uchun savollar

1. Kuchlanishni transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsientlarini o'zgartirib rostdash usuli qanday afzalliklarga ega?
2. Kuchlanishni bo'ylama va ko'ndalang rostdash nima bilan xarakterlanadi?
3. Kuchlanishni transformatorning transformatsiyalash koeffitsientini o'zgartirib rostdash usulining ma'nosini tushuntiring.
4. Kondensator batareyali kompensatsiyalovchi qurilmalar qurilmasining printsiptial sxemasini keltiring va ishlash printsiptini tushuntiring.

5. Yuklama ostida kuchlanishni rostdash qurilmasining printsiptal sxemasini keltiring va ishlash printsiptini tushuntiring.
6. Qanday hollarda qo'lda kuchlanishni rostdash va yuklama ostida kuchlanishni rostdash qurilmalaridan foydalaniladi?
7. Kuchlanishni qo'lda kuchlanishni rostdash qurilmasi yordamida rostdash usulining afzallik va kamchiliklari nimada?
8. Kuchlanishni yuklama ostida kuchlanishni rostdash qurilmasi yordamida rostdash usulining afzallik va kamchiliklari nimada?
9. Ikki chulg'amli transformatorning ikkilamchi quyi tomonida talab etiluvchi kuchlanishni ta'minlash uchun lozim bo'lgan transformatsiyalash koeffitsienti qanday aniqlanadi?
10. Kuchlanishni liniya rostlagich transformatorlarida rostdash usulining ma'nosini tushuntiring.
11. Liniya rostlagich transformatorining printsiptal sxemasini keltiring va ishlash printsiptini tushuntiring.
12. Ta'minlovchi tarmoqlarda kuchlanishni rostdash uchun qanday vositalar qo'llaniladi?
13. Transformatorli yopiq konturda hosil bo'lgan EYUK qanday aniqlanadi?
14. Taqsimlovchi tarmoqlarda kuchlanishni rostdash uchun qanday vositalar qo'llaniladi?
15. RPNi bor transformator RPN yo'qlaridan qanday farq qiladi?
17. Taqsimlovchi tarmoqlarning ta'minot markazida kuchlanishni rostdashning qanday printsiplari bor?
18. Qanday holatlarda TM da kuchlanishni stabillashtirish rejimlari qo'llaniladi?
19. Kuchlanishni qarama-qarshi rostdash printsiptini ayting
20. Volt qo'shuvchi qarshilik va liniyaviy rostlagichlarning vazifasi nimada, ular qayerga ulanadi?
21. RPN li transformatorlarning chulg'amlarining ulanish sxemasi qanday bo'ladi?
22. Reaktiv quvvat oqimini rostlab kuchlanishni rostdash mohiyatini ayting?

23. Elektr tarmoqlarda reaktiv quvvat oqimini qanday vositalar yordamida rostlab turiladi?
24. Kuchlanishni ma'lum bir zarur pog'onaga o'zgartirish uchun kompensatsiyalovchi qurilma quvvati qanday aniqlanadi?
25. Nima sababdan energosistemadagi rejimlar doimiy boshqaruvchiga ega bo'ladi?
26. Rejimlarni boshqarishning qanday prinsiplari mavjud?
27. Sistemada chastota va aktiv quvvat qanday boshqariladi?
28. Sistemada kuchlanish rejimini qanday saqlanadi ?
29. Sistemada quvvatlar oqimi qanday boshqariladi?
30. Energosistema qanday avariya rejimlar bo'lishi mumkin, ular qanday boshqariladi?
31. Avariya qanday yo'qotiladi?
32. Aktiv va reaktiv quvvatlar balansi nima, uning e'arurati nimada?.

11-bob.ENERGETIKA SISTEMASI ELEKTR TARMOQLARIDA TEXNIK-IQTISODIY KO'RSATKICHLAR HISOBI

11.1. Elektr energetika sistemasi va elektr tarmoqlarini loyihalashning vazifalari va usullari.

Elektr energetika sistemalarini loyihalashning vazifasi ularning rivojlanishini aniqlovchi, iste'molchilarni talab darajasini qondiruvchi sifatidagi elektr va issiqlik energiyalari bilan ishonchli darajada eng kichik harajatlarda ta'minlovchi yechimlarini ishlab chiqish va texnik-iqtisodiy asoslashdan iboratdir.

Energetika sistemalari va elektr tarmoqlarini loyihalash bosqichlarsiz loyihalash ishlarini bajarish bilan boshlanadi. Bu ishlarni bajarish natijasida loyihalashning iqtisodiy samaradorligi va maqsadga muvofiqligi, katta narhli qurilish, qayta qurish va elektr tarmoq ob'ektlarini kengaytirishni aniqlash uchun asoslovchi materiallar ishlab chiqiladi.

Elektr tarmoqlar rivojlanishini loyihalash "Energetika sistemasi elektr tarmog'ining rivojlanish sxemasi" deb yuritiluvchi mustaqil ish yoki energetika sistemasi rivojlanish sxemasining tashkiliy qismi sifatida bajarilishi mumkin. Elektr tarmoqlarini loyihalashtirishda turli vazifalarni bajarish va turli kuchlanishlardagi tarmoqlarni rivojlantirish umumlashtiriladi. Loyihalashning quyidagi taxminiy tashkiliy qismlardan iborat bo'lgan bosqichlarida tarkibi va hajmi bo'yicha turlicha masalalar yechiladi:

ko'rilayotgan energetika sistemasining mavjud tarmog'ini tahlil qilish;

iste'molchilarning elektr yuklamalarini aniqlash va alohida nimsistemalar va energotugunlar uchun aktiv quvvat balansini tuzish, yangi pasaytiruvchi podstantsiyalar qurishni asoslash;

elektr stantsiyalarining ish holatlarini hisoblash (agar ko'rilayotgan tarmoqqa elektr stantsiyasi ulangan bo'lsa) va loyihalashtirilayotgan elektr tarmoqning yuklanishini aniqlash;

elektr tarmoqning turli ish holatlarini hisoblash va tarmoq sxemasi tuzilishini asoslash;

reaktiv quvvat balansini tuzish va tarmoqda kuchlanishni rostlash shartlarini aniqlash, kompensatsiyalovchi qurilmalarning tiplari, quvvatlari va joylashtirilish punktlarini aniqlash;

loyihalanuvchi tarmoqning qisqa tutashuv (QT) toklarini hisoblash, kommutatsion apparatlarning uzish imkoniyatlariga talablarni aniqlash, qisqa tutashuv quvvatlarini cheklash bo'yicha takliflarni ishlab chiqish;

sig'im toklarini kompensatsiyalash uchun qo'llaniluvchi yoy so'ndiruvchi reaktorlarni tanlash va sonlarini, quvvatlarini hamda o'rnatilish joylarini asoslash (odatda, 35 kV va undan past tarmoqlar uchun amalga oshiriladi);

elektr tarmoqni belgilangan hajmda rivojlanishining keltirilgan parametrlari, natural va summaaviy ko'rsatkichlari, ishga tushirilish ketma-ketligini aniqlash.

Avtomatlashtirilgan loyihalash sistemalarini (ALS) qo'llash energetika sistemalari va tarmoqlarini loyihalashda muhim ahamiyatga ega. Elektr tarmoqni loyihalashda asosiy aniqlanuvchi parametrlar – nominal kuchlanishlar, elektr uzatish liniyalari o'tkazgichlarining ko'ndalang kesimi, elektr uzatish liniyalarining soni, ularning uzatish qobiliyati, transformatorlarning soni va quvvati diskretdir. Qidirilayotgan ma'lumotlarning soni juda ko'p va shu sababli masalani matematik ko'rinishda tasvirlash juda murakkab. Elektr tarmoqni loyihalashni loyihalovchisiz amalga oshirish mumkin emas. Energetika tizimini loyihalashda avtomatlashtirilgan loyihalash sistemalari loyihalovchi uchun maslahatchi sifatida xizmat qiladi va u inson tomonidan to'liq himoyalashni ko'zda tutadi.

11.2. Elektr tarmoqlarning texnik - iqtisodiy ko'rsatkichlari

Eng muhim texnik-iqtisodiy ko'rsatkich – bu kapital mablag'lar, ya'ni elektr tarmog'i, stantsiyalari va energetik ob'ektlarni qurish uchun sarf bo'luvchi harajatlardir. Elektr tarmoq uchun:

$$K=K_{EUT} + K_{ns} \quad (11.1)$$

bu yerda: K_{EUT} - elektr uzatish liniyalarini qurish uchun kapital mablag';

K_{ps} - podstantsiyalarni qurish uchun kapital mablag'.

Elektr uzatish liniyalarini qurish uchun kapital mablag'lar K_{EUT} xududni o'rganish ishlari va trassalarni tayyorlash, tayanchlar, o'tkazgichlar, izolyatorlar va shu kabi jihozlarni olish, ularni tashish, montaj qilish va boshqa ishlar uchun harajatlardan tashkil topgan. Podstantsiyalarni qurish uchun kapital mablag'lar K_{ns} territoriyani tayyorlash, transformator, uzgich va shu kabi podstantsiyaning yordamchi jihozlarini olish, montaj qilish va boshqa ishlar uchun harajatlardan tashkil topgan. Kapital mablag'lar alohida jihozlar narhlarining umumlashtirilgan qiymatlari yoki smetalar bo'yicha hisoblanishi mumkin.

Ikkinchi muhim texnik-iqtisodiy ko'rsatkich bo'lib bir yil davomida energetik jihozlar va tarmoqdan foydalanish uchun lozim bo'lgan harajatlari (qo'shimcha harajatlar) hisoblanadi:

$$I = I_{\text{yil}} + I_{nc} + I_{\Delta w} = \frac{\alpha_{a.\text{yil}} + \alpha_{t.\text{yil}} + \alpha_{x.\text{yil}}}{100} \cdot K_{\text{yil}} + \frac{\alpha_{a.nc} + \alpha_{t.nc} + \alpha_{x.nc}}{100} \cdot K_{nc} + I_{\Delta w}. \quad (11.2)$$

Bu yerda: I_{EUT} , I_{ns} - elektr uzatish liniyalari va podstantsiyalar uchun bir yil davomida foydalanish harajatlari;

$I_{\Delta w}$ - bir yil davomida isrof bo'luvchi elektr energiya narhi;

$\alpha_{a.EUT}$, $\alpha_{t.EUT}$, $\alpha_{x.EUT}$ - elektr uzatish tarmoqlar uchun ammortizatsiya, joriy ta'mir va xizmat ko'rsatish yillik chegirmalarining nisbiy birlikdagi qiymatlari, 1/yil;

$\alpha_{a.ns}$, $\alpha_{t.ns}$, $\alpha_{x.ns}$ - podstantsiya uchun ammortizatsiya, joriy ta'mir va xizmat ko'rsatish yillik chegirmalarining nisbiy birlikdagi qiymatlari, 1/yil. α_a , α_t , α_x larning qiymatlari qo'llanmalarda keltirilgan.

Agar elektr uzatish liniyalari va podstantsiyalar uchun ammortizatsiya, ta'mir va xizmat ko'rsatishga sarf bo'luvchi foydalanish harajatlarini birlashtirsak,

u holda elektr tarmoq uchun foydalanish harajatlari ifodasini quyidagicha yozish mumkin:

$$I = I_a + I_t + I_x + I_{\Delta w} \quad (11.3)$$

Bu yerda, I_a - ammortizatsiyaga chegirmalar;

I_t - tarmoqda joriy ta'mirni amalga oshirish uchun harajatlar;

I_x - tarmoqqa xizmat ko'rsatishga chegirmalar;

$I_{\Delta w}$ - isrof bo'luvchi elektr energiya narhi.

Ammortizatsiya chegirmalari kapital ta'mirni amalga oshirish uchun zarur bo'lgan harajatlar va ishdan chiqqan yoki eskirgan jihozlarni almashinish uchun to'planuvchi mablag'lardan tashkil topadi. Jihozning xizmat ko'rsatish davri qancha qisqa bo'lsa, ammortizatsiya chegirmasi shunchalik ko'p bo'ladi. Joriy ta'mir chegirmalari jihozni ishlaydigan holatda tutib turish uchun foydalaniladi. Joriy ta'mir mobaynida izolyatorlar almashtiriladi, tayanch va podstantsiya jihozlarining sirlari bo'yaladi, katta bo'lmagan buzilishlar tuzatiladi. Ishdan chiqishning oldini olish uchun barcha jihozlar tekshirilib va davriy tarzda sinovdan o'tkazilib turiladi. Bu tadbirlar ham joriy ta'mir chegirmalari hisobidan moliyalanadi. Xizmat ko'rsatish chegirmalari bevosita xodimlarning maoshi, transport va a'loqa vositalari, xodimlarning yashash uylari va h.k. uchun sarf qilinadi.

Ammortizatsiya va joriy ta'mirlash uchun qo'shimcha harajatlari quyidagicha hisoblanadi:

$$I_a = \alpha_a K \quad (11.4)$$

$$I_t = \alpha_t K, \quad (11.5)$$

bu yerda: α_a - nisbiy birlikdagi ammortizatsiya chegirmalari, 1/yil;

α_t - nisbiy birlikdagi joriy ta'mir chegirmalari, 1/yil.

Bir yil davomida isrof bo'luvchi elektr energiya narhi quyidagicha hisoblanadi:

$$I_{\Delta w} = \beta \Delta W, \quad (11.6)$$

bu yerda: ΔW - elektr energiya isrofi, kVt.soat; β - isrof bo'luvchi 1 kVt.soat elektr energiyani narhi.

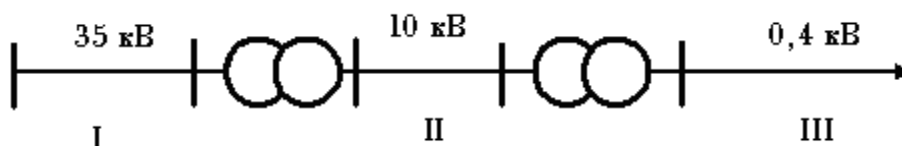
Texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarga, shuningdek, elektr energiyani uzatishning tan narhi ham kiradi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$S=I/W, \quad (11.7)$$

bu yerda: I - elektr tarmoqdan foydalanish harajatlari; W - bir yil davomida iste'molchi tarmoqdan olgan elektr energiya, kVt.soat.

Mavzu bo'yicha olingan ma'lumotlarni mustahkamlash uchun bitta masalani yechishni ko'rib chiqamiz.

Masala: Quyidagi rasmda keltirilgan kuchlanishi 35/10 kV.li suv xo'jalik elektr ta'minot tarmog'idagi sarf-harajatlar($Z_{s.x.}$)ni hisoblang. Elektr tarmoqlaridagi istemolchilar haqidagi ma'lumotlar 11.1 - jadvalda berilgan. X_{yu} – kuchlanishi 35/10 kV.li tarmoqdan elektr energiyasini uzatish harajatlari; X_p – kuchlanishi 0,4 kV.li tarmoqlardan elektr energiyasini uzatish harajatlari.



11.1 – rasm. Suv xo'jalik istemolchilarini elektr energiyasi bilan ta'minlash sxemasi. Bu yerda, I – 35 kV kuchlanishli energiya ta'minot tizimining shinalari; II-10 kVli TP shinalari; III – past kuchlanishli elektr istemolchilarining ulanish nuqtasi.

11.1– jadval

Elektr istemolchilari haqida ma'lumotlari.

№	Ko'rsatkichlari	Qiymatlari	№	Ko'rsatkichlari	Qiymatlari
1	K_{TTP} , mln. sum	72,0	6	$R_{am.TTP}$, % / yil	6,0
2	K_{110} , mln. sum/km	12,5	7	$R_{am.35}$, % / yil	6,8
3	K_{35} , mln. sum/km	5,5	8	$R_{am.35}$, % / yil	4,9
4	K_{10} , mln. sum/km	2,5	9	$R_{am.10}$, % / yil	5,7
5	K_6 , mln. sum/km	1,9	10	$R_{am.10}$, % / yil	6,8

Yechish: Kuchlanishi 35/10 kV.li p/st shinalaridagi yuklama $R = 1600 \text{ kVt.}$ ga teng. Transformatorning o'rtacha quvvati $S = 2000 \text{ kVA}$ bo'lsa va maksimal yuklamadan foydalanish muddati $T=3000 \text{ s/yil}$ deb hisoblaymiz.

Kuchlanishi 35 kV.li liniyaning o'rtacha uzunligi 16 km, kuchlanishi 10 kVli liniyaning umumiy uzunligi 130 km. Tuman transformator punkti va havo liniyasi (HL) balans qiymati, amortizatsiya chegirimlari haqidagi ma'lumotlar 11.2 – jadvalda berilgan.

Hisobni, kuchlanishi 35kV ta'minot manbai va 10 kV.li uzatish elektr tarmog'i va kuchlanishi 35/10 kV.li 1 ta tuman transformator punkti (TTP) uchun bajaramiz. Xisoblash uchun olingan ma'lumotlar 2016 yilgi bo'lganligi uchun uskunalarining narxlari so'mlarida baholanishi kerak. Davlatlararo kelishuvga binoan hisob kitoblar AQSH \$ olib borilayotganligi va hozirgi kundagi uskunalarining taxminiy narhlarni bilish maqsidda uni shartli mablag' birligi(ShMB)ga aylantiramiz. Ya'ni $1 \text{ ShMB} = 1 \text{ AQSH } \$$. O'zbekiston respublikasi markaziy bankining 2016 yil 3 martdagi ma'lumotiga ko'ra $1 \text{ AQSH } \$ = 4144 \text{ so'm}$).

TTP uchun amortizatsiya chegirimlarining me'yori o'rtacha qiymatga keltirilgan va u elektrotexnik qurilmalar uchun $r_{am} = 0,063$ qurilish qismi uchun $r_{am} = 0,040$ ga teng.

Sarf – harajatlarni quyidagi formulalardan hisoblaymiz:

Kapital sarflar miqdori quyidagicha hisoblanadi:

$$K = 40 + 4,5 \times 16 + 2,4 \times 130 = 424000 \text{ sum} \times 1 \text{ SHMB} = 424000 \times 1544 \\ = 654656 \text{ mln so'm}$$

Kapital sarmoyadan ajratilgan chegirimlar quyidagicha hisoblanadi:

$$E_n \cdot K = 0,12 \times 424000 = 51\,000 \text{ sum} = 51000 \times 1544 = 78744 \text{ mln SHMB}$$

Elektr uskunalarning kapital mablag' kattaliklari

Ko'rsatkichlar	Qiymatlar	Ko'rsatkichlar	Qiymatlar
K_{rtp} , mln. sum.	40	$r_{am. rtp}$, %/ yil	5,4
K_{110} , mln. so'm /km	8,6	r_{am110} , %/yil	7,4
K_{35} , mln so'm /km	4,5	r_{am35} , %/yil	4,2
K_{10} , mln so'm/km	2,4	r_{am10} , %/yil	5,3
K_6 , mln so'm/km	1,6	r_{am6} , %/yil	4,4

Umumiy amortizatsiya chegirimlari:

$$r_{am} \cdot K = 0,054 \times 40 + 0,042 \times 4,5 \times 16 + 0,053 \times 2,4 \times 130 = 21700 \text{ sum} \times 1 \text{ SHMB} = 21700 \times 1544 = 33504,8 \text{ mln so'm.}$$

Ishchi va xizmatchilarning maoshini, ishlab chiqarish va boshqa harajatlarni hisoblash uchun umumiy deb qabul qilingan shartli birliklar tizimidan foydalanamiz.

Bunda: kuchlanishi 35 kV.li havo liniyasi(HL)ning 1 km =1,3 ShEB;

kuchlanishi 10 kV.li havo liniyasi(HL)ning 1 km =1,8 ShEB;

1 ta tuman transformator punkti 1 TTP = 60 ShEB teng deb qabul qilingan.

U holda umumiy shartli ekspluatatsiya birligi quyidagicha hisoblanadi:

$$\Sigma \text{ShEB} = 1,3 \times 16 + 1,8 \times 130 + 60 = 315$$

Yil davomidagi 1 ShEB ning qiymati 35 ming so'm deb qabul qilsak, yil davomida maosh va boshqa chegirimlar uchun sarflarni quyidagicha hisoblaymiz:

$$35 \times 315 = 11 \text{ mln so'm, ShMB da esa } 11000 \times 1544 = 16984 \text{ mln so'm}$$

Tuman elektr ta'minot tashkilotidan yil davomida elektr hisoblagichlar orqali qabul qilingan elektr energiyasining miqdorini $TTP_{\Sigma} = 4800000 \text{ kVt}\cdot\text{s}$ deb olsak. Yillik elektr energiyasi isrofini TTP dan uzatilgan umumiy elektr energiyaning 7% ga teng deb olamiz va u quyidagicha topiladi:

$$\Delta A = 0,07 \times TTP = 0,07 \times 4800000 = 36000 \text{ kVt}\cdot\text{s.}$$

Transformatorning ko'rib chiqilayotgan pog'onasidagi 1 kVt.s elektr energiyasining isrofini hisoblash uchun undan bir pog'ona yuqoridagi

transformatsiyalash paytidagi isrofga nisbattan hisoblab topiladi.

Hisoblash paytidagi xolat uchun ushbu harajatlarni energiya tizimining shinalaridagi energiya harajatlarining o'rtacha qiymatiga teng deb olamiz va u quyidagicha bo'ladi:

$$X_t = 0,0133 \text{ so'm}/(\text{kVt} \times \text{s}) \times 1544 = 20,54 \text{ so'm}/(\text{kVt} \times \text{s})$$

U holda elektr energiyasi isrofining yillik harajatlari quyidagicha hisoblanadi:

$$X_{e.e.i.} = 20,54 \times 336\,000 = 6901,44 \text{ mln so'm.}$$

1 kVt solishtirma quvvatga mos keluvchi mablag' sarfi (M_v)ni hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} M_e &= \frac{E_n \cdot K + p_{a.m.} \cdot K + X_{\text{э.э.и.}}}{P} = \frac{(78744 + 33508,4 + 6901,44) \cdot 10^3}{1600} = \\ &= \frac{119153840}{1600} = 74471,15 \text{ с\ум}/(\kappa\text{Bm} \cdot \text{c}) \end{aligned}$$

Tuman transformator punkti orqali transformatsiyalash pog'onasidagi uzatilgan elektr energiyasi harajatlari 10 kV kuchlanishli tarmoq uchun $T_{10} = 3000$ soat/yil bo'lsa, o'rtacha keltirilgan harajatlari quyidagicha hisoblanadi:

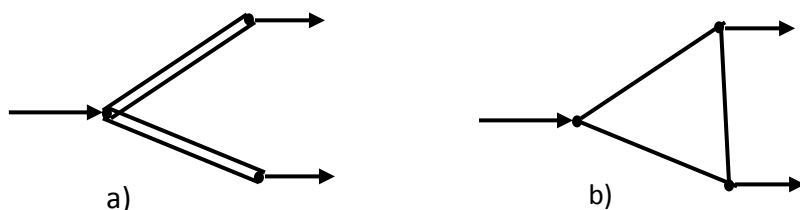
$$3_e = \frac{M_e}{T_{10}} = \frac{74471,15}{3000} = 24,8. \text{ с\ум}/(\kappa\text{Bm} \cdot \text{c})$$

11.3. Variantlarni texnik- iqtisodiy jihatdan solishtirish

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

Texnik-iqtisodiy jihatdan solishtirishning birinchi etapida texnik talablarni qanoatlantiruvchi variantlar tanlanadi, ikkinchi etapida esa texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar bo'yicha ularning eng optimali tanlanadi. Faraz qilaylik, 9.1-rasmda tasvirlangan variantlarni solishtirish talab etiladi. Eng sodda yo'l – bu variantlar uchun kapital mablag' va qo'shimcha harajatlarni aniqlash va so'ngra ularni solishtirish. Agar $K_1 > K_2$ va $I_1 > I_2$ bo'lsa, u holda ikkinchi variant tanlanadi. Tez-tez

variantlarni solishtirish uchun qiyinroq bo'lgan $K_1 > K_2$, $I_1 < I_2$ (yoki teskari) holatlar uchrab turadi.



11.2-rasm. Tarmoq sxemasining variantlari:

a – radial; b – yopiq

Tarmoq sxemasi variantlarini solishtirish kapital mablag'larning nisbiy iqtisodiy samaradorligini hisoblash asosida amalga oshiriladi. Eng afzal variantni aniqlashning iqtisodiy mezoni bo'lib quyidagi formula bo'yicha topiluvchi keltirilgan harajatlar minimumi hisoblanadi:

$$Z = r_n K + I, \quad (11.8)$$

bu yerda K - kapital mablag'lar; I - yillik foydalanishdagi harajatlar. I ko'rilayotgan vaqt davomida o'zgarmas deb qaraladi; r_n - kapital mablag'lar nisbiy samaradorligining normativ koeffitsienti, $r_n = 0,12$ 1/yil.

Keltirilgan harajatlar eng kichik bo'lgan variant eng afzal, ya'ni iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq variant hisoblanadi. Bu variant uchun quyidagicha yozish mumkin:

$$\min_i Z_i = \min_i (p_n K_i + I_i), \quad (11.9)$$

bu yerda: i - variant nomeri.

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

$$Z = \sum_{t=1}^T \frac{p_n K_t + \delta I_t}{(1 + p_{n,K})^{t-1}}, \quad (11.10)$$

bu yerda: T - tarmoqni qurish davri bo'lib, bu davrdan so'ng kapital mablag' ishlatilmaydi, foydalanishdagi harajatlar esa yillar bo'yicha o'zgarmaydi va I_t ga teng bo'ladi; K_t , U_t - hisoblanayotgan davrning t -chi yili uchun kapital mablag'lar va yillik foydalanishdagi harajatlar; $r_{n,k}=0,08$ - har xil davrdagi harajatlarni keltirish normativi; $\delta U_t = U_t - U_{t-1}$ - t -chi yil uchun foydalanishdagi harajatlarning $(t-1)$ - chi yildagiga nisbatan o'zgarishi. Agar solishtirilayotgan variantlar elektr bilan ta'minlashda ishonchlilik darajasi bo'yicha katta farq qilsa, keltirilgan harajatlar tarkibiga elektr energiyani yetkazib berolmaslikdan ko'riladigan zarar kiritilishi zarur.

Kichik elektr tarmoqlari yoki alohida ob'ektlarni solishtirganda keltirilgan harajatlar orasidagi farq 5% dan kichik bo'lganda ular iqtisodiy jihatdan teng deb hisoblanadi. Bunda albatta solishtirilayotgan variantlar uchun bir xil bo'lgan elementlar hisobga olinmasligi lozim. Iqtisodiy jihatdan teng bo'lgan variantlar orasidan birini tanlash ularning iqtisodiy ekvivalent sifatida tasvirlab va keltirilgan harajatlarga kiritib bo'lmaydigan xossalarni muhandislik jihatidan baholash asosida amalga oshiriladi. Bunda tarmoqning taraqqiyot istiqbollari, foydalanishdagi qulaylik, materiallarning taqchilligi, qo'llanilayotgan jihozlarning yalpiligi va boshqa faktorlar hisobga olinadi.

11.4. Elektr tarmoq sxemaviy yechimini ishonchlilik darajasini hisobga olib tanlash

Elektr tarmoq rivojlanishining solishtiriluvchi barcha variantlari iste'molchilarga bir xil darajada elektr energiya yetkazib berilishni ta'minlashi kerak. Har bir variantda belgilangan vazifalarni foydalanish ko'rsatkichlarini normativ hujjatlarda keltirilgan darajada saqlanishini ko'zda tutuvchi ishonchlilikni ta'minlash lozim. Elektr bilan ta'minlashda ishonchlilikka qo'yiladigan talablar "Elektr qurilmalarining o'rnatilish qoidalari" (EQO'Q) bo'yicha elektr qabul

qilgichlarning toifalariga muvofiq belgilanadi. EQO'Qga 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'jaligiga katta zarar ko'rilishiga, yoy so'ndiruvchi asosiy jihozlarning ishdan chiqishiga, mahsulotni yalpi brak 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 sektsiyasi hisoblanishi mumkin. I toifa iste'molchilarini elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi uzilish rezerv ta'minotni avtomatik kiritish vaqti davomida ruhsat etiladi.

II toifa elektr iste'molchilarga 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 ruhsat etiladi. II toifa elektr qabul qilgichlarni bitta elektr uzatish tarmog'i, shuningdek bitta transformator orqali, agar ular ishdan chiqqan taqdirda uni ikki soatdan ortiq bo'lmagan vaqt davomida bartaraf etish imkonini mavjud bo'lganda, ruhsat etiladi.

III toifa elektr iste'molchilariga qolgan barcha elektr iste'molchilar kiritiladi. Bunday elektr qabul qilgichlarni bitta manbadan elektr bilan ta'minlash uzilish yuz byerganda uni bartaraf etish, ya'ni ishdan chiqqan elementni ta'mirlash yoki almashinish 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 me'zon sifatida ishonchlilikning quyidagi texnik ko'rsatkichlari qabul qilingan: ishdan chiqish oqimi parametri (yillik o'rtacha ishdan chiqishlar oni) ω , ish.ch./yil; elektr bilan ta'minlashning qayta tiklanish o'rtacha vaqti T_t , yil/ish.ch.; yil davomida ishdan chiqmaslik ehtimolligi r , nisb. birl.

Ishonchlilik nazariyasida quyidagi tushunchalardan foydalaniladi:

ishlash qobiliyati – sistemaning belgilangan funktsiyani 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 istemolchilarida elektr bilan ta'minlashdagi uzilish ko'riladigan zarar iqtisodiy ekvivalent ko'rinishda ifodalanishi mumkin bo'lgan asoratlarga olib keladi. Bunda elektr bilan ta'minlashdagi uzilishdan kutiladigan yillik o'rtacha xalq xo'jalik zarari U (mln so'm/yil) keltirilgan harajat ifodasiga kiritiladi:

$$Z = r_n K + I + U \quad (11.11)$$

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

$$U_m = \omega T_t R_{e.kat} \varepsilon_{yu} U_{om} , \quad (11.12)$$

bu yerda: $R_{e.kat}$ - normal holatdagi eng katta umumiy yuklama, kVt;

ε_{yu} - iste'molchi yuklamasining chegaraviy koeffitsienti;

U_{om} - elektr bilan ta'minlashning majburiy uzilishidan ko'riladigan o'rtacha yillik solishtirma zarar, mln so'm/(kVt.yil).

ω va T_t ning qiymatlari qo'llanmalardan olinadi.

ε_{yu} - olingan ishdan chiqishda uzilib qoladigan yuklamani normal holatdagi umumiy eng katta yuklamasiga nisbatiga teng. Elektr ta'minoti 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 ε_{yu} ga bog'liq ravishda tipik bog'lanishlardan aniqlanadi.

11.5. Texnik iqtisodiy ko'rsatkichlar hisobi

Zamonaviy energosistema yuzlab, minglab o'zaro bog'langan elementlardan iborat. Ular bir biriga ta'sir etadi va ma'lum bir rejimlarda ishlab turadi. YAgona enegosistemada elektr iste'molchilarga sifatli elektr energiyasini yetkazib berish uchun elektrostantsiyalar bilan birgalikda elektr uzatish sistema elementlarining ishonchli ishlab turishi zarur. Ularning xususiyatlari ish kattaliklari va rejimlari biri biri bilan mutanosib ravishda ishlab turishi hisobga olinishi kerak. Bu yerda rele ximoyasi va avtomatika vositalari ham chetda qolmasligi zarur. Enegetika tizimlaridagi turli muammolarni yechishda ularni yaxlit holda yechish murakkab bo'lganligidan lokal masalalarga bo'linadi va alohida-alohida yechiladi. Masalan rayon elektr tarmoqlari yoki biror markaziy podstantsiya miqyosida.

Elektr sistema va tarmoqlarni loyhashtirishda variantlar qator talablarga javob berishi kerak; bular: iqtisodiy samarali, ekspluatatsiyasi qulay va engil, elektr energiya sifati me'yorida; kengaytirilish imkoniyatlari bo'lishi zarur. Bunday variantlar bitta masalani yechishda bir nechta bo'ladi. Ular solishtirilib, eng optimal yechimlar qabul qilinadi. Tarmoqlar faqat metall sarfi minimal bo'lishi bo'ycha hisoblanmasligi kerak. Eng ma'qul variant yechimlarini qabul qilish uchun ularni barchasini hisobga oluvchi umumiy me'zon topishimiz zarur. Bu kriteriy birdaniga barcha omillarni hisobga olishi zarur, bular: elektr energiya yetkazib berilmay qolganligi zararlari, elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari, atrof muhit va xodimlar havfsizligi va xokozo. Bunday umumiy me'zon so'mlarda aniqlangan keltirilgan harajatlar bo'lishi mumkin. Harajatlarni 1 km uzunlikdagi tarmoqqa, bir yil uchun hisoblanadi va minimum harajatlar aniqlanadi.

Birinchi etapda (bosqichda) qurilishda va keyingi yillarda bir xil yillik ekspluatatsiya harajatlari uchun keltirilgan harajatlar me'yoriy bo'ladi. Ob'ekt bir

bosqichda qurilganida qurilish –montaj ishlariga mablag'lar bir marta ajratiladi. Keyingi yillardagi ekspluatatsiya harajatlarini ham bir xil deb qabul qilamiz. Ekspluatatsiya harajatlari: elektr energiya sarfi , TXK va JR, oylik maosh va boshqa harajatlar (elektr uskunalarning eskirib borishi hisobiga qisman ortib borishi mumkin).

Yillik ekspluatatsiya harajatlari 3 ta tashkil etuvchidan iborat bo'ladi:

kapital mablag'lardan ajratmalar, amortizatsiya uchun elektr energiya isrofi, qo'shimcha harajatlar: $I=A+S_e+Q$

Qurilmalarni xizmat muddatiga ko'ra uning narhi bo'laklarga bo'linadi va kapital mablag'ning ajratmalarini tashkil qiladi E_K -elektr uskunaning emirilish koeffitsienti 0.1-0.15 atrofida bo'ladi (agar qurilma 7-10 yil xizmat qilsa).

Asosiy fondlarning keyingi qayta tiklanib turishi uchun uning miqdori ishlab chiqarilayotgan maxsulotga qisman o'tib turadi. Agar fond 4-5 yilda tiklansa, 5-10% dan o'tib turadi. Barcha asosiy fondlarning balansi (qiymatidan) narhidan belgilangan normalarga binoan foizlari o'tib turadi va ishlab chiqarishning uzluksizligi ta'minlanadi. Bunday ajratmalar - amortizatsiya ajratmalari ishlab chiqarilayotgan maxsulot tannarhiga o'tib turadi va ikki tamonlama ishlatiladi. Birinchi qismi ishdan chiqayotgan fondlarni qayta tiklash uchun sarflanadi, ikkinchi qismga esa kapital ta'mirlash va ishlab chiqarishni yangilash (modernizatsiya qilish) uchun ishlatiladi.

1. Elektr tarmoqdagi rele ximoyasi va avtomatlashtirish vositalarni qo'llash asosiy uskunalarining rezerv fondini qisqartirish imkonini beradi, chunki rezerv generator narhi rele ximoyasi va avtomatlashtirish vositalari narhidan ko'p marta yuqoriroqdir.

2. Elektr tarmoqlarda elektr energiyasi /quvvat/uzatilganida tok tarmoq simlari va transformatorlarda elektr energiyasi isroflari bo'ladi- $\Delta\mathcal{E}$ Uning narhi $C_s = \Delta\mathcal{E} \cdot C_e$,

S_e – 1 kVt•soat elektr energiyasi narhi

3.Xo'jalik zararlari elektr ta'minotidagi uzilishlar oqibatida yuzaga keladi. Sifatsiz elektr energiya, masalan me'yoridan past kuchlanish ham zarar keltiradi. Lekin

hisoblarda uzilish oqibatida yetkazib berilmay qolgan elektr energiyasi zararlari hisobga olinadi.

11.3-jadval.

Ayrim tarmoqlarning amortizatsiya ajratmalari

T.r	Tarmoq elementining nomlanishi	Amortizatsiya ajratmasi, R_a	TXK va JR	Jami
1	10kV gacha kuchlanish yog'och tayanchlarga o'rnatilgan elektr uzatish tarmog'i	5,7%	0,5%	6,2%
2	Temir beton va metal tayanchlarga o'rnatilgan EUT, 35-220 kV kuchlanishli	2,5	0,3	2,8
3	Yog'och tayanchli EUT 35 kV	4,9	0,3	5,2
4	Kuch elektrotexnik qurilmalar 10kVgacha 35- 110 kV 220 va undan yuqori kuchlanishli	6,4	4,0 3,0 2,0	10,4 9,4 8,4
5	Kabel tarmoqlari 10kV gacha 35kV gacha 110-220kV	5,3 3,4 2,4	1,5 2 2	6,8 5,4 4,4
6	T/b tayanchlardagi havo EUT $U < 220kV$	3,6	0,3	3,9

Keltirilgan harajatlarni. Elektr tarmoqlar, podstantsiyalarning kapital qurilmalarining samaradorligi ularning qoplanish muddati yoki kapital mablag'larning qoplanish muddati bilan aniqlanadi. Bu yerda samaradorlikning

me'yoriy koeffitsienti kiritiladi, $E_H = \frac{1}{T_K}$

Energetika ob'ektlari uchun $E_n = 0,12$ deb qabul qilinadi. Yangi texnika kiritilganida $E_n = 0,15$ bo'lishi mumkin.

Ob'ekt harajatlarining qoplanish muddati deb unga sarflangan mablag'larni maxsulot realizatsiyasi va harajatlarni tejash natijasida kapital mablag'ning qaytish muddati tushuniladi.

Demak, keltirilgan harajatlarni quyidagi ifodaga ega bo'ladi:

$$Z = (E_H + P_\Sigma)K + 3I^2 R \tau \cdot C_\gamma \cdot 10^{-3} + Y$$

Elementlar bo'yicha esa: $Z = \Sigma[(E_H + P_\Sigma)K + C_\gamma + Y]$

Variantlar solishtirganda minimal keltirilgan harajatli varianti optimal deb qabul qilinadi. Agar keltirilgan harajatlarning biror tashkil etuvchisi variantlarda bir xil bo'lib qolsa, uni hisobga olinmaydi.

Agar yillik harajatlarni alohida N bilan belgilasak oxirgi ifoda ikki hadlar yig'indisi ko'rinishini oladi: $Z = E_H K + N$

Hisoblarda elektr energiyasini uzatishni bir yilga keltirilgan harajatlarning kattaligi muhim bo'ladi: $C_{ii} = \frac{3}{3} = 3/(P_{\max} \cdot T_{\max})$

$P_{\max}$ -iste'molchiga uzatilayotgan maksimal quvvat;

$T_{\max}$ -istemolchining yillik ish soati.

Uzatilayotgan elektr energiyasining tannarhi: $C_0 = \frac{I}{3} = I/(P_{\max} \cdot T_{\max})$

Masala: 110 kVli tarmoqdan 50 km masofaga $P_{\max}$ quvvat uzatilmoqda. Yillik maksimumdan foydalanish vaqti $T_{\max}=5000s/yil$. Tarmoq muzlash bo'yicha II rayonda joylashgan. Samaradorlikning normativ koeffitsientini turli kesim yuzali simlarda bajarilgan tarmoqlarni solishtirib, optimal yechim (variant) toping.

Yechish: 1. Ikkala variant uchun uzilish zararlarini bir xil deb hisoblab uni hisobga olmaymiz. U holda keltirilgan harajatlarning quyidagicha $Z = (E_H + P_\Sigma)K_\Lambda + 3I^2 R \tau \cdot C_\gamma \cdot 10^{-3}$ bo'ladi.

2. AS-120 va AS-150 simli tarmoqlarda remont harajatlari bir xil deb hisoblaymiz. U holda keltirilgan holda amortizatsiya ajratmalari $P_a = 0,036(3,6\%)$ bo'ladi.

3. Metall tayanchlarda tortilgan tarmoqlarning 1kmning narhi:

12 mln(\$)-AS-120

12.3 mln (\$)-FC-150 bo'ladi, tsennikdan olinadi.

4. Ta'rif bo'yicha 1kVt.s elektr energiyasi narhi 250 so'm bo'lsa

$K_{\max} = 1$ deb qabul qilamiz.

5. 11.3 jadvaldan sim qarshiliklari $R_{\text{oas}}(\text{AS-120}) = 0,27 \text{ } \Omega/\text{km}$

$R_{\text{oas}}(\text{AS-150}) = 0,21 \text{ } \Omega/\text{km}$

6. Tarmoqdagi tok: $I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{20 \cdot 10^3}{3 \cdot 110} = 105 \text{ A}$

7. Ikkala variantlar uchun keltirilgan harajatlarni aniqlaymiz:

$$Z_{\text{AC-120}} = (0,15 + 0,036) \cdot 12000 \cdot 50 + 3 \cdot 105^2 \cdot 0,27 \cdot 50 \cdot 3000 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} = 174976,875 \$ / \text{yil}$$

$$Z_{\text{AC-150}} = (0,15 + 0,036) \cdot 12300 \cdot 50 + 3 \cdot 105^2 \cdot 0,21 \cdot 50 \cdot 3000 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} = 160093,125 \$ / \text{yil}$$

Hisoblar ko'rsatib turibdiki, keltirilgan harajatlar II-variantda (AS-150) kamroq va II-variant samaraliroq ekan.

Bunda $Z_{\text{AC-150}} = 160093,125 \$ / \text{yil}$ ёки $= 320186250 \text{ сўм} / \text{yil}$

11.6. Iqtisodiy samarali intervallar usuli.

Ko'pincha elektr tarmoqlarda o'tkazgich simlarni iqtisodiy samarali tok zichligi J tarmoq simlari va kabellarini tanlashda asosiy kriteriy qilib olinadi. Bu ko'rsatkich kapital sarf harajatlari bilan birgalikda elektr uzatish tarmoqlaridagi isroflarni ham hisobga olish imkonini beradi. Lekin iqtisodiy samarali tok zichligi bo'yicha tarmoqlarni tanlash usuli keltirilgan harajatlarni minimum bo'lishini har doim ham ta'minlay olmaydi.

O'tkazgich simlarning ko'ndalang kesim yuzasi pog'onali (diskret) o'zgaradi va u optimal bo'lmasligi mumkin. $F = I/j_E$. j_E kattalik esa maksimal quvvat bilan ishlash soati $T_{\max}$ ga bog'liq ravishda uzliksiz funktsiya bo'ladi. Bunda kapital quyilmalar va elektr energiya narhi ham o'zgarib boradi.

Iqtisodiy intervallar usuli. Yuqoridagi usulda hisobga olinmagan barcha faktorlarni hisobga olib elektr uzatish tarmoqlarida elementlari kattaliklarni tanlash II usulda mumkin bo'ladi. Bunda har bir kesim yuzali o'tkazgich sim uchun

ma'lum bir ruxsat etilgan tokda zararlarni hisobga olmasdan keltirilgan harajatlar hisoblanadi.

$$Z_{\Sigma} = (E_H + P_{\Sigma})K_A + 3I_m^2 R \tau \cdot C_{\tau} \cdot 10^{-3}$$

bu yerda: $E_n=0,12-0,15$

K_I - Elektr uzatish tarmog'ining narhi so'm/km.

I - tarmoqdagi maksimal tok miqdori .A

R -o'tkazgich simning aktiv qarshiligi , Om/km

τ -maksimal isroflar vaqti s/yil

S_E -1kVt.s elektr energiya narhi. so'm/kVt.s

Bu kattalik tok va kesim yuzalarining bog'liqlik (parabolik) egri chiziqlardan iborat bo'ladi [3]. Egri chiziqlardan foydalanib, har bir kesim yuzali sim uchun minimal harajatlar oralig'ini topish mumkin bo'ladi, masalan 440-500A oraliqda 185 mm²li sim AS tipli, 375-440 da esa 150 mm²li sim olish kerakligi ko'rinib turibdi.

Barcha parabollar ko'rinib turgan yo'g'on chiziq minimal harajatlari chizig'i bo'lib, undan eng samarali kesim yuzasi tanlanadi. Iqtisodiy intervallar uslibidan foydalanib, har bir konstruksiyali elektr tarmoq uchun nomagrammalar olingan $I = f(\tau)$. Turli kuchlanish, tayanchlar turi, konstruksiyasi uchun chizilgan. Ulardan foydalanib tarmoqdagi yuklama toklari iqtisodiy samarali miqdorlari uchun o'tkazgich sim kesim yuzalarini aniqlanadi. Yoki berilgan kesim yuzali tarmoq uchun optimal tok intervali belgilanadi. Masalan 185 mm² AS markali sim uchun $\ell - m$ oralig'i, AS-150 uchun KI oralig'i, AS-120 uchun jk oralig'idagi tok miqdori samarali bo'ladi. Xuddi shunday quvvati ma'lum bo'lgan transformatorlarni tegishli kuchlanish pog'onalarini uchun iqtisodiy samarali yuklanish quvvati intervallari aniqlangan $S_{yu.i.} = S_{tr}(0,7-0,925)$ atrofida bo'lgan. Masalan : transformator quvvati 1000mVA bo'lsa, uning optimal yuklanish intervali 700.....925 mVA oralig'ida bo'ladi.

Tekshirish uchun savollar

1. Elektr tarmoqda kuchlanishni qanday rostlash usulini bilasiz?
2. Tarmoqning reaktiv qarshiligini o'zgarishi undagi kuchlanishga qanday ta'sir etadi?
3. Radial tarmoqning oxirida talab etiluvchi kuchlanishni ta'minlash uchun unga ulanuvchi BKQning qarshiligi qanday aniqlanadi?
4. Elektr tarmoqda kuchlanishni reaktiv qarshilikni kompensatsiyalab rostlashda tok va kuchlanishning vektor diagrammalarini quring.
5. Kuchlanishni reaktiv quvvatni o'zgartirib rostlash usulining ma'nosini tushuntiring.
6. Radial tarmoqning oxirida talab etiluvchi kuchlanishni ta'minlash uchun unga ulanuvchi reaktiv quvvat kompensatorining quvvati qanday aniqlanadi?
7. Elektr tarmoqda kuchlanishni reaktiv quvvatni kompensatsiyalab rostlashda tok va kuchlanishning vektor diagrammalarini quring.
8. Nima sababdan radial tarmoqqa BKQ ulash natijasida uning oxiridagi kuchlanish ortadi?
9. Nima sababdan reaktiv quvvatni kompensatorda ishlab chiqarish natijasida radial tarmoqning oxirida kuchlanish ortadi?
10. Reaktiv quvvatni kompensatsiyalash qanday qurilmalar yordamida amalga oshirilishi mumkin?
11. Yillik harajatlar nimalarni o'ziga oladi?
12. Keltirilgan harajatlar nimalarni o'z ichiga oladi?
13. Elektr uzatish tarmoqlarida ko'ndalang kesim yuzasi ortsa keltirilgan harajatlar har doim ham ortadimi, nima uchun?
14. Elektr sistemasi va tarmoqlarini loyihalashining vazifalari nimalardan iborat?
15. Bosqichsiz loyihalash nima? Unda qanday masalalar hal etiladi?
16. Avtomatik loyihalash sistemasi nima? Uning afzalliklari nimada?
17. Elektr tarmoqlarini loyihalash qanday masalalarni yechishni nazarda tutadi?

18. Elektr tarmoqlarni loyihalashda foydalaniluvchi asosiy iktisodiy ko'rsatkichlarga nimalar kiradi?
19. Kapital mablag' nima? U qanday aniqlanadi?
20. Yillik foydalanishdagi qo'shimcha harajatlarni nima? U qanday aniqlanadi?
21. Elektr tarmoqlardagi energiya isrofi qanday aniqlanadi? Iqtisodiylik energiya isrofiga qanday bog'langan?
22. Elektr energiya tan narhi nima? U qanday aniqlanadi?
23. Yil davomida isbe'molchilarga tarmoq orqali uzatiluvchi energiya qanday aniqlanadi?
24. Kuchlanishni tarmoq qarshiligini o'zgartirib rostlash usulining ma'nosini tushuntiring.
25. Nima sababdan olisga tortilgan tarmoqning oxirida kuchlanish ortadi?
27. Qanday holda olisga tortilgan tarmoqning oxirida kuchlanish ortadi?
28. Elektr tarmoqlardagi energiya isroflari tarkibi qanday?
29. Elektr tarmoqlaridagi harajatlarda elektr energiyasi isroflarining salmog'i qanday bo'ladi?
30. Elektr tarmoqlardagi toj razryadi isroflari qachon paydo bo'ladi, uning kattaligi qanday omillarga bog'liq bo'ladi?

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O'zbekiston Respublikasi prezidentining 01.02.2019 y. PF-5646 sonli O'zbekiston Respublikasi yoqilg'i-energetika tarmog'ini boshqarish tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risidagi farmoni. 2019 yil 4 fevral. "Xalq so'zi", 2019 yil 5 fevral. "O'zbekiston Respublikasi qonun hujjatlari to'plami", 2019 yil 11 fevral, 6-son, 95-modda.
2. O'zbekiston Respublikasi prezidenti Sn. Mirziyoevning Oliy Majlisga murojaatnomasi. "Xalq so'zi", 2018 yil 29 dekabr 271-272 soni.
3. O'zbekiston Respublikasi prezidenti Sh. Mirziyoevning Qishloq xo'jaligi xodimlari kunidagi ma'ruzasi. "Xalq so'zi", 2018 yil 10 dekabr
4. Safarov A.M., G'oipov T.Sh., Sulliev A.X. Elektr tarmoqlari va tizimlari –T.: Tafakkur bo'stoni, 2013. –224 b.
5. Электрические системы. Электрические сети. Учебное пособие для ВУЗов/Под ред. А.В.Веникова и В.А.Строева. – М.: Высшая школа, 1998. – 512 с.
6. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. Аналитический обзор. – Т.: Молия, 2007. –388 с.
7. Мельников Н.А. Электрические сети и системы. М.: Энергия, 2008. – 374с.
8. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. – Т.: Молия, 1999. –412 б.
- 9.Электротехнический справочник: Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии./Под общ.ред. профессоров МЭИ. –М.: Издательство МЭИ, 2004. –964 с.
10. Moxamed E. El-Hawary. Introduction to Electrical Power Systems. Copyright 2008 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. All rights reserved. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada.

11. Moustafa Eissa. Energy efficiency –the innovative ways for smart energy, the future towards modern utilities. <http://dx.doi.org/10.5772/2590> Edited by Moustafa Eissa. Electric Power Distribution Handbook, T. A. Short. Taylor & Francis Group. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300.

12. Energy in the 21st century. (2nd edition) John r. Fanchi. Texas Christian University, USA. With christoper j. Fanchi. Copyright © 2011 by world scientific publishing co. Pte. Ltd.

13. Francis M. Vanek. Louis D. Energy Systems Engineering Evaluation and Implementation. Copyright © 2008 by The McGraw-Hill Companies.

14. Janeza Trdine Energy Storage in the Emerging Era of Smart Grids. Edited by Rosario Carbone. Published by InTech. 9, 51000 Rijeka, Croatia. Copyright © 2011 InTech

15. Janaka Ekanayake Cardiff University, UK Kithsiri Liyanage University of Peradeniya, Sri Lanka Jianzhongwu Cardiff University, Uk Akihiko Yokoyama University of Tokyo, Japan Nick Jenkins Cardiff University, UK. Smart Grid Technology and Applications. © 2012 John Wiley & Sons, ltd

16. Markus Hotakainen, Jacob Klimstra & Wдrtsild Finland Oy Smart power generation Printing house: Arkmedia, Vaasa 2011 Publisher: Avain Publishers, Helsinki

17. Prof. P. S. R. Murty B.Sc. (Engg.) (Hans.) ME., Dr. - lng (Berlin), F.I.E. (India). Life Member – ISTE Operation and Control in Power Systems

18. Leslie A. Solmes. Energy Efficiency Real Time Energy Infrastructure Investment and Risk Management. Springer Science+Business Media B.V. 2009

19. Костин В.Н. Передача и распределение электроэнергии. Учебное пособие, Санкт- Петербург: СЗТУ, 2003. -147 с.

20.Электр қурилмаларини тузилиш қоидалар, ДИ Ўздавэнергоназорат, Тошкент.: 2007. –678 б.

21.Азаров В.С. Передача и распределение электроэнергии. Учебное пособие, Москва: МГОУ, 2005. - 213 с.

22. Веников В.А. Электрические системы. Электрические сети М.: Высш. шк., 1998. - 511 с.

23. Герасименко А.А. Электроэнергетические сети и системы. Учебное пособие, Красноярск: СФУ, 2008. - 280 с.

24. Raxmatov A.D. Elektr tarmoqlari va tizimlari. T.: TIQXMMI, 2019. – 188 б.

M U N D A R I J A

Kirish.....	3
1 bob. Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sistemasining umumiy xarakteristiksi. Elektr sistema elementlari.....	9
1.1. Asosiy tushunchalar, terminlar, ta'riflar.....	9
1.2. Tarmoqlarning kengayishi. Yagona energosistemaning afzalliklari....	13
1.3. Elektr energiyasini uzatish sistemasining xarakteristiklari.....	18
Tekshirish uchun savollar.....	27
2 bob. Elektr tarmoqlar elementlarining kuchlanishlari. Elektr tarmoqlarning neytrallik rejimlari.....	28
2.1. Elektr tarmoqlar elementlarining nominal kuchlanishlari.....	28
2.2. Elektr tarmoqlarning neytrallik rejimlari.....	30
2.3. Elektr energiyasini uzoq masofaga uzatish.....	41
Tekshirish uchun savollar.....	47
3-bob. Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sxemalarini qurish asoslari.....	48
3.1. Elektr tarmoqlar sxemalariga qo'yilgan talablar.....	48
3.2. Podstantsiyalarni elektr tarmoqqa ulanish usullari.....	53
3.3. Taqsimlash qurilmalarining tipaviy sxemalari.....	54
Tekshirish uchun savollar.....	61
4 bob. Elektr uzatish tarmoqlarining konstruktiv ishlanishi va kattaliklari.....	62
4.1. Havo elektr uzatish tarmoqlari.....	62
4.2. Kabel elektr uzatish tarmoqlari.....	77
4.3. Havo va kabel liniyalarining xarakteristiklari va o'rnini olish sxemalari.....	84
4.4. Fazalari bo'laklangan havo elektr uzatish tarmoqlari.....	98
4.5. Elektr uzatish tarmoqlarining o'rnini olish sxemalari	101

4.6. Po'lat simli elektr tarmoqlar.....	104
Tekshirish uchun savollar.....	108
5 bob. Kuch transformatorlarining parametrlari va o'rnini olish sxemalari.....	112
5.1. Ikki chulg'amli transformatorlar	112
5.2. Uch chulg'amli transformatorlar.	124
5.3. Avtotransformatorlar.....	129
5.4 Chulg'amlari bo'laklangan transformatorlar.....	138
5.5. Elektr tarmoqlarda kompensatsiyalovchi qurilmalar.....	144
Tekshirish uchun savollar.....	156
6-bob. Elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari va me'yorlari. Aktiv va reaktiv quvvatlar balansi va energosistemalarda kuchlanish va chastota darajasi.....	158
6.1. Elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari va me'yorlari.....	158
6.2. Chastotaning elektr qurilmalar ishlashiga ta'siri.....	165
Tekshirish uchun savollar.....	169
7-bob. Elektr tarmoqlarning hisobi.....	171
7.1. Elektr tarmoqlarini hisoblashning umumiy masalalari.....	171
7.2. Elektr tarmoqlarning o'rnini olish sxemalarida elektr yuklamalarni ko'rsatish.....	172
7.3. Elektr tarmoqning turg'un rejimlarini tahlili va hisoblash masalalari.....	178
7.4. Elektr tarmoq uchastkasining rejimlarining tahlili. Toklar va kuchlanishlarni vektor tasvirlash.....	182
7.5. Ochiq (oddiy) elektr tarmoqlarning turg'un rejimlarining hisobi.....	194
7.6. Elektr uzatish liniyasi rejimlarining hisobi.....	209
7.7. Oddiy yopiq tarmoqlarning turg'un rejimlarining hisobi.....	233
Tekshirish uchun savollar.....	243

8 bob. Elektr uzatish tarmoqlari kattaliklarini iqtisodiy ko'rsatkichlari bo'yicha hisoblash va tanlash	244
8.1. O'tkazgichlarning ko'ndalang kesim yuzalarini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash.....	244.
8.2. Havo elektr uzatish tarmoqlari kesim yuzalarini iqtisodiy intervallar bo'yicha tanlash.....	247
8.3. Taqsimlovchi tarmoqlarda o'tkazgichlarining kesim yuzalarini tanlashning xarakterli xususiyatlari.....	250
Tekshirish uchun savollar.....	256
9-bob. Elektr energiyasi isroflarini strukturasi, hisoblash va tahlili usullari.....	258
9.1. Elektr energiyasini uzatishda energiya isroflarining strukturasi.....	1.....258
9.2. EE isroflarini hisoblash usullari.....	263.
9.2.1. . Elektr energiyasi isroflari hisobining xarakterli sutkalik rejimlar usuli.....	263
9.2.2. O'rtacha yuklamalar metodi.....	265
9.2.3. O'rtacha kvadrat rejim parametrlari metodi.....	267
9.2.4. Eng katta isroflar vaqti usuli.....	268
Tekshirish uchun savollar.....	270
10-bob. Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sistemalari rejimlarini rostlash asoslari.....	272
10.1. Rejimlarni rostlashning asosiy masalalari.....	272
10.2. Elektrostantsiyalarda chastota va kuchlanishni boshqarish.....	274
10.3 Elektr tarmoqlarda kuchlanish va reaktiv quvvatni boshqarish.....	276
10.3.1. Kuchlanishni yuklama ostida rostlash qurilmalari bo'lgan transformatorlar yordamida rostlash.....	283
10.3.2. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarda kuchlanishni rostlash rejimlarini tanlash.....	296
10.3.3. Kuchlanishni reaktiv quvvat oqimini o'zgartirib rostlash.....	302

10.3.4 Kuchlanishni qarama-qarshi rostdash.....	307
10.4. Energosistemada chastotani rostdash.....	319
Tekshirish uchun savollar.....	332
11-bob. Energetika sistemalari elektr tarmoqlarida texnik iqtisodiy ko'rsatkichlar hisobi.....	335
11.1. Energetika sistemalari va elektr tarmoqlarini loyihalashning vazifalari va usullari.....	335
11.2. Elektr tarmoqlarning texnik - iqtisodiy ko'rsatkichlari.....	336
11.3. Variantlarni texnik- iqtisodiy jihatdan solishtirish.....	342
11.4. Elektr tarmoq sxemaviy yechimini ishonchlilik darajasini hisobga olib tanlash.....	344
11.5 Texnik iqtisodiy ko'rsatkichlar hisobi.....	347
11.6. Iqtisodiy samarali intervallar usuli.....	351
Tekshirish uchun savollar.....	353
Foydalanilgan adabiyotlar	355