

621.3
W 52

NEMATOV L.A.
RAXMONOV I.U.

ELEKTR ENERGIYA ISHLAB CHIQARISH, UZATISH VA TAQSIMLASH

Darslik



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

BUXORO MUHANDISLIK -TEXNOLOGIYA
INSTITUTI

Nematov L.A., Raxmonov I.U.

**ELEKTR ENERGIYA ISHLAB
CHIQRISH, UZATISH VA
TAQSIMLASH**

*Oliy ta'lim muassasalari 5312100 – «Energoaudit va sanoat
korxonalarining energetik tekshiruvi» ta'lim yo'nalishi
talabalari uchun darslik*

BUXORO – 2020
«DURDONA» NASHRIYOTI

7.3. Tugun kuchlanishlari tenglamasini	155
foydalaniladigan ko'rinishi	155
7.4. Tugun kuchlanishlari tenglamasi ko'effitsiyentlarini aniqlash	158
7.5. Tugun kuchlanishlari tenglamalarini iteratsiya (ketma-ketlik) usulida yechish. Quvvat oqimi taqsimlanishini aniqlash	160
7.6. Murakkab berk zanjirli elektr tarmoqlarni kontur toklari usulida hisoblash	164
7.7. Murakkab berk tarmoqlarni o'zgartirish	166
7.8. Bir necha ta'minlash punktlariga ega bo'lgan murakkab berk zanjirli tarmoqlarni hisoblash xususiyatlari	171
VIII. Elektr tarmog'ining ish tartiblari va ularni boshqarish	175
8.1. Quvvat isrofi turlari	175
8.2. Reaktiv quvvat manbalari va uning xususiyatlari	177
8.4. Sistemada aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishini me'yorlash	181
8.5. Tartibni boshqaruv sistemasining tarkibi	183
8.6. Chastota va aktiv quvvatni boshqarish	185
8.7. Kuchlanish va reaktiv quvvatni boshqarish	188
8.8. Reaktiv quvvat kompensatsiyasi	192
IX. Elektr energiya sifati va uni ta'minlash	194
9.1. Elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlari	194
9.2. Aktiv va reaktiv quvvat muvozanati va elektr sistemalarda kuchlanishni rostlash holati. Kuchlanishni rostlash usullari	197
9.3. Iste'molchilardagi kuchlanishning og'ishiga bog'liq	201
bo'lgan asosiy omillar, kuchlanishni qarama-qarshi rostlash	201
9.4. Elektr stansiyalar va pasaytiruvchi podstansiyalarda kuchlanishni rostlash	204
9.5. Tarmoq qarshiliklarini o'zgartirib, kuchlanishni rostlash	208
9.7. Elektr energetika sistemasida nosinusoidallik va uni kamaytirish tadbirlari	214
10.1. Texnik-iqtisodiy hisoblar, simlar va kabellarning kesim yuzasini tanlash. Kumulyativ xarajatlar	219
10.2. Tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha simlarning kesim yuzasini tanlash	225
10.3. Nominal kuchlanishni tanlash	233
10.4. Havo liniyalar simlari kesim yuzasini va kabellarni iqtisodiy intervallari usuli bilan tanlash	236
10.5. Liniya simi va kabellarining kesim yuzasini kuchlanish qiymatini ruxsat etilgan yo'qotilishi bo'yicha aniqlash	241
10.7. Liniya kesim yuzasini to'planish sharoiti va qisqa tutashuv toklarini qizdirishi bo'yicha tekshirish	254
10.8. Po'lat simlardan tayyorlangan liniyalarni hisoblash	256
ILOVALAR	270

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	9
I. Общие сведения об электрических сетях.....	13
1.1. Активные источники питания.....	13
1.2. Реактивные источники питания.....	15
1.3. Структура и схема электрических сетей и систем.....	19
1.4. Основные требования к электрическим сетям.....	24
1.5. Номинальное напряжение электрических систем и сетей.....	28
Понятие регулировки напряжения.....	28
1.6. Нейтраль электрических сетей разного напряжения рабочее состояние.....	33
II. Структура линий электрических сетей.....	38
2.1. Общие сведения о воздушных линиях.....	38
2.2. Провода и тросы воздушных линий.....	41
2.3. Опоры воздушных линий.....	46
2.4. Изоляторы и линейная арматура.....	47
2.5. Структура кабелей и кабельных линий.....	49
III. Характеристика и элементы электрической системы.....	51
3.1. Потребительская нагрузка, график загрузки.....	51
3.2. Основные виды счетов электрических сетей.....	53
3.3. Схема замещения сопротивлений и проводимости линий электропередач.....	55
3.4. Параметры двух - и трехфазных трансформаторов и схема замены	72
3.5. Трансформаторы с разделением обмоток.....	79
3.6. Параметры автотрансформаторов.....	81
IV. АНАЛИЗ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	90
4.1. Потери мощности в линиях и трансформаторах.....	90
4.2. Потери энергии в линиях и трансформаторах.....	97
4.3. Падение и потеря напряжения. Условные счета по данным, приведенным в конце (начале) строки.....	106
V. Распределительные ленточные электрические сети.....	118
5.1. Расчет распределительных открытых электрических сетей.....	118
5.2. Берк цепные распределительные электрические сети с двух сторон обслуживаемые линии.....	121
5.3. двухсторонние линии электропередачи некоторые случаи расчета	127
5.4. Простой расчет цепных сетей Берк.....	128
VI. Питающие электрические сети особенности расчета	135
6.1. Зарядный ток линии и зарядная мощность.....	140
6.2. Векторная диаграмма линии электропередачи.....	145
6.3. Количество линий с большой длиной.....	147
6.4. Пропускная способность линии электропередачи понятие.....	147
VII. Расчет распределения мощности в замкнутых сетях энергосистемы	
7.1. Исходные данные.....	150
7.2. Уравнения узловых напряжений.....	150
7.3. Уравнение узловых напряжений используемый внешний вид.....	152
7.4. Определение коэффициентов уравнения узловых напряжений.....	155

7.5. Решение уравнений узловых напряжений итерационным (последовательным) методом. Определение распределения тока питания.....	160
7.6. Расчет электрических сетей сложной замкнутой цепи методом контурных токов.....	164
7.7. Преобразование сложных сетей Берк.....	166
7.8. Особенности расчета сложных цепных сетей Берк с несколькими точками питания.....	171
VIII. Режимы работы электросетей и управление ими.....	175
8.1. Типы потерь мощности.....	175
8.2. Реактивные источники питания и их характеристики.....	177
8.4. Активная и реактивная мощности в системе нормирование распределения.....	181
8.5. Структура системы управления процедурами.....	183
8.6. Регулирование частоты и активной мощности.....	185
8.7. Регулирование напряжения и реактивной мощности.....	188
8.8. Компенсация реактивной мощности.....	192
IX. Качество электроэнергии и ее обеспечение.....	194
9.1. Показатели качества электроэнергии.....	194
9.2. Баланс активной и реактивной мощности и режим регулирования напряжения в электрических системах. Способы регулировки напряжения.....	197
9.3. Зависимость от отклонения напряжения на потребителях.....	201
основные факторы, влияющие на регулировку напряжения.....	201
9.4. Регулировка напряжения на электростанциях и понижающих подстанциях.....	204
9.5. Регулировка напряжения путем изменения сопротивлений сети.....	208
9.7. Нозинусоидальность в электроэнергетической системе и ее меры по сокращению.....	214
10.1. Техничко-экономические расчеты, сечение проводов и кабелей выбор поверхности. Кумулятивные издержки.....	219
10.2. По экономической плотности тока выбор поверхности сечения проводов.....	225
10.3. Выбор номинального напряжения.....	233
10.4. Выбор поверхности сечения проводов воздушных линий и кабелей методом экономических интервалов.....	236
10.5. Напряжение поверхности сечения линейных кабелей и кабелей определение стоимости по допустимым потерям.....	241
10.7. Проверка поверхности линейного сечения по условиям деформации и нагреву токами короткого замыкания.....	254
10.8 расчет линий из стальной проволоки.....	256
Приложений.....	270

CONTENTS

Introduction.....	9
I. General information on electrical networks.....	13
1.1. Active power supplies.....	13
1.2. Reactive power supplies.....	15
1.3. Structure and scheme of electrical networks and systems.....	19
1.4. Basic requirements for electrical networks.....	24
1.5. Electrical system and rated voltage of networks the concept of voltage adjustment.....	28
1.6. Electrical network neutral with different voltage working condition.....	33
II. Structure of power lines.....	38
2.1. General information about Air Lines.....	38
2.2. Air Lines wires and trusses.....	41
2.3. Air Line supports.....	46
2.4. Insulators and linear fittings.....	47
2.5. Structure of cables and cable lines.....	49
III. Characteristics and elements of the electrical system.....	51
3.1. Consumer download, downloads chart.....	51
3.2. The main types of accounts of electrical networks.....	53
3.3. Electrical transmission line resistance and transmission switching scheme.....	55
3.4. Parameters of two-and three-phase transformers and the scheme of replacement.....	72
3.5. Transformers divided into chulgami.....	79
3.6. Parameters of autotransformers.....	81
IV. Analysis of the working order of electrical networks.....	90
4.1. Power consumption in line and Transformers.....	90
4.2. Waste of energy in line and Transformers.....	97
4.3. Decrease and loss of tension. Conditional calculations based on the information given at the end of the line (at the beginning).....	106
V. Distribution switchgear electrical networks.....	118
5.1. Calculation of distribution Open power grid.....	118
5.2. Berk chain divider electric networks on two sides secured lines.....	121
5.3. Lines supplied from two sides some cases of calculation.....	127
5.4. Simple berk chain network accounting.....	128
VI. Feeder power networks calculation features.....	135
6.1. Line charge current and charge power.....	135
6.2. Vector diagram of the power transmission line.....	140
6.3. The calculation of the lines with a large length is.....	145
6.4. Electrical transmission line conductivity about concept.....	147
VII. Calculation of power distribution of the energy system in berk networks.....	150
7.1. Preliminary data.....	150
7.2. Node voltages equations.....	152
7.3. Node voltages equation used appearance.....	155
7.4. Determination of coefficients of node voltages equation.....	158
7.5. Solving node voltage equations by iteration (sequence) method. Determination of power flow distribution.....	160
7.6. Calculation of complex berk chain electric networks by the method of contour currents.....	164
7.7. Change of complex berk networks.....	166

7.8. Features of the calculation of complex berk chain networks with multiple supply units.....	171
VIII. Electrical network operation procedures and their management.....	175
8.1. Types of power waste.....	175
8.2. Reactive power supplies and its properties.....	177
8.4. Active and reactive power in the system normalization of distribution.....	181
8.5. Structure of the management system of order.....	183
8.6. Frequency and active power management.....	185
8.7. Voltage and Reactive Power Management.....	188
8.8. Reactive power compensation.....	192
IX. Electrical energy quality and its maintenance.....	194
9.1. Quality indicators of electricity.....	194
9.2. Active and reactive power balance and voltage adjustment status in electrical systems. Voltage adjustment methods.....	197
9.3. Due to the deviation of voltage in consumers the main factors, which are dependent on voltage-adjust against.....	201
9.4. Adjust voltage at power stations and lowering substations.....	204
9.5. Tirib Change Network resistance, adjust voltage.....	208
9.7. Noinusoidality in the electrical power system and its reduction measures.....	214
10.1. Technical and economic calculations, cutting of wires and cables surface selection. Cumulative costs.....	219
10.2. On the economic density of the vine selection of the cross-section surface of wires.....	225
10.3. Rated voltage selection.....	233
10.4. Air Lines wire cutting surface and selection of cables by the method of economic intervals.....	236
10.5. Tension of the cross-sectional surface of the line cable and cables determine the value on the allowable loss.....	241
10.7. Checking the cutting surface of the line for crowning conditions and short-circuit current heating.....	254
10.8 calculation of lines made of steel wires.....	256
Applications.....	270

Kirish

O'zbekiston Respublikasining birinchi prezidenti Islom Abdug'aniyevich Karimov, O'zbekiston iqtisodiyotining muhim tarmoqlarini tahlil qilar ekan «Respublika energetika mustaqilligiga erishgan taqdirdagina to'liq mustaqil bo'ladi», – degan.

Energetika va elektrlashtirishni rivojlanganligi mamlakat xalq xo'jaligini yuqori darajada rivojlanganligini belgilaydi.

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

XX asrda sodir bo'lgan ilmiy-texnika inqilobning ikki muhim yo'nalishini ko'rsatish mumkin. Bu – insonning fizikaviy energiyasini energiyaning boshqa turlari (asosan elektr energiyasi) bilan to'la almashtirish va jarayonlarni avtomatlashtirish yordamida insonlarni andazalangan operatsiyalardan (fizikaviy va aqliy mehnatlardan) ozod qilish. Shuning uchun, vatanimiz kompleks xo'jaligining barcha sohalaridagi ilmiy-texnika taraqqiyoti energetika va avtomatika bilan aniqlanadi.

Energetikani rivojlanishi elektr energiyasini ishlab chiqarishni uzluksiz ko'paytirish bilan bog'liq. Nima uchun insonlar elektr energiyasini energiyaning asosiy turi sifatida qabul qilgan? Chunki uni ishlab chiqarish, taqsimlash hamda undan ishlab chiqarishda foydalanish qulaydir.

Bir insonning muskul (mushak) quvvati 50 Vtga teng, bir yilda u 100 kVt·s ishlab chiqarishi mumkin. O'zbekistonda esa bir inson uchun 2000-2500 kVt·s to'g'ri keladi. Aholi boshiga qancha ko'p elektr energiyasi to'g'ri kelsa, shuncha mamlakatda yashash darajasi yuqori bo'ladi. Buni, AQSH, Shvetsiya, Norvegiya, Germaniya va boshqa rivojlangan mamlakatlar misolida ko'rish mumkin.

1 kVt·s nimani beradi? Uning yordamida 1,5 kg po'latni eritish, 30 kg ko'mirni qazib olish, 36 kg non yopish mumkin. Qudratli energetika sistemasiga birlashtirilgan elektr tarmoqlaridagi (elektr stansiyalaridan iste'molchiga qarab) energiyaning ulkan oqimi tirik organizmning qon tomirlari sis-temasiga o'xshashdir.

O'zbekiston energetikasining rivojlanishi. Turkiston energetika xo'jaligini quvvati 1914-yilga kelib 20 ming o.k. dan ozgina oshgan bo'lib, 51 ta elektr stansiyalardagi umumiy elektr motorlarni soni 500 tadan oshmas edi.

1917-yilgacha hozirgi O'zbekiston hududidagi elektr stansiyalarini quvvati 3 ming kVt ni tashkil qilib, bir yilda 3,3 mln. kVt·s elektr energiyasi ishlab chiqarilgan edi.

Turkiston o'lkasini elektrlashtirish rejasining tuzilishi katta ahamiyatga ega bo'ldi. 1923-yil Toshkent chekkasidagi Bo'zsuv kanalida gidroelektrostansiyasi (GES) qurilishi boshlandi. 1926-yil O'zbekiston energetikasining birinchi, o'sha vaqtda O'rta Osiyoda eng katta bo'lgan 2 ming kVt quvvatli Bo'zsuv GESini birinchi navbati ishga tushdi.

Respublika quvvat o'sishi asosini O'zbekiston energetika sistemasi tuzilgan paytda (1934-yil) Chirchiq-Bo'zsuv yo'nalishidagi 180 ming kVt quvvatli ketma-ket qurilgan gidroelektrostansiyalari tashkil etdi.

1939-yilda Qizilqiya ko'mir havzasi negizida Quvasoy Davlat rayon elektr stansiyasi (GRES) ni 12 MVt quvvatli kondensiyali turbina agregati va Toshkent to'qimachilik kombinati issiqlik elektr stansiyasini 6 MVt quvvatli ikki turbinasi ishga tushirildi.

Elektr stansiyalarni qurilishi va sanoat korxonalarini rivojlanishi magistral elektr tarmoqlarini qurish zarurligini keltirib chiqardi. Qodir GES ini ishga tushirilishi bilan bir vaqtning o'zida Respublikada birinchi bo'lib bu GES dan Toshkentga elektr uzatuvchi 35 kV kuchlanishli ikki sistemali liniya foydalanishga topshirildi.

1939-1940 yillarda 110 kV kuchlanishli havo liniyalari Quvasoy GRESni Andijon shahri bilan, Tovaqsay SESini Chirchiq shahari bilan bog'ladi.

Vatan urushi yillarida Toshkent atrofini bog'lovchi 35 kV kuchlanishli halqasimon havo liniyasi qurib bitkazildi, shimoliy sanoat rayonini elektr bilan ta'minlash uchun katta quvvatli «Shimoliy» podstansiya qurildi.

1943-yil Sirdaryo daryosida qurila boshlagan 125 ming kVt quvvatli Farhod GESi kimyo sanoatini rivojlantirish va sug'oriladigan yerlarni suv bilan ta'minlash imkonini berdi. 700 mingga O'zbekiston va qo'shni respublikalar yerlarini o'zlashtirishga imkon beruvchi suv to'g'onlari qurildi.

Angren ko'mir havzasini o'zlashtirilishi ikki issiqlik elektr stansiyasi 600 ming kVt quvvatli - Angren DRESini va Olmaliq issiqlik elektr quvvati markazini (EIM) ko'rishga asos bo'ldi.

1972-yil Sirdaryo GRESida O'rta Osiyoda birinchi katta kritik parametrlar: par bosimi 240 ta harorati 545°C da ishlovchi 300 MVt quvvatli energetika bloki ishga tushdi. Hozirgi paytda Sirdaryo GRESini 10 ga shunday quvvatli bloklari ishlamoqda.

O'rnatilgan uskunalar quvvatlarini yig'indisi 12.3 mln. kVt bo'lgan, 37 issiqlik va suv elektr stansiyalarini o'z ichiga olgan O'zbekiston energetika sistemasi asosini yirik elektr stansiyalari, shu jumladan Sirdaryo GRES (3,0 mln. kVt), Toshkent (1,86 mln. kVt), Yangi-Angren (1,8 mln. kVt) va Navoiy DRESi (1,25 mln. kVt) tashkil etadi.

Ko'rsatilgan elektr stansiyalarda yagona quvvati 150dan 300 ming kVt bo'lgan 30 dan ortiq zamonaviy energetika bloklar o'rnatilgan. Loyiha quvvati 3,2 mln. kVt va yagona energetika blokini quvvati 800 ming kVtli O'rta Osiyoda eng katta bo'lgan Tolimarjon issiqlik GRESni qurilishi davom etmoqda.

Suv energetikasi O'zbekiston Respublikasini energetika kompaniyasi sistemasidagi bir nechta suv elektr stansiya kaskadlari bilan belgilangan. Bulardan O'rta Chirchiq GESlar kaskadi suv havzasiga ega va shu sababli 600 ming kVt quvvatli Chorvoq GESi va 165 ming kVt quvvatli Xojikent GESi quvvatni rostdlash tartibida ishlaydi. Qolgan SES asosida suv oqimi bo'lgan tartibda ishlaydi.

Samarqand viloyatida umumiy quvvati 1002 MVA bo'lgan ikki transformatorli 500 kVli Sug'diyona podstansiyasi qurilishining yakunlanishi va ishga tushirilishi bilan iste'molchilarga yetkazib berilayotgan elektr energiyasining sifatini oshirish, elektr energiyasini uzatishdagi isroflarni kamaytirishga erishildi.

Sirdaryo IES — Sug'diyona PS ga 500 kV XL qurilishi bo'yicha ishlar boshlab yuborildi. Toshkent shahrining elektr ta'minoti ishonchligini oshirish maqsadida 110-220 kV kuchlanishli bir qator obyektlar, shu jumladan 110 kV li yopiq podstansiyalar va kabel liniyalarini qurishi ko'zda tutilmoqda.

Hammasi bo'lib 800 kmga yaqin magistral elektr uzatuv liniyalari, shuningdek sistemaga qarashli podstantsiyalarda, shu bilan bir qatorda, tiklanayotgan energetikani taraqqiy ettirish borasida birinchi navbatda, suv energetikasi salohiyatidan foydalanish bo'yicha ma'lum ishlar amalga oshirilmoqda.

O'zbekiston qishloq va suv xo'jaligi vazirligida, qishloq xo'jaligi obyektlarida foydalaniladigan kichik suv energetikani rivojlantirish Dasturi qabul qilinib, amalga oshirilmoqda. Mazkur Dasturga ko'ra umumiy o'rnatilgan quvvati 420 MVt bo'lgan, yiliga 1,3 mlrd. kVt.s. elektr energiyasini ishlab chiqaradigan 15 ta kichik GES qurish nazarda tutiladi.

O'zbekiston Respublikasidagi barcha kuchlanishdagi elektr tarmoqlarining uzunligi 220 ming km.ni tashkil etib, bunda 220-500 kV kuchlanishli tarmoqlar 7,5 ming km, 0,4-10 kV – 170 ming km dan iborat.

2007 yilda kompaniya energetika sistemasini 2020-yilgacha bo'lgan davrda rivojlantirish sxemasini ishlab chiqishga kirishdi. Bunda zamonaviy texnologiya va uskunalarni joriy etish bilan bir qatorda, ishlab turgan energetika obyektlarni qaytadan jihozlash ishlari davom ettiriladi.

O'zbekiston elektr energetikasini rivojlantirishning istiqbolli dasturlari quyidagilardan iborat:

- iqtisodiy islohotlarni chuqurlashtirish, elektr energiya bozorini shakllantirish va rivojlantirish;
- respublika iqtisodiyotini va aholisini sifatli elektr energiyasi bilan ta'minlash;
- energetik korxonalarni texnik jihatdan qayta jihozlash va modernizatsiyalash, ularning ishlab chiqarish samaradorligini oshirish;
- energiya ishlab chiqarishning atrof-muhitga salbiy ta'sirini kamaytirish.

Markaziy Osiyo Birlashgan energetika sistemasi doirasida integratsion jarayonlarni yanada rivojlantirish qabul qilingan Dasturlarni bajarish natijasida jamiyatning samarali hayot faoliyatini ta'minlovchi, mamlakat aholisining iqtisodiy, ijtimoiy va turmush darajasini oshirish uchun barcha imkoniyatlarni yaratuvchi elektr energetika sohasining faoliyat ko'rsatishi uchun qulay sharoitlar bunyod etildi.

I. Elektr tarmoqlari to'g'risida umumiy ma'lumotlar

1.1. Aktiv quvvat manbalari

Sistemada elektr stansiyalarning uch fazali sinxron generatorlari aktiv va reaktiv quvvat manbai bo'lib, u birlamchi motorlar – bug'li, gazli va suv turbinolari, dizel motorlari bilan aylanadi.

Birlamchi motorlar turiga qarab sinxron generatorlar, turbogeneratorlar, gidro generatorlar va dizel generatorlariga bo'linadi.

Turbogenerator va uning birlamchi motori–bug'li yoki gazli turbina–gorizontal ishlangan bo'lib, bitta asosga (fundamentga) o'rnatiladi va mufta orqali ulanib turboagregatni tashkil qiladi.

Turbogeneratorlar tez aylanuvchi mashinalarga kiradi, bir juft qutbning aylanish chastotasi 3000 ayl/min (noaniq qutbli) turbogeneratorlar juda keng tarqalgan. Parni parametrlari nisbatan kichik AESda ancha sekin aylanuvchi turbogenerator, aylanish chastotasi 1500 ayl/min bo'lgan to'rt qutbli mashinalarni ishlatish maqsadga muvofiqdir.

Suv generatori, mufta yordamida suv turbinasi bilan ulanib suv agregatini tashkil etadi. Turbogeneratorlardan suv generatorlarni farqi, ko'p hollarda vertikal valli bo'lib, ko'p sonli juft qutbli qilib tayyorlanadi (aniq qutbli mashina) va sekin aylanuvchi hisoblanadi. Ularning aylanish chastotasi 108 dan 910 ayl/daq bo'lib, daryo o'zanida suvning bosimi va sarfiga bog'liq.

Maxsus ishlangan kapsulali suv generatori to'g'ridan to'g'ri suv oqimiga suv o'tkazmaydigan kapsula ichida o'rnatiladi (gorizontal bajarilgan) va bunday hosil qiluvchi suv akkumulyatsiya elektr stansiyalari generatorlari uchun har xil aylanish chastotasi generator va motor tartibi uchun belgilanadi.

Sinxron generatorlarni qo'zg'atish (vozbuje deniya) uchun elektr mashinali, yuqori chastotali ionli va tiristorli sistemalar ishlatiladi. Elektr mashinali 160 MVt gacha bo'lgan generatorlarni qo'zg'atish uchun ishlatiladi. 160 MVt va undan yuqori quvvatli generatorlar uchun yuqori quvvatli qo'zg'atgichlar talab etiladi, bunday hollarda yuqori chastotali, ionli va tiristorli qo'zg'atishlar ishlatiladi. Tiristorli qo'zg'atgichlar tez harakatlanuvchi hisoblanadi va turbogeneratorlarda boshqa tartibli qo'zg'atgichlarga nisbatan katta oraliqda statik va dinamik barqarorlikni ta'minlaydi. U 300 MVt va undan yuqori quvvatli turbogeneratorlarda ishlatiladi.

Sinxron generatorlarni sovitish ulangan bilvosita ta'sir qilib yoki to'g'ridan-to'g'ri sovutuvchi vositada yordamida amalga oshiriladi.

Bilvosita ta'sir qilib sovitishda generator chulg'amlari o'tkazgichlaridan chiqayotgan issiqlik tashqi sovituvchi vositaga yuboriladi. To'g'ridan to'g'ri sovitishda esa, generator chulg'ami o'tkazgichlaridan ajratilayotgan issiqlik yassi o'tkazgichlarni maxsus ichki kanallaridan yuborilayotgan gaz yoki suyuqlikka o'tkaziladi. Turbogeneratorlarda sovitish vositasi uchun havo, vodorod, suv, yog', geliy ishlatiladi. Suv generatorlari uchun – suv. Havo yoki vodorodli sovitish o'rtada oquvchi (posredstvom protochnoy) yoki berk ventilyatsiya qilib bajariladi.

Vodorodli sovitish havoli sovitishga nisbatan samarador bo'lib 30 dan 300 MVt bo'lgan turbogeneratorlarda ishlatiladi.

Vodorod zichligining kichikligi ventilyatsiya isrofini 8-10 marta kamaytirib, generator foydali ish ko'effitsiyentini 0,7-1,0 % ga oshiradi. Vodorodli sovitish sistemali generatorlarni havoli sovitishda ham ishlatishi mumkin.

Havoning issiqlik uzatuvidan 40-50 marta katta suyuqlik bilan (suvli va yog'li) sovitish, yanada samarador hisoblanadi. Suvli sovitishda o'tkazgichlar ichida quyqalar ajralishini oldini olish uchun distillangan suv yoki turbina kondensatoridan olingan kondensat ishlatiladi.

Suyuqlik sovitish sistemasi suvli generatorlar uchun (suvli) va quvvati 160 dan 1200 MVtgacha turbogeneratorlar uchun (suvli va yog'li) qo'llaniladi.

Nominal kuchlanish kV; nominal aktiv quvvat MVt; nominal quvvat ko'effitsiyenti $\cos\varphi_n$; nominal reaktiv quvvat MVar; foydali ish ko'effitsiyenti (FIK) sinxron generatorlarning asosiy texnik ma'lumotlari hisoblanadi.

Turbogeneratorlar – 6,3; 10,5; 15,75; 18; 20; 24; 36,5 kV kuchlanishda, gidro generatorlari – 3,15; 6,3; 10,5; 11; 13,8; 15,75 va 16,5 kV kuchlanishlarda ishlab chiqariladi.

Turbogeneratorlarning nominal aktiv quvvati – 2,5; 4; 6; 12; 20; 30; 32; 60; 63; 100; 160; 200; 220; 300; 500; 800; 1000; 1200 MVtga teng.

Suv generatorlari 20 dan 640 MVtgacha bo'lgan quvvatlarda ishlab chiqariladi.

Generatordan sistemaga berilayotgan aktiv quvvatni rostlash – birlamchi motor momentini ya'ni turbinaga yuborilayotgan bug' yoki suvni o'zgartirib amalga oshiriladi.

Ishlab chiqarilayotgan generatorlarni nominal quvvat ko'effitsiyenti 0,8-0,9 ga teng. Bilvosita ta'sir qilib sovitishli generatorlarda $\cos\varphi_n$ 1,0 gacha

va to'g'ridan – to'g'ri ta'sir qilib sovitiladigan generatorlarda $\cos\phi$ ni 0,95-0,96 gacha ko'tarib uzoq ishlatish mumkin.

Generatorlarni nominal reaktiv quvvati uning aktiv nominal quvvati va $\cos\phi$ ni qiymati bilan bog'langan. Nominal quvvatda va nominal quvvat koeffitsiyentida generatorning foydali ish koeffitsiyenti 0,96-0,99% oraliqda bo'ladi. Yuklama va quvvat koeffitsiyentini kamayishi bilan generatorni foydali ish koeffitsiyenti pasayadi. Hozirgi vaqtda katta quvvatli asinxron turbogeneratorlarni yuzaga keltirish va ishlatish uchun katta ishlar qilinmoqda. Asinxron generatorlarni foydaliligi shundan iboratki: yuqori ishonchliligi, ishlab chiqarishni oddiyligi, nisbatan bahosini kichikligi, yana qo'zg'atish bo'lmagani uchun birlik quvvatini oshirish mumkinligi. Asosiy kamchiligi – aylanuvchi magnit maydoni hosil qilish uchun ko'p miqdorda reaktiv quvvatni iste'mol qilishidir.

Elektr sistemalarida to'g'ridan to'g'ri issiqlikni elektr energiyasiga o'zgartirib beruvchi MGD – generatorlar (magnit, suv, dinamik) samarali (perespektivniy) quvvat manbalari hisoblanadi. MGD – generatorlari quvvatni o'zgarmas tokda ishlab chiqaradi, uni sanoat chastetasidagi o'zgaruvchan tokka o'zgartiruvchi uskunalar yordamida o'zgartirish mumkin.

Nazorat savollari:

1. Hozirgi yashash sharoitida energetikaning roli qanday?
2. O'zbekiston energetikasi to'g'risida nimalarni bilasiz?
3. Energetika bo'yicha mutaxassis qanday bilimlarni bilishi kerak?
4. Aktiv quvvat manbalari nimalardan iborat?
5. Generator chulg'amlari qanday sovitiladi?

1.2. Reaktiv quvvat manbalari

Sinxron mashinalarni o'ta qo'zg'atishdan, elektr uzatuv liniyalari sig'imidan, kondensator va boshqa elementlarda faza toki berilgan kuchlanishdan oldinga o'tib, reaktiv quvvat yuzaga keladi. Reaktiv quvvat manbalarini sistemali va iste'molchiga bo'lish mumkin. Sistemali manbaga elektr stansiyalarni sinxron generatorlari, sinxron kompensatorlar, ko'ndalangiga ulangan katta quvvatli turg'un kondensator batareyalari, turg'un tiristorli kompensatorlar. Sinxron generatorlar reaktiv quvvatni asosiy manbai hisoblanadi. Generator aktiv quvvatini pasaytirganda, u berayotgan reaktiv quvvatni oshirish mumkin. Agarda sinxron generatorni

salt yurish tartibida reaktiv tok bilan yuklasak, sinxron kompensator tartibida ishlaydi.

Generator berayotgan reaktiv quvvatni tegishli qo'zg'atish tokini o'zgartirib amalga oshiriladi. $\cos \varphi = 1$ da tegishli reaktiv quvvat nolga teng. O'ta qo'zg'atishda generator reaktiv quvvat manbai hisoblanib, qo'zg'atishga yetmagan holatda tarmoqdan uni iste'mol qiladi. Turbo-generatorni sinxron kompensator tartibida o'ta qo'zg'atish tokida uzoq ishlashi, faqat qo'zg'atish tokini nominal qiymatidan katta bo'lmaganda ruxsat etiladi; qo'zg'atishga yetmagan tartib uchun mumkin bo'lgan eng katta reaktiv yuklama, isishga sinov natijasida aniqlanadi. Reaktiv quvvatni ishlab chiqish generator stator va rotor chulg'amlarida tokni oshishiga, to'liq aktiv yuklamada ishlaydigan mashinalarga nisbatan bir muncha qimmatlashishiga olib keladi. Reaktiv quvvatni ushbu holatda ishlab chiqish, boshqa reaktiv quvvat manbalarini o'rnatishdagi sarf-xarajatlarga nisbatan 10 marta kam¹.

Elektr stansiyalarda reaktiv quvvatni ayrim soat yoki mavsumlarda ishlab chiqish uchun maxsus yuklanmagan generatorlar ajratilishi mumkin. Bunda turbo-generatorlar uchun salt yurish tartibida faqat reaktiv quvvat ishlab chiqarish mumkin; bug'siz tartibda ishlash; turbinadan ajratilib, sinxron kompensator tartibida ishlash.

Salt yurish tartibida turbina faqat reaktiv quvvat bilan yuklangan generatorni aylantiradi. Turbinada katta miqdorda bug'ning sarfi sababli bu usul iqtisodiylik jihatdan yaxshi emas.

Bug'siz tartibda generator kam yuklangan sinxron motori holatiga o'xshab ishlab, turbinani aylantiradi. Bug' faqat turbina kuraklarini yen-tilyatsiyasiga sarf bo'ladi.

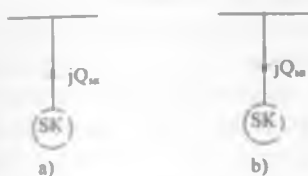
Generatorni sinxron kompensator tartibida, turbinadan uzilgan holatida ishlashi katta iqtisodiy samara beradi. Ammo bu holatda turbo jihozni aktiv quvvat bilan yuklash uchun turbina va uni qizuvchi qismini ulash uchun generatorni to'xtatish talab etiladi.

Gidrogenatorlarini sinxron kompensator tartibiga o'tkazish, turbo-generatorlarga nisbatan sodda va tez bo'lib, avtomatlashtirish oson bo'lishi mumkin.

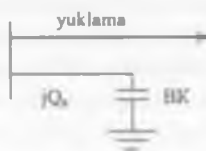
Bu holatda ish kamerasi suvdan tozalanib, quritilgan turbina generator bilan birgalikda ishlanishni davom etadi.

¹ Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley - Interscience A John Wiley&Sons, INC Publication, 2007, 260 p.

Yirik podstantsiyalarda reaktiv quvvatni ishlab chiqarish uchun salt yurish holatida ishlaydigan yengil qurilmali sinxron motorlar – sinxron kompensatorlar oʻrnatiladi. Oʻta qoʻzgʻatish tartibida sinxron kompensatorlar reaktiv quvvat ishlab chiqaruvchi generatorlar, etilmagan qoʻzgʻatishda esa isteʼmolchi (1.2.1-rasm) hisoblanadi. Oʻta qoʻzgʻatishdagi uning eng katta quvvati – **nominal quvvat** deb aytiladi. Yetilmagan qoʻzgʻatishda SK oʻzining tuzilish xususiyatiga qarab koʻpincha nominal quvvatning 60%gacha isteʼmol qiladi.



1.2.1-rasm. Sinxron komplekslarni oʻta qoʻzgʻatish tartibi (a) va qoʻzgʻatishga etmagan (b) tartibda ishlashi



1.2.2-rasm. KB ni koʻndalangiga ulanishi

Sinxron kompensatorlar aniq qutbli rotorli, vali gorizontal joylashgan aylanish chastotasi 750 rev/daq , quvvati 50; 100; 160; 320 MVAli qilib tayyorlanadi. Ularning nominal kuchlanishi 10,5; 11; 15,75 va 20 kV.

Energetika sistemasida reaktiv quvvat manbai sifatida ayrim kondensatorlardan ketma-ket ulangan parallel zanjirlarni bir-biriga moslab yigʻilgan yirik turgʻun kondensator batareyalar komplekti (1.2-rasm) keng tarqalmoqda. Ular pasaytiruvchi podstantsiyalarga oʻrnatilib, 6; 10; 35 va 110 kV kuchlaninishga ulanishi mumkin. KB va SKni taqqoslab qayd qilamiz.

SK reaktiv quvvatni ham uzatilishi shuningdek isteʼmol qilishi mumkin, KB – reaktiv quvvatni sistemaga faqat uzatadi. SK da reaktiv quvvat tekis oʻzgaradi, KB da – pogʻonali.

SK da reaktiv quvvatni uzatish, qoʻzgʻatishni tezlatish yoʻli bilan ishlab chiqariladi, u aslida keltirilgan kuchlanishga bogʻliq emas. KBda uzatilayotgan reaktiv quvvat va keltirilgan kuchlanish oʻrtasida kvadrat bogʻlanish boʻlib, KBni asosiy kamchiligi hisoblanadi.

Avariya holatlarida kuchlanish pasayadi va KB berayotgan reaktiv quvvatini keskin kamaytiradi, bu esa qoʻshimcha kuchlanishni, keyin quvvatni pasayishiga olib keladi. Bu kamchilikni yoʻqotish uchun ketma-

ket ulangan elementlarni bir qismini uzish, yulduz ulanishdan uch-burchakka o'tish va boshqa tadbirlar tavsiya etiladi.

SK dan farqli turg'un kondensator batareyalarida juda kam solishtirma aktiv quvvat isrofi (0,3% atrofida), bular KB quvvatini rostdashda o'zgarmaslikka va 1 kVAr quvvatni ishlab chiqishda kapital sarflarni kichikligi xususiyati bilan belgilanadi. Shuning uchun kichik quvvatlarda SK ishlatish maqsadga muvofiq emas.

Oxirgi yillarda yangi reaktiv quvvat manbalariga STKga (statik tiristorli kompensatsiya) katta ahamiyat berilmoqda. Bu qurilma juda tez harakati bilan ajralib turadi va bir tekisda reaktiv quvvatni rostlaydi. Ular reaktiv quvvatni uzatish tartibida va hamda reaktiv quvvat iste'molchisi tartibida ishlaydi. STK energetika sistemasi podstansiyalariga o'rnatish uchun mo'ljallangan bo'lib, 100; 150; 250; 300 va 450 mVAr quvvatga, va 10; 15,75; 20; 35; 38,5 va 110 kV kuchlanishga ega.

Reaktiv quvvatni iste'molchi manbalari, reaktiv quvvatni iste'mol iste'mol qiladigan punktlarda joyida ishlab chiqadi, bu bilan to'g'ridan-to'g'ri uzatadigan, energetika sistemasi elementlarini reaktiv toklardan bo'shatib va ayrim korxonalarni quvvat koeffitsiyentini yaxshilaydi. Bunday reaktiv quvvat manbalariga kondensator qurilmalari va sinxron motorlar kiradi.

Ko'rilgan reaktiv quvvat manbalarini ikki yo'nalishda ishlatish mumkin:

- Keyinchalik uni iste'molchilarga yetkazib berish bilan reaktiv quvvatni markazlashtirilgan energetika sistemalari elektr stansiyalari orqali uzatish.
- Markazlashtirilmagan, reaktiv quvvatni uni iste'mol punktlarini ham hisobga olib, sistemani har xil nuqtalarida uzatish.

Birinchi holatning afzalliklari reaktiv quvvatni uzatish uchun qo'shimcha qurilmalarni o'rnatishga xarajatlarni yo'qligi, chunki sinxron generatorlar uni ishlab chiqarishga hisoblangan. Ular kattalashtirilgan qo'zg'atuvchi toklarda ishlagani uchun turg'unligi oshadi. Bu holatda elektr tarmoqlari orqali reaktiv quvvat uzatilishi katta miqdorda aktiv quvvat isrofi bilan bog'langan bo'ladi.

Markazlashtirilmagan reaktiv quvvatni uzatish, tarmoqlarda aktiv quvvat isrofini katta miqdorga kamaytiradi, elektr stansiyalarda kerakli reaktiv quvvat zaxirasini saqlaydi. Ammo bu qo'shimcha uskunalarni tayyorlashga, o'rnatishga va ishlatishga katta miqdorda xarajatlarni talab qiladi.

Nazorat savollari:

1. Reaktiv quvvat manbalari nimalardan iborat?
2. Generatorni sinxron kompensator tartibida qanday ishlatish mumkin?
3. Statik tiristorli kompensatsiya qachon qo'llaniladi?

1.3. Elektr tarmoqlari hamda sistemalarining tuzilishi va sxemasi

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

Energetika sistemasi ikki xil turdagi elementlardan iborat: o'zgartiruvchi, ya'ni bu elementlar yordamida energiya bir turdan ikkinchi turga o'zgartiriladi, uzatuvchi ya'ni bular (havo va kabel liniyalari) energiyani kerakli masofalarga uzatishga xizmat qiladi.

Elektr energetika sistemasining elektr energiya ishlab chiqaruvchi, taqsimlovchi va o'zgartiruvchi qismi elektr sistemasi deb ataladi. Elektr sistemasiga generatorlar, taqsimlovchi uskunalar (TU), elektr tarmoqlari va elektr energiyasini qabul qiluvchi uskunalar kiradi.

Elektr tarmoqlari elektr sistemasining bir qismi bo'lib, elektr energiyasini manbadan iste'molchilarga uzatish hamda ular orasida taqsimlash vazifasini bajaradi.

Elektr tarmoqlari elektr uzatish liniyalari, podstansiyalar, taqsimlash punktlaridan tashkil topgandir.

Ko'p miqdordagi elektr energiyasini nisbatan uzoq masofalarga faqat yuqori kuchlanishli liniyalar orqali uzatish iqtisodiy jihatdan foydali hisoblanadi. Bu maqsad uchun generatorlar ishlab chiqargan energiyani yuqori kuchlanishli energiyaga o'zgartirib beruvchi transformatorlar xizmat qiladi.

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

PS lar kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi bo'lishi mumkin. Kuchaytiruvchi PSda energiya past kuchlanishdan yuqori kuchlanishga o'zgartiriladi, pasaytiruvchi PS da esa yuqori kuchlanishdan past kuchlanishga o'zgartiriladi. Elektr energiyasini bir xil kuchlanishda, o'zgarishsiz qabul qilishga va taqsimlashga mo'ljallangan podstansiyalar taqsimlovchi punktlar (TP) deb ataladi.

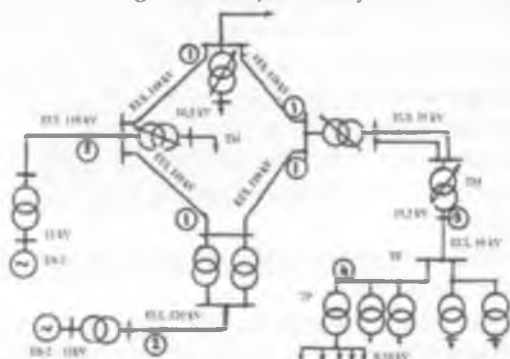
O'z vazifalari bo'yicha elektr tarmoqlarini shartli uch guruhga bo'lish mumkin:

1. Nisbatan katta bo'lmagan, radiusi o'rtacha 30 kilometrgacha bo'lgan hududlarni ta'minlashga xizmat qiladigan 35 kV gacha (35 kV kuchlanish ham kiradi) bo'lgan taqsimlovchi elektr tarmoqlari. Bunga shahar, qishloq, sanoat va boshqa shunga o'xshash elektr tarmoqlarini kiritish mumkin.

2. Uzoq masofalarga xizmat qiluvchi 110 kV va undan yuqori kuchlanishli ta'minlovchi elektr tarmoqlari.

3. Ayrim sistemalarni bir-biri bilan bog'laydigan sistemalararo elektr tarmoqlari.

Ulanishning shartli sxemasi bo'yicha elektr tarmoqlari sho'lasimon va berk zanjirli bo'lishi mumkin. Agar elektr tarmog'i orqali elektr energiyasi bir manbadan olinib, faqat bir tomonga uzatilsa, bunday tarmoq sho'lasimon elektr tarmog'i deb aytiladi. Ikki va undan ortiq manbadan ta'minlanadigan elektr tarmog'i berk zanjirli deb aytiladi.



1.3.1 - rasm. Energetika sistemasi elektr tarmog'ining shartli sxemasi.

Elektr energiyasi elektr stansiyalaridan (ES) yuklanish markazlariga (1.3.1-rasm) bevosita ta'minlovchi elektr tarmoqlarini tashkil etuvchi elektr uzatuv liniyalari (1) bilan yoki ta'minlovchi, qabul qiluvchi transformator podstansiyalari va ularni bog'lovchi elektr uzatuv liniyalari (EUL) (2) orqali uzatiladi. Elektr energiya bilan ta'minlashda ishonchlilikni oshirish uchun ko'pincha ta'minlovchi elektr tarmoqlari berk zanjirli bo'ladi. Qabul qiluvchi podstansiyalar asosan yuklangan holda rostlanuvchi (Yu.H.R.) transformatorlardan tashkil topgan bo'lib, ular taqsimlovchi tarmoqning ta'minlash markazi (TM) sifatida xizmat qiladi. Ta'minlash markazidan elektr energiyasi taqsimlash punktlariga uzatiladi va keyin shu kuchlanishda elektr uskunolari orasida taqsimlanadi yoki transformator podstansiyalariga uzatiladi. Bu yerda esa past kuchlanishga o'zgartirilib, ayrim iste'molchilar o'rtasida taqsimlanadi.

Uzunligi bo'yicha elektr energiyani, TM dan TP ga yoki to'g'ridan to'g'ri podstansiyaga uzatadigan EUL (3) ta'minlovchi deb aytiladi. Uzunligi bo'yicha bir necha transformator podstansiyalari, yoki iste'molchi uskunalar ulangan EUL (4) taqsimlovchi deb aytiladi.

Iste'molchilarni ta'minlash sxemasi energiya manbaining uzoqligiga, berilgan hududning elektr bilan ta'minlash sxemasiga, iste'molchilar joylashgan hududiga, ularning quvvatiga, ishonchliligi va boshqa bir nechta qo'yilgan talablarga bog'liqdir.

Tarmoqning shaklini va sxemasini qabul qilish juda murakkab ish bo'lib, u ishonchlilik, tejamkorlik, ishlatishdagi qulaylik, xavfsizlik va keyinchalik rivojlantirish imkoniyati talablariga javob berishi kerak.

Tarmoqning shakli elementlarining (ES, PS, TU, liniyalar) o'zaro joylashuvi, tarmoqning asosiy qurish rejasi, iste'molchilarning kategoriya va ishonchlilik darajasi bilan aniqlanadi.²

Iшонchlilik darajasi bo'yicha iste'molchilar uch kategoriya bo'linadi.

1-kategoriya iste'molchilar elektr energiyasini ikkita bir-biri bilan bog'lanmagan ta'minlash manbaidan, ikkita ayrim liniyalar orqali olish kerak. Elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi uzilishga ruxsat etiladigan vaqt, faqat zaxiralangan ta'minotni avtomatik ulash vaqtiga teng bo'lishi kerak. Ko'pincha ikki sistemali yagona liniya kerak bo'lgan ishonchlikni ta'minlamaydi, chunki tayanch shikastlanganda, liniya muz bilan qoplanganda, shamolda va shunga o'xshash tabiiy hodisalar ro'y berganda energiya ta'minoti butunlay uzilib qolishi mumkin.

2-kategoriya iste'molchilari uchun ko'pincha ikki ayrim liniyalar orqali ta'minlash nazarga olinadi, lekin elektr uskunalarini tuzilish qoidalari bo'yicha 2-kategoriya iste'molchilarini yakka bir liniya orqali ta'minlashga ruxsat etiladi.

3-kategoriya iste'molchilari uchun energiya ta'minotini bir liniya orqali amalga oshirishga ruxsat etiladi. Elektr energiyasi bilan ta'minlashda tarmoqning zaxiralangan va zaxiralanmagan sxemalaridan foydalanish mumkin.

Zaxiralanmagan tarmoq deb zaxira sifatida qo'shimcha liniya va transformator podstansiyalari bo'lmagan tarmoq aytiladi. Bu guruh 3-

² Steven W Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley - Interscience A John Wiley&Sons, INC Publication, 2007, 260 p.

Eng maqbul sxemani qabul qilish uchun uning bir necha turlari (4-5) ko'rib chiqiladi, kumulyativ xarajat usuli bo'yicha o'zaro taqqoslanib, xarajati eng kam bo'lgan sxema turi tanlab olinadi.

Bunda tanlangan tarmoqning sxemasi ma'lum miqdorda quvvatga va podstantsiyalarning sxemasiga ham bog'liq.

Nazorat savollari:

1. Energetika sistemasi deb nimaga aytiladi?
2. Elektr sistemasi deb nimaga aytiladi?
3. Podstantsiyaning vazifasi nimadan iborat?
4. Yuqori kuchlanishli tarmoqlar qanday turlarga bo'linadi?
5. Zaxiralangan va zaxiralanmagan tarmoqlar deb qanday tarmoqlarga aytiladi?

1.4. Elektr tarmoqlariga qo'yiladigan asosiy talablar

Elektr tarmoqlari elektr energiyani ishlab chiqaradigan joydan elektr iste'molchilari joylashgan joyga uzatib va elektr iste'molchilari o'rtasidagi taqsimlanishiga xizmat qiladi. Bunda elektr tarmoqlariga quyidagi beshta asosiy talab: ishdagi ishonchligiga, sifatiga, tejamkorlikka (iqtisodiylikka), xavfsizlik va ishlatish qulayligiga, keyinchalik kengaytirish mumkinligiga tegishli bo'ladi.

Ishdagi ishonchlilik: elektr tarmoqlarining ishonchliligi deganida biz iste'molchilarni kerakli vaqt bo'yicha to'xtamasdan sifatli energiya bilan ta'minlanishini tushunamiz.

Elektr uskunalarining tuzilishi qoidalariga (EUTQ) asosan, hamma elektr iste'molchilari ishonchlilik darajasi bo'yicha shartli ravishda uch kategoriyaga bo'linadi.

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

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

Uchinchi kategoriyaga uncha mas'uliyatli bo'lmagan iste'molchilar kiradi: masalan, mahsuloti seriyali bo'lmagan kichik sexlar, kichik qishloqlar, kichik korxonalar va hokazo...

Birinchi kategoriyali elektr iste'molchilari EUTQda ko'rsatilgandek, ikki va undan kam bo'lmagan mustaqil manbadan elektr quvvatini olish kerak. Mustaqil deb shunday manba aytiladiki, qachonki unda kuchlanish boshqa manbalarda yo'qotilganda ham saqlanib qoladi.

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

Birinchi kategoriyali iste'molchilar uchun elektr ta'minotini uzilish vaqti zaxiralangan manbani avtomatik ravishda ulash vaqtiga teng.

Shunday birinchi kategoriyali iste'molchilar borki, ular yuqori darajali ishonchlilikni talab qiladi, chunki to'satdan elektr ta'minotida uzilish bo'lsa, insonlar hayoti xavf ostida qolishi, uskunalarni ishdan chiqishi va portlash sodir bo'lishi mumkin. Bunday iste'molchilar uchun albatta quvvati o'chirib bo'lmaydigan iste'molchilar quvvatiga teng uchinchi manba (avariyaga oid) kerak. Ikkinchi kategoriyali iste'molchilar uchun elektr ta'minotini mumkin bo'lgan uzilib qolish qisqa vaqti, navbatchi xodim orqali yoki harakatdagi brigada yordamida zaxiralangan manbani ulash vaqtiga teng. Havo liniyalarini yuqori ishonchlikka ega ekanligi va ularni ish holatini tez tiklash mumkinligini hisobga olgan holda, EUTQ ikkinchi kategoriyali iste'molchilarni bir sistemali havo liniyasi orqali ta'minlashga ruxsat beradi. Ayrim paytda bir kabel (bo'lingan va alohida uzgichlari bor) liniyasi orqali va hatto bir transformator yordamida ta'minlash (sharoitga qarab) ruxsat etiladi.

Uchinchi kategoriyali iste'molchilar uchun elektr ta'minotini uzilib qolish vaqti ta'mirlash yoki shikastlangan elementlarni almashtirish vaqtiga teng bo'ladi, lekin bu vaqt bir sutkadan oshmasligi kerak.

Elektr ta'minotini ishonchligi zaxira qo'yishdan tashqari rele himoyasi va avtomatik uskunalarni ishlashiga bog'liq.

Energiyani sifati Har bir iste'molchi sifatli energiya bilan ta'minlanishi zarur. Bu sifat kuchlanish va chastotani qiymati, uch fazali kuchlanishni simmetriyasi va kuchlanish egri chizig'ini shakli bilan belgilanadi.

Kuchlanishning qiymati Kuchlanishni kerak bo'lgan qiymatdan kamayishi yoki oshishi maqsadga muvofiq emas. Kuchlanishni o'zgarishi generatorlarni elektr yurituvchi kuchi yoki yuklama o'zgarishi tufayli elektr tarmoqlaridagi kuchlanish yo'qotilishini o'zgarishiga bog'liq. Cho'g'lanish

lampalarida va boshqa yorug'lik manbalarida kuchlanishni kamayishi yorug'likni kamayishiga va boshqa noxush holatlarga olib keladi. Kuchlanishni oshishi lampani xizmat muddatini kamaytiradi. Shunday qilib, kuchlanishni oshishi ham, kamayishi ham iqtisodiy chiqimga olib keladi. Eng kam iqtisodiy yo'qotish eng maqbul kuchlanishda bo'ladi. Uskunalar shunday tuzilgan bo'lishi kerakki nominal kuchlanish maqbul kuchlanishga teng bo'lsin.

Buni asinxron motorlar misolida ham ko'rish mumkin.

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

Chastota qiymati. Chastotani o'z qiymatidan og'ishi motorlarning va ular bog'langan qurilmalarning aylanish tezligini o'zgarishiga, bu esa texnologik jarayonlarni izdan chiqishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun, hozirgi vaqtda chastotani mumkin bo'lgan og'ish darajasi faqatgina $\pm 0,1$ Hz qilib qabul qilinadi.

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

Simmetriyani buzilishi teskari va nol ketma-ketligini yoki ularning ikkalasini ham bir vaqtning o'zida paydo bo'lishiga olib keladi. Kuchlanishni teskari ketma-ketligi tokni teskari ketma-ketligini keltirib chiqaradi. Bu esa, o'z navbatida uch fazali motorlar aylanish harakatini sekinlashtirib, quvvat isrofini ko'paytiradi, generator rotorlarini hosil bo'lgan teskari magnit maydoni ketma-ketligi orqali qo'shimcha qizdiradi.

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

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

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

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

Shunday variant optimal hisoblanadiki, shunda "kumulyativi xarajat" eng kam bo'lishi kerak.

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

Xavfsizlikdan tashqari ishlatish qulayliklari hisobga olinishi kerak. Masalan, har xil o'zgartirish qulayliklari, qurilmalar va kabellarni tuzatish va ko'zdan kechirish uchun kerakli yo'llar, yorituv uskunolari, avariya transporti va boshqalar ko'zda tutiladi.

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

Nazorat savollari:

1. Elektr tarmoqlariga qanday talablar qo'yiladi?
2. Energiya sifati deganda nimani tushunasiz?

**1.5. Elektr sistema va tarmoqlarning nominal kuchlanishi.
Kuchlanishni rostdlash tushunchasi**

Texnik uskunalarini standartlash. Ma'lumki, texnikada seriyali ishlab chiqarish imkoniyatiga ega bo'lmoqlik uchun uskunalarini standartlash, ya'ni ularni katta-kichiklik, massa, tok. kuchlanish yoki boshqa parametrlari bo'yicha bir necha turga bo'lib ishlab chiqarish kerak. Texnikada hamma narsa standartlashtiriladi: kuchlanish (1.5.1-jadval), sim va kabe'llarning kesim yuzasi, transformatorlarning quvvati, generatorlar va hokazo. Har qanday uskunalarini tanlashda ko'p hollarda kattaroq o'lchamlarga ega bo'lgan standart uskunalar tanlanadi. Lekin ba'zan shunday hollar bo'ladiki (ko'pincha iqtisodiy tushunchalar bo'yicha), qachonki kattasini emas, balki yaqin qiymatni tanlash maqsadga muvofiqdir. Masalan, hisoblar bo'yicha kabelni kesim yuzasi 105 mm^2 bo'ldi. Qanday 95 mm^2 yoki 120 mm^2 , kesim yuzasini tanlash kerak. Iqtisodiy hisoblar shuni ko'rsatadiki, 95 mm^2 kesim yuzali kabelni tavsiya etmoq to'g'ri bo'ladi.

1.5.1-jadvalda past (220-660 V), o'rta (3-35 kV), yuqori (110-220 kV) va o'ta yuqori (330-1150 kV) kuchlanishli tarmoqlar uchun nominal va ish paytida bo'ladigan eng katta kuchlanishlar keltirilgan. 3 va 150 kV lar,

yangi loyihalanayotgan tarmoqlar uchun iqtisodiy mulahozalarga asosan tavsiya etilmaydi.

Nominal kuchlanish. Elektr sistemasining uskunalari (generatorlar, transformatorlar, liniyalar va boshqalar) mo'ljallangan nominal kuchlanish bilan xarakterlanadi.

Elektr energiya iste'molchilari va generatorlarning nominal kuchlanishi deb, ularni normal sharoitda ishlashi uchun mo'ljallangan kuchlanishga aytiladi.

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

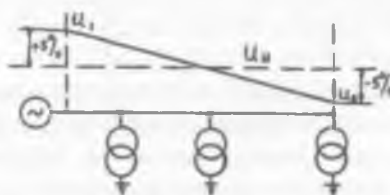
Ammo, elektr tarmoqlarining normal ish holatida elektr iste'molchilarga keltirilgan kuchlanish: nominal qiymatidan og'ishi kerak emas.

50 Hzli uch fazali tok sistemasi kuchlanish nominal qiymatidan og'ishi $\pm 5\%$ dan katta bo'lmasligi kerak (GOST 13109). Bu shuni bildiradiki, uzunligi bo'yicha yuklama taqsimlangan tarmoqning boshidagi kuchlanishi U_1 (1.5.1 – rasm) nominal kuchlanish U dan 5% ga ortiq oshmasligi, U_2 liniya oxiridagi kuchlanish esa U_n dan 5% dan pastga kamaymasligi kerak.

1.5.1-jadval

Tarmoqni va iste'molchilarni nominal kuchlanishi		Iste'mol liniya kuchlanishi			Elektr uskunalarin i eng katta ish kuchlanishi
		Generator kuchlanishi	Transformator kuchlanishi		
Liniya-dagi	Faza-dagi			Birlamchi chulg'am	
Voltda					
220	127	230	220	230	242
380	220	400	380	400	18
650	380	590	560	690	725
Kilovoltida					
3	-	(3,15)	(3) va (3,15)	(3,15) va (3,2)	(3,6)
5	-	5,3	6 va 6,3	6,3 va (6,6)	7,2
10	-	10,5	10 va 10,5	10,5 va 11	12
20	-	21	20 va 21	21 va 22	24
35	-	-	35 va 36,75	38,5	40,5
110	-	-	110 va 115	115 va 121	126
(150)	-	-	(150) va (158)	(158) va (165)	(172)

220	-	-	220 va 230	230 va 240	252
330	-	-	330	330 va 347	362
500	-	-	500	525	525
750	-	-	750	787	787
1150	-	-	1150	-	1200



1.5.1-rasm. Tarmoq kuchlanishini o'zgarish grafigi.

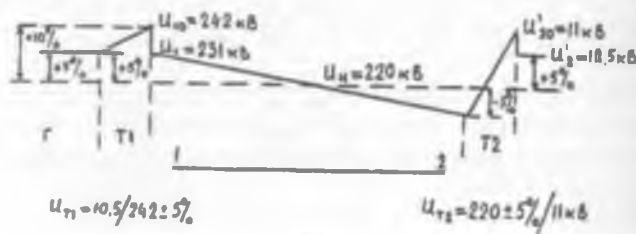
Tarmoqni nominal kuchlanishi deb, uning o'rtacha kuchlanishi qabul qilinadi.

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

Shunday qilib, tarmoqni nominal kuchlanishi elektr iste'molchilarini nominal kuchlanishiga tengdir.

Generatorlarni nominal kuchlanishi tarmoqda bo'ladigan kuchlanish yo'qotilishini hisobga olib tarmoq kuchlanishidan 5% ga oshiq qilib olinadi.

Transformatorlarni nominal kuchlanishi salt yurish holatida ularni birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari uchun olinadi. Transformatorni birlamchi chulg'ami elektr energiyani qabul qiladi va shuning uchun kuchaytiruvchi transformatorida nominal kuchlanishi generatorning nominal kuchlanishiga (1.5.2-rasm), pasaytiruvchida esa - tarmoqning nominal kuchlanishiga teng. U yoki bu kuchlanishli tarmoqni ta'minlovchi ikkilamchi chulg'amni kuchlanishi yuklama vaqtida tegishli tarmoq kuchlanishidan 5% ga yuqori bo'lishi kerak.



1.5.2-rasm. Tarmoq ayrim nuqtalari kuchlanishining o'zgarishi.

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

Bu quvvati 630 kVA va undan kichik transformatorlardan tashqari hamma transformatorlarga tegishlidir. Bunday transformatorlar uchun esa ta'minlovchi tarmoqning uzunligi katta bo'lmaganligi sababli ikkilamchi chulg'amining kuchlanishi tarmoqning nominal kuchlanishidan 5% ga yuqori holda olinadi.

Buni tushuntirmoq uchun 1.5.2-rasmda ikki, 220 kV va 10 kV kuchlanishli tarmoq berilgan va uni uchastkalaridagi haqiqiy kuchlanishini grafik tasviri kattaroq aniqlik uchun bir bazis kuchlanishi U_b masshtabida keltirilgan.

Kuchlanishni bir bazis kuchlanishi U_b ga keltirish uchun keltirilmoqchi bo'lgan kuchlanish U_b/U_N ga teng bo'lgan transformatsiya koeffitsiyentiga ko'paytiriladi. Punktir bilan o'tkazilgan gorizontal liniya butun tarmoqni U_b ga keltirilgan nominal kuchlanishini tasvirlaydi.

Kuchaytiruvchi transformator T-1 birlamchi chulg'amining nominal kuchlanishi generatorning nominal kuchlanishiga teng (10,5 kV), ikkilamchi chulg'amni kuchlanishi $U_{10}=242$ kV bo'lib, transformator to'liq yuklangan paytida, uning qisqichlaridagi kuchlanish $U_{10}=242$ kV. Bu esa liniya uchun uning nominal kuchlanishidan yuqori kuchlanishni ta'minlaydi. Pasaytiruvchi transformatorni birlamchi chulg'amining nominal kuchlanishi ta'minlovchi tarmoqning nominal kuchlanishiga teng bo'lishi kerak ya'ni $U_2=220$ kV, uning ikkilamchi chulg'amining nominal kuchlanishi esa $U'_{20}=11$ kV. Shunday qilib, transformator T-2 ni birlamchi chulg'amiga 220 kV kuchlanish berilganda, uning ikkilamchi chulg'amini qisqichlaridagi kuchlanish yuklama ta'sirida $U'_{20}=10,5$ kV ga teng, ya'ni transformatorga ulangan 10 kV li tarmoqning nominal kuchlanishidan 5% ga yuqori bo'ladi.

Ammo, 1.5.2-rasmdan ko'rinadiki T-2 ning birlamchi chulg'amiga uzatib berilgan kuchlanish $U_2=209$ kV ga teng ya'ni liniyadagi kuchlanish yotilishi hisobiga nominaldan 5% ga pastdir.

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

Kuchlanishni rostdlash tushunchasi. Elektr iste'molchilarining qisqichlaridagi kuchlanishni ruxsat etilgan qiymatlaridan og'ishi tarmoq

ko'rsatkichlarini pasayishiga olib keladi. Energetika sistemasidagi elektr tarmoqlari kuchlanishining darajasiga shu tarmoqlarning energiya o'tkazuv qobiliyati, iqtisodiyligi va iste'molchilarga yetkazib berilayotgan energiya sifatiga bog'liqdir.

Elektr iste'molchilarini kerakli kuchlanish bilan transformatsiya koeffitsiyentini o'zgartirish, tarmoq elementlaridan oqayotgan reaktiv quvvat qiymatini, ayrim elementlar qarshiliklarini o'zgartirish hisobiga ta'minlash mumkin.

Generatorlar yordamida kuchlanishni rostdash, generator imkoniyatiga ega bo'lgan kuchlanishni rostdash diapazoni oralig'ida avtomatik qo'zg'atish regulyatorlari (AQR) yordamida amalga oshiriladi. Rostdash qonuniyatining eng afzal holatini tanlashda texnik-iqtisodiy hisoblar asosida yoki juda yaqin va juda ham uzoqdagi iste'molchilarning mumkin bo'lgan oxirgi yuklamalarini ko'rib chiqib aniqlash mumkin.

Transformatorlar (avtotransformatorlar)da kuchlanishni rostdash transformatsiya koeffitsiyentini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi, buning uchun transformatorlar (avtotransformatorlar)ga chulg'amlar sonining o'zgartirishga imkon beruvchi maxsus moslama o'rnatiladi. Bu uskunalarga bog'liq holda rostdashni yuklama ostida ham (yuklama ostida rostdash, y.o.r.), shuningdek yuklamani uzib ham (qo'zg'atkichsiz qayta ulash) amalga oshirish mumkin.

Sinxron kompensatorlar asosan qo'shimcha reaktiv quvvat manbai sifatida ishlatishga mo'ljallangan, lekin ularni kuchlanishni rostdash uchun ham qo'llash mumkin. Bu vazifani sinxron dvigatellar va statik kondensatorlar bajarishi mumkin, bunda ular ko'ndalangiga reaktiv quvvatini kompensatsiya qilib, manbadan iste'molchilarga oqayotgan reaktiv quvvatni kamaytiradi va buning hisobiga esa liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi kamayadi.

Sinxron dvigatellar avtomatik qo'zg'atish rostlovchi (regulyator) (AQR) bilan ta'minlangan bo'lsa, kuchlanishni rostdash uchun qo'shimcha vosita sifatida ishlatilsa bo'ladi. AQRni narxi qimmat bo'lganligi uchun kichik quvvatli dvigatellarni kuchlanishni avtomatik rostdashda qo'llash, maqsadga muvofiq emas. Qoidaga asosan, bunday dvigatellarni reaktiv quvvatni o'zgarmas miqdorda generatsiya qilishda ishlatish iqtisodiy tomondan foydalidir.³

³ Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley - Interscience A John Wiley & Sons, INC Publication. 2007, 260 p.

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

Statik kondensatorlarni liniyani bo'lib, orasiga ulash (ya'ni bo'y lamaga ulash) tarmoqni reaktiv qarshiligini, demak kuchlanish yo'qotilishini kamaytirishga imkon beradi. Kuchlanish yo'qotilishini kamaytirish natijasida liniyani qabul qiluvchi qismida yuklama o'zgarganda ham, kuchlanish og'ishi kamayadi.

Nazorat savollari:

1. Nominal kuchlanish tushunchasi nimadan iborat?
2. Kuchaytiruvchi transformatorlarni nominal kuchlanishi qanday olinadi?
3. Kuchlanishni rostlash deganda nimani tushunasiz?

1.6. Har xil kuchlanishdagi elektr tarmoqlari neytralining ish holati

Chulg'amlariga elektr tarmoqlari ulangan uch fazali transformatorlarning neytrali yerga ulangan (bevosita yoki tarmoqning sig'imiga moslashtirilgan induktiv qarshilik orqali yoki kuchlanish transformatorlari orqali) yoki neytrali yerdan izolyatsiyalangan.

Agarda transformatorlar chulg'aming neytrali yerdagi ulash qurilmasiga to'g'ridan to'g'ri yoki juda kam qarshilik orqali ulangan bo'lsa, bunday neytral bevosita yerga ulangan deyiladi. Transformator chulg'amiga ulangan tarmoq esa - neytrali betaraf yerga ulangan tarmoq deyiladi.

Neytral yerdagi ulash qurilmasiga ulanmagan bo'lsa, yoki unga o'lchov kuchlanish transformatorlari orqali, yoki tarmoqning sig'im toklarini kamaytirishga (kompensatsiya qilishga) moslashtirilgan induktiv qarshilik orqali ulangan bo'lsa, bunday neytral yerdan izolyatsiyalangan deyiladi. Shu holatda ishlagan tarmoqlar esa neytrali yerdan izolyatsiyalangan tarmoqlarga tegishlidir.

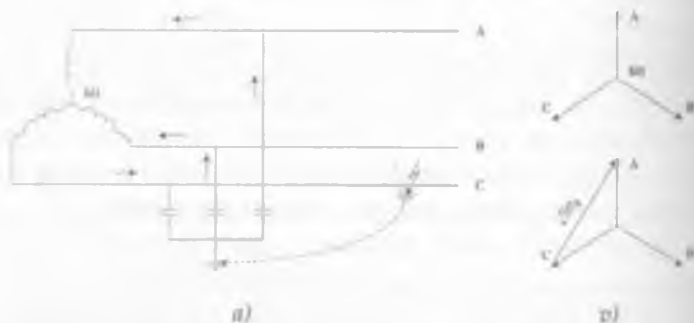
Biror faza yer bilan tutashib qolsa, masalan faza S, tok faza yer bilan tutashgan joydan shikastlanmagan fazalar sig'imga va keyin liniyalardan neytral orqali shikastlangan joyga oqadi (1.6.2-rasm).

Bu toklar katta emas. Biror fazaning yer bilan tutashuvi qisqa tutashuv bo'lmay, odatda liniya uzilmaydi, iste'molchi ish holatida qolib, uni zaxiralangan ta'minotga o'tkazguncha, bir necha soat ishlab turishi mumkin.

1.6.2 b-rasmda normal turg'un holat uchun vektor diagrammasi ko'rsatilgan. Iste'molchi liniya kuchlanishiga ulangan, neytral va yer potentsiallari simmetriyali sistemada barobar bo'ladi. Izolyatsiyaga ta'sir ko'rsatadigan kuchlanish - bu faza va yer orasidagi kuchlanishdir.

Masalan, S fazasi yer bilan tutashdi. Iste'molchini kuchlanishi o'zgarmaydi, u liniya kuchlanishida qoldi. Biroq fazodagi kuchlanish oshadi. Haqiqatdan, agarda normal holatda izolyatsiya faza kuchlanishi ta'sirida bo'lsa (faza va yer orasi), faza S yer bilan tutashganda «yer» S nuqtasiga suriladi (1.6.2.b-rasm) va masalan, A faza va yer orasidagi kuchlanish liniya kuchlanishiga teng bo'ladi, ya'ni $\sqrt{3}$ marta oshadi ($\sqrt{3} U_l$).

b)



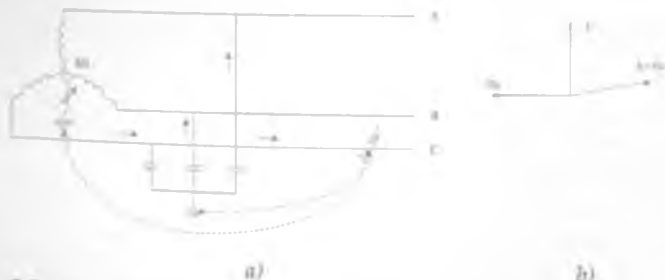
1.6.2- rasm. Neytrali yerdan izolyatsiya qilingan tarmoqning sxemasi (a), normal holatdagi vektor diagrammasi (b) va bir faza yer bilan tutashgan holatdagi vektor diagrammasi(v)

Shunday qilib, neytrali yerdan izolyatsiya qilingan sistemada biror fazani yer bilan tutashuvi iste'molchini o'chirilishiga olib kelmaydi. Lekin izolyatsiya $\sqrt{3}$ marta kattaroq kuchlanishni ko'tarishga mo'ljallangan bo'lishi kerak.

Neytrali kompensatsiyalangan elektr tarmoqlari yerga ulanish toki kam bo'lgan elektr tarmoqlariga tegishlidir. Bunday elektr tarmoqlarining neytraliga yer bilan tutashgan yoy so'ndiruvchi sig'im toklarini kompensatsiyalaydigan (qarama-qarshi yo'nalgan) elektr g'altagi joylashtiriladi (1.6.3a-rasm). Simmetrik sistemada neytral va yer potentsiali bir xil bo'lgani uchun g'altakka tok oqmaydi. U faqat faza sig'implari orasida oqadi (ba'zan sig'implarning bir xil emasligi tufayli $I_c \neq 0$ bo'ladi va uncha katta bo'lmagan tok g'altak orqali oqishi mumkin).

Biror fazani yer bilan tutashuvi tufayli, neytrali yerdan izolyatsiyalangan elektr tarmoqlaridagi kabi qolgan ikki shikastlanmagan fazaning yerga nisbatan kuchlanishi marta oshadi, neytral bilan yer orasidagi kuchlanish esa faza kuchlanishiga teng bo'lib qoladi. Bu kuchlanishlar orasidagi farq tufayli tok shikastlangan joydan g'altakka va bir vaqtning o'zida shikastlanmagan faza sig'implarida (I_c) oqadi. Faza simi yer bilan tutashgan joydagi tok I_L va I_c toklari yig'indisidan iborat bo'ladi. I_L -induktiv, I_c -sig'im xarakteriga egadir, bu toklar bir biriga qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib, bir-birini kompensatsiya qiladi (1.6.3-rasm).

Shikastlangan joyda hosil bo'lgan elektr yoyi anchaga kamayadi va so'nadi, chunki g'altak induktivlikdan tashqari aktiv qarshilikka ham egadir. Shuning uchun, vektor diagrammadan ko'ringanidek I_c va I_L toklari qat'iy 180° ostida emas, balki ozgina kichik burchak ostida yo'nalgandir.



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

Induktiv va sig'im toklari tengligida hosil bo'lgan kompensatsiya rezonans kompensatsiyasi deyiladi. Yerga tutashish tokini mumkin bo'lgan qiymati 10-30

A atrofida bo'lib, tarmoqning kuchlanishiga bog'liqdir. Agar bu tok mumkin bo'lgan qiymatdan katta bo'lsa, yoy faza yer bilan tutashgan joyda o'chmaslik va izolyatsiya shikastlanishi mumkin.

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

Neytrali zaminlangan elektr tarmoqlari O'zbekistonda 110 kV va undan yuqori kuchlanishda ishlatiladi (110 kV li elektr tarmoqlarida faqat bir qism transformatorlarni neytrali yer bilan ulanadi; 220, 330 kV va undan yuqori kuchlanishda hamma transformatorlarning neytrali zaminlanadi).

Neytrali izolyatsiyalangan elektr tarmoqlari 35 kV kuchlanishgacha ishlatiladi.

Neytrali kompensatsiyalangan (yerga tutashuv toki kichik bo'lgan kabel va havo liniyalari) elektr tarmoqlari ham 35 kV gacha bo'lgan kuchlanishda ishlaydi.

Nazorat savollari:

1. Kuchlanish 1000 V gacha bo'lgan elektr tarmoqlar neytralining ish tartibi qanday bo'ladi?
2. Kuchlanish 1000 V dan yuqori bo'lgan elektr tarmoqlarining neytralini ish tartibi qanday bo'ladi?
3. Neytrali izolyatsiyalangan uch fazali tarmoqlarning afzalliklari qanday?

II. Elektr tarmoqlari liniyalarining tuzilishi

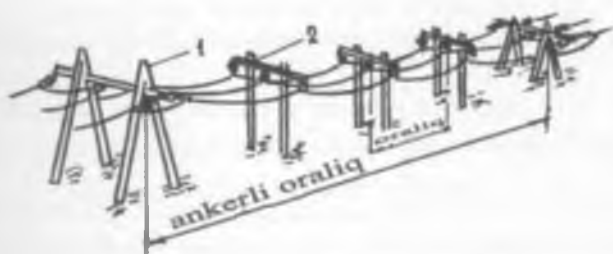
2.1. Havo liniyalari to'g'risida umumiy ma'lumotlar

Havo elektr uzatuv liniyasi (EUL) deb ochiq havoda joylashgan izolyatorlar va armaturalar yordamida tayanchlarga yoki muhandislik inshootlari kronshteynlariga mahkamlangan simlar orqali elektr energiyani uzatish qurilmalari aytiladi.

Havo liniyasining (HL) asosiy elementlari bu elektr energiyani uzatishga mo'ljallangan simlar, tayanchlarni yuqori qismiga ulangan simlarni atmosferada bo'ladigan o'ta yuqori kuchlanishdan himoya qiladigan himoya trosarlari, simlar va izolyatorlarni osishga mo'ljallangan tayanchlar, simlarni tayanchlardan izolyatsiya qiladigan izolyatorlar, simlar va trosarlarni izolyator va tayanchlarga mahkamlaydigan hamda ularni birlashtiradigan liniya armaturalaridir.

O'zining tuzilishi jihatidan HL bir va ikki sistemali bo'lishi mumkin. Sistema deganimizda uch fazali HL dagi uchta simni tushunamiz. HL sini tuzilishi, tayanchlarni turi, oraliq uzunligi, tashqi o'lchami, faza simlarining joylashishi va izolyatorlar tizmasining (girlyandasining) turlari bilan tairiflanadi.

Havo liniyalarining simlari va himoya trosarlari ularning yo'nalish sharoitiga qarab ankerli tayanchlarga mustahkamlanishi va kerakli taranglikda tortilishi kerak. (2.1.1-rasm)



1 - ankerli tayanch, 2 - oraliq tayanchlari.

Simlar va himoya trosarlarni kerak bo'lgan balandlikda tutib turish uchun ankerli tayanchlarning orasiga oraliq tayanchlari o'rnatiladi (2.1.1-rasm).

Qo'shni oraliq tayanchlari (2) orasidagi masofani oraliq uzunligi (yoki oddiy oraliq) va HL yo'nalishidagi qo'shni anker tayanchlari (1) orasidagi masofani anker oraliq'i yoki anker uchastkasi deyiladi. Bulardan tashqari yana o'tish, shamol, og'irlik va tashqi o'lcham oraliqlari bo'ladi.

O'tish oraliq'i deb shunday oraliqqa aytiladiki, uni bo'yicha HLsi muhandislik inshootlari (yo'llar, kanallar, liniyalar) bilan kesishgan bo'ladi.

Shamol oraliq'i deb tayanchlar shamol ta'sirini o'ziga qabul qiladigan oraliqqa aytiladi.

Og'irlik oraliq'i deb simlar va troslar massasini tayanch o'z ustiga oladigan uchastka uzunligiga aytiladi.

Tashqi o'lcham oraliq'i bu shunday oraliqki, uning uzunligi tayanch juda tekis, yuzaga o'rnatilganida, simlardan vergacha bo'lgan vertikal tayanchli o'lchamni yoki oddiy tashqi o'lchamni katta-kichikligini tasvir etadi. Bunda liniyani vertikal tashqi o'lchami (2.1.2-rasm) deb simdan vergacha, suvgacha, yoki kesib o'tilayotgan muhandislik inshootlarigacha bo'lgan eng kichik masofaga aytiladi.

Vertikal bo'yicha sim ulangan joydan oraliqdagi simning eng past nuqtasigacha bo'lgan masofa (f) sim osmasining hartumi (strela proveza) deb aytiladi.



2.1.2-rasm. HL sini tashqi o'lcham oralg'ini asosiy xarakteristiklari

HL sini tashqi o'lchami liniyani tagida yuruvchi insonlar va transportlarning xavfsizlik qoidalariga bo'yicha o'rnatiladi va HLsining nominal kuchlanishiga, joyning xususiyatiga va kesib o'tayotgan inshootning turiga bog'liq bo'ladi.

HL fazasining tuzilishi asosan simlarning markasi va kesim yuzasi bilan, ularning fazadagi soni, joylanishi va ular orasidagi masofa bilan aniqlanadi. Agarda faza bir emas, balki ikki va undan ko'p simlardan bajarilgan bo'lsa, uni bo'lingan deb aytiladi. Fazasi bo'lingan HLlari o'ta yuqori kuchlanishlar uchun quriladi. Bu holatda bir fazada 330 kV kuchlanishda 2ta sim, 500 kVda uchta, 750 kVda to'rt-beshta, 1150 kVda sakkiz-o'n ikkita sim ishlatiladi.

HL larning tuzilishi iqlim sharoitlariga: harorat, shamol, muzlash, gazlar va tuzlarning yig'ilishi va hokazolarga bog'liqdir.

HLsi tuzilishining o'lchamlari 2.1.1 - jadvalda keltirilgan.

2.1.1-jadval

Nominal kuchlanish kV	Simlar orasidagi masofa, m	O'tish oralg'i, M	Tayanchlar balandligi, m	Tashqi o'lcham, m
1	0,5	40-50	8-9	6-7
6-10	1,0	50-100	10	6-7
35	3	150-200	10	6-7
110	4	170-250	13-14	6-7

220	7	250-350		7-8
330	9	300-400	25-30	7,5-8
500	12	350-450	25-30	8
750	15	450-750	30-41	10-12
1150	21,7-26	-	33,1-54	14,5-17,5
+750	22,4-40,4	-	28,1-38,4	10,5-11,5

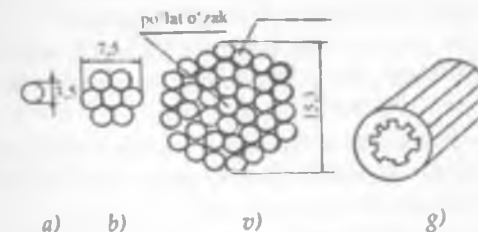
Nazorat savollari:

1. Havo liniyasi deganda nimani tushunasiz?
2. Havo liniyasining asosiy elementlari nimalardan iborat?
3. Havo liniyasining tashqi o'lchami deganda nimani tushunasiz?

2.2. Havo liniyalarining simlari va trosslar

Havo liniyalari ochiq (izolyatsiya qilinmagan) simlardan tayyorlanadi.

Tuzilishi bo'yicha simlar umumiy yuzali bir toladan iborat simga (2.2.1 a- rasm) va bir xil metalli yuzasiga qarab 7-19 va 37 o'zaro buralgan tolalardan iborat ko'p tolali simlarga bo'linadi (2.2.1 - b rasm)



2.2.1 -rasm. HL simlarning tuzilishi.

Ikki xil metall yoki metall qotishma tolalaridan iborat ko'p tolali bimetal simlar (2.2.1 v-rasm), o'rtasi teshik simlar (1.5.3 g-rasm) va spiral karkasli kengaytirilgan simlar ham tarqalgan.

Simlarni kesim yuzasiga Davlat standarti bo'yicha o'lcham qo'yiladi.

Simlar va trosslarga quyidagi talablar qo'yiladi: simlarning materiali juda yaxshi elektr o'tkazuvchanligiga ega bo'lishi kerak; simlar va trosslar yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo'lishi kerak bu o'z navbatida

tayanchlarning balandligini kamaytiradi yoki oraliq masofani uzaytiradi va qurilishiga iqtisodiy jihatdan ta'sir qiladi.⁴

Simlar va trosning materiali atmosferadan yog'iladigan quyqalar, sanoat korxonalarining atmosferani ifloslantirish va dengiz qirg'og'idagi tuz cho'kmalari tufayli hosil bo'ladigan korroziyaga chidamli bo'lishi kerak.

Simlar va troslar tejamkorlikka bo'lgan shartni qoniqtirishi kerak (bu maqsad uchun noyob bo'lmagan va ancha arzon metallardan tayyorlangan simlarni ishlatish kerak: alyuminiy, po'lat, maxsus qotishmalar).

Mis simlar yuqori elektr o'tkazuvchanligiga ega ($\gamma=53/3$ m/Om mm²) solishtirma qarshiligi $\rho=18/8$ Om mm²/km. Mis simlarni payvandlash va ulash osondir, atmosfera ta'siriga, havodagi har xil kimyoviy qo'shilmalardan bo'ladigan korroziyaga barqaror bo'lib, kerakli mexanik mustahkamlikka egadir (uzilishga bo'lgan qarshilik $\sigma = 360-400$ mPA). Ammo, mis kamyob metall bo'lganligi uchun, hozirgi paytda HLLarida ishlatilmaydi. Kontaktli tarmoqlarda va maxsus ishlab chiqarish tarmoqarida ularni ishlatishga ruxsat etiladi.

Mis simlar nominal kesim yuzasini qo'shib M harfi bilan belgilanadi.

35 mm² nominal yuzali mis sim M-35 qilib belgilanadi.

Alyumin simlar mis simlarga nisbatan 1,6 marta kichik solishtirma o'tkazuvchanlikka va bunga mos ravishda kattaroq, solishtirma qarshilikka $\gamma=34,7$ m/Om*mm², $\rho=18/8$ Om mm²/km egadir.

Mis simlarga nisbatan alyumin simlar ancha kam mexanik mustahkamlikka ega, bu ularning asosiy kamchiligidir. Ammo, alyuminni ishlab chiqarish misga nisbatan arzon, uncha kamyob emas, shuning uchun HLLarning simlarini tayyorlashda keng ishlatiladi. Alyuminning mustahkamligi kam bo'lganligi sababli alyumin simlari ko'p tolalik qilib tayyorlanadi va ularni osma hartumini kamaytirish uchun liniya, tayanchlari orasidagi masofani qisqartirib osiladi. A yoki A_n harfi bilan nominal yuza A-50 kabi belgilanadi.

Alyumin simlar atmosfera ta'siriga yaxshi qarshilik qilib, havoning zararli qo'shimchalarining ta'siriga yetarli bardosh beradi. Shuning uchun dengiz qirg'oqlari, tuzli ko'llar va kimyoviy korxonalar yaqinida qurilayotgan havo liniyalari uchun korroziyadan himoya qilingan alyumin simlar (belgi AK-alyumin, korroziyaga chidamli) tavsiya etiladi.

⁴ Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley - Interscience A John Wiley&Sons, INC Publication. 2007, 260 p.

Po'lat simlar $\sigma = 550-700$ mPA katta mexanik mustahkamlikka ega bo'lib bir tolali hamda ko'p tolali bo'ladi. Po'lat simlarning solishtirma qarshiligi alyumin simlarga nisbatan ancha katta va o'zgaruvchan tok tarmoqlarida u simdan oqayotgan tokning qiymatiga bog'liq bo'ladi. Po'lat simlar uncha katta bo'lmagan quvvatlarni mahalliy tarmoqlarda 10 kVgacha bo'lgan kuchlanishda uzatish uchun, qachonki alyumin simlar bilan qurilgan liniyalarni foydasi kamroq bo'lsa qo'llaniladi. Po'lat simlar va trosning asosiy kamchiligi korroziyaga bardosh berolmasligidir, bundan qutilish uchun ular rux bilan qoplanadi.

Kesim yuzasi jihatidan bir-biriga teng po'lat-alyumin va alyumin simlarning qarshiligi bir xildir, chunki elektr hisoblarda po'lat alyumin simlarni po'lat o'zagining o'tkazuvchanligi simni alyumin qismining o'tkazuvchanligiga nisbatan juda kichik, bu esa uni 110 kV va undan yuqori kuchlanishli havo liniyalarida qo'llanishiga qulaylik tug'diradi.

Sanoatda quyidagi belgili po'lat-alyumin simlar ishlab chiqariladi: AS (alyuminning po'latga nisbati 6,5-6,0:1), ASU (mustahkamligi kuchaytirilgan, alyuminning po'latga nisbati 4,0-4,5:1 oralig'ida). ASO (yengillashtirilgan, alyumin va po'lat kesim yuzalarining nisbati 8:1 ga yaqin), ASK (korroziyaga chidamli, mis simlarning o'rniga ishlatiladi) va diametri oshirilgan po'lat alyumin simlar.

Teshik simlar (mis va alyumin) ayrim yassi simlarning ariqchasimon o'yiqlik joyida o'zaro ulanganligini ifodalaydi, bu esa ularni tuzilish jihatidan mustahkamligini ta'minlaydi (2.2.1g-rasm). Bunday simlarni tayyorlash murakkab va ishlatishda noqulaydir. Shuning uchun ular faqat 330 kV va undan yuqori kuchlanishli podstantsiyalarda shinalar sifatida qo'llaniladi.

Troslar HLLarini atmosferadagi o'ta yuqori kuchlanishlardan va chaqmoq urishidan saqlash uchun va yana aloqa liniyalarga qilinadigan ta'simi kamaytirish uchun mo'ljallangan. Troslar tayanchlarning eng yuqori nuqtasiga osiladi va natijada chaqmoqni elektrsizlanishi liniyada bo'lmay, balki trosda bo'ladi va razryad toki tayanchlar orqali yerga bevosita ulanganligi tufayli yerga o'tadi.

110 kV va undan kichik kuchlanishli HLLarida troslar PS larga kirishda ishlatiladi, bu esa liniya simlarni PSga yaqin joyda to'silib qolishidan (chaqmoq sababli qisqa tutashuvdan) saqlaydi. 110 kV va undan yuqori kuchlanishli HLLarida troslar liniyaning butun uzunligi bo'yicha tortiladi.

Chaqqoqdan saqlovchi troslar TK belgili bo'lib, rux bilan qoplangan ko'p tolali po'lat simdan tayyorlanadi, kesim yuzasi 35,50 va 70 mm² bo'ladi.

Nazorat savollari:

1. Havo liniyasi simlari qanday tayyorlanadi?
2. Mis alyumin va po'lat simlar qayerlarda ishlatiladi?
3. Troslar qanday materialdan tayyorlanadi va nima uchun ishlatiladi?
4. Alyumin-po'lat simlarda nima uchun po'lat o'zak ishlatiladi?

2.3. Havo liniyalarining tayanchlari

Tayanchlar simlar va troslarni yerdan yoki suvdan kerakli bo'lgan balandlikda osish uchun qo'llaniladi.

Materialning turiga qarab tayanchlar yog'ochli, metalli yoki temir-betonli bo'lish mumkin.

Yog'och tayanchlar arzon va ishlab chiqarilishi osondir. Ammo, ular jiddiy kamchilikka egadir, yani 2-5 yil ichida yog'och chirib, tayanchrd ishdan chiqarishi mumkin. Ish muddatini uzaytirish uchun ularga kim-yoviy vositalar (kreozot va b.q.) singdiriladi. Bu tayanchlar chirishining oldini olib, ularning ish muddatini 20 yilgacha cho'zadi.

Hozirgi vaqtda keng ko'lamda temir-beton tayanchlari ishlatilmoqda, chunki ular zanglash va chirishga uchramaydi, ishlatishda qulay.

Temir-beton tayanchlarning kamchiligi-og'irligining kattaligidir, bu ularni qurish, jihozlash va yetkazib berishda qiyinchilik tug'diradi.

Metall tayanchlarning tayyorlash uchun oddiy uglerodli po'lat ishlatiladi. Metall tayanchlarning asosiy kamchiligi-ayniqsa, sanoat mintaqasida va yana dengiz, tuzli ko'llar qirg'oqlari yaqinida, zanglashligidir. Tayanchlarni tayyorlash uchun maxsus zanglamaydigan po'latlarni ishlatishning kelajagi porloqdir, chunki bunda tayanchning mustahkamligi oshishi bilan birga og'irligi jiddiy kamayadi va rux bilan qoplash talab qilinmaydi.

Turiga qarab HLLarini tayanchlari ikki asosiy xilga: oraliq va ankerliga bo'linadi. Oraliq tayanchlarida simlar osiltirib qo'yiladi va ular normal ish holatida liniyaning hamma elementlari og'irligini, sim atrofidagi muzning og'irligini va shu bilan liniyaning yo'nalishiga perpendikulyar shamolning bosimini o'z ustiga oladi.

Oxirli tayanchlar ankerli qilib bajariladi, PSlar yoki elektr stansiyalarni oldiga o'rnatiladi va ulardan bir necha liniyalar ajralib ketadi: shuning uchun ularning mustahkamligi sim va troslarning bir tomonli tortilish kuchlarini ko'zda tutgan holda hisoblanadi.

O'tish tayanchlari har xil muhandislik inshootlari va tabiiy to'siqlardan (ko'priklar, ko'llar, daryolar, tog'lar va b.q.) va boshqa HLLaridan o'tishni ta'minlash uchun xizmat qiladi. O'tish tayanchlari yoki ular bilan qo'shni tayanchlar ankerli oxirli tayanch bo'lishi kerak.

Transpozitsiyali tayanchlar--bu faza simlarining joyini o'zgartirishga imkon beradigan (transpozitsiya qilish) qo'shimcha izolyator tizmalari va konstruktiv elementlarga ega bo'lgan ankerli tayanchlardir.

Transpozitsiya 100 kmdan uzun bo'lgan 110 kV va undan yuqori kuchlanishli liniyalarda induktivlik va sig'im qiymatlarini va shu tufayli kuchlanish pasayishini tenglashtirish uchun amalga oshiriladi, ya'ni har bir fazaga tegishli simlar liniyaning uzunligi bo'yicha tayanchlardagi uch

fazaning joyini (2.3.1-rasm) ketma-ket va ko'p marta egallab chiqadi.

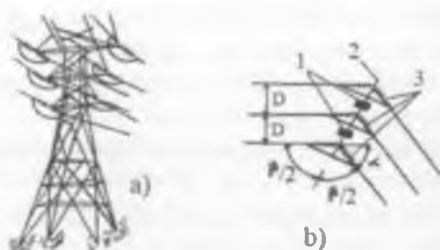
Tarmoqlaydigan tayanchlar tarmoqlangan simlarni asosiy liniyaga ulash va ajratish uchun xizmat qiladi.

Tayanchlar-liniyalarning osilgan sistemalariga (bir sistema-liniyaning uch fazasi) qarab bir sistemali va ikki sistemali tayanchlarga bo'linadi.



2.3.1-rasm. HL sini transpozitsiya qilingandagi o'zgarishi.

Ankerli tayanchlar boshqa hamma tayanchlar oralig'idagi simlar va tros'larning tortilish kuchlarini butunlay o'ziga qabul qiladi. Ular HLLarni juda mas'uliyatli (liniyaning oxirida, uning to'g'ri uchastkalarining oxirida, suv havzalarini, temir yo'llarning, avtomobil trassalarining kesishgan joylarida va b.q.) nuqtalarida simlarni qattiq mahkamlash uchun o'rnatiladi.



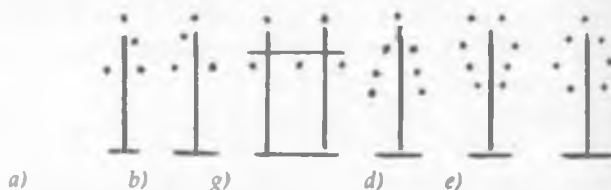
2.3.2-rasm. Burchakli tayanchlar-a, EULsi burilish burchagi-b.

1- tayanch oyog'i: 2- traversa: 3- xalqa.

Simlar ankerli tayanchlarga tortilish kuchlarini o'ziga qabul qiladigan izolyatorlar tizmasi orqali mahkamlanadi.

Vazifasiga ko'ra tayanchlar burchakli, oxirlili, o'tishli, transpozitsiyali va tarmoqlaydigan tayanchlarga bo'linadi.³

Burchakli tayanchlar (2.3.2-rasm) HLlarning burilish nuqtalariga qo'yiladi. Liniyaning burilish burchagi deb, (2.3.2 b - rasm) ichki burilish burchagi β ni 180° gacha to'ldiruvchi burchakka aytiladi.



2.3.3- rasm. Bir va ikki sistemali HLlarning simlar va trosarlarni tayanchlarda joylashishi.

Bir sistemali tayanchlarda simlar uchburchakning cho'qqisida yoki gorizontaal tekislikda (2.3.3 a-v rasm), ikki sistemalida esa to'g'ri va teskari "Archa" ko'rinishida va yoki "bochka" (2.2.3 g-e rasm) ko'rinishida joylashadi. To'g'ri "archa" ko'rinishidagi tayanchlarda jihozlash qiyin bo'lganligi uchun, juda kam qo'llaniladi. Teskari "archa" oson jihozlangan bilan ikki himoya trosini talab qiladi. Simlarni: "bochka" simon joylash juda keng qo'llanilmoqda. HL larni nominal kuchlanishga qarab simlar orasidagi masofa 2.1.1 - jadvalda ko'rsatilgan.

³ Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley - Interscience A John Wiley&Sons, INC Publication. 2007, 260 p.

Nazorat savollari:

1. Qaysi holatlarda ankerli va oraliq tayanchlari ishlatiladi?
2. Tayanchlarni tayyorlash uchun qanday materiallar ishlatiladi?
3. Havo liniyalarida qaysi holatlarda transpozitsiyali tayanchlar qo'llaniladi?
4. Havo liniyasi simlari tayanchlarda qanday joylashadi?

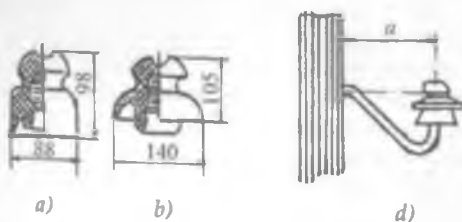
2.4. Izolyatorlar va liniyali armaturalar

Izolyatorlar simlarni tayanchlarga mahkamlash uchun va kuchlanish ostidagi simlar bilan tayanchlar orasida kerakli izolyatsiya oralig'i hosil qilish uchun ishlatiladi. Liniya izolyatorlari chinni va shishadan tayyorlanadi. Har bir izolyator xususiy izolyatsiya elementidan, sim va troslarni izolyatorga, izolyatorni esa tayanchga mahkamlaydigan metall armaturadan tashkil topgan.

Shishali izolyatorlar chinniga nisbatan yuqori mexanik mustahkamlikka, kichik og'irlikka ega va ishlatishda, ko'z bilan nazorat qilib nuqsonlarini topishda osondir. Hozirgi vaqtda o'ta yuqori kuchlanishli HLLarida izolyatsiya qiladigan elementiga faqat toblangan shishadan tayyorlangan izolyatorlar o'rnatiladi.

Konstruktiv tuzilishiga qarab, liniya izolyatorlari shtirli, osma va sterjen shaklida bo'ladi.

Shtirli izolyatorlar kuchlanishi 35 kV gacha bo'lgan HLLarida qo'llanilib, bunda 6-10 kV kuchlanishga ular bir butun holatida yakka izolyatsiya materialidan tayyorlanadi (2.4.1 a-rasm), 20-35 kV kuchlanishga qo'llaniladiganlari esa ikkita,

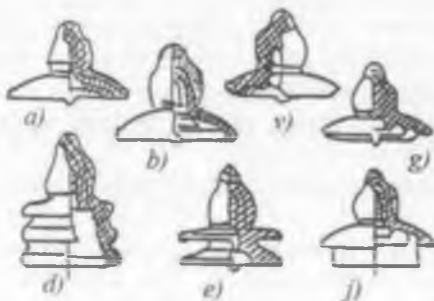


2.4.1-rasm. Shtirli izolyatorlar (a-b) va ularni tayanchlarga ilmoqar yordamida mahkamlanishi (d)

sement bilan birlashtirilgan qismdan iborat bo'lib tutashgan joyi namga chidamli lak bilan qoplangan bo'ladi (2.4.1 b-rasm). Tayanchlarga izolyator shtir yordamida mahkamlanadi (2.4.1 d- rasm).

Osma izolyatorlar shtirli izolyatorlarga nisbatan ancha yuksak mexanik xususiyatlarga egadir. Ular 35 kV va undan yuqori kuchlanishli HLLarida qo'llaniladi. PF (osmali, chinni) yoki PS (osmali, shisha) izolyator xillari toza atmosfera hollarida qo'llaniladi, PFG, PSG xillari ifloslanish darajasi yuqori bo'lgan rayonlardagi HLLarida o'rnatiladi.

Osma izolyatorlar (2.4.2-rasm) tutib turuvchiga (simlarni oraliq tayanchlariga mahkamlash uchun) va tortib turuvchi (simlarni ankerli tayanchlarga mahkamlash uchun) sistemalarga yig'iladi. Sistemalardagi izolyatorlarning soni liniyaning kuchlanishiga, atmosferaning ifloslanish darajasiga, tayanchning materialiga va qo'llanilayotgan izolyatorning turiga borliq. Tortib turuvchi sistemalar 110 kV kuchlanishgacha bo'lgan HLLarida qo'llanilganida, ancha yengil sharoitda ishlaydigan osma tizmalariga nisbatan bitta ortiqcha izolyatorli bo'ladi.



2.4.2 -rasm . Osma izolyatorlar. a,b - shishadan tayyorlangan (PS); v,g- chinnidan tayyorlangan (PF); d,e-ifloslangan rayonlar uchun chinnidan tayyorlangan, j- xuddi shu maqsad uchun faqat shishadan tayyorlangan.

Sterjen shaklidagi izolyatorlarni ham osma, ham shtirli qilib ishlatish mumkin. Sterjen shaklidagi izolyatorning shtirli turi butun silindr yoki bir xil joylashgan qovurg'ali konus shaklini ifodalaydi.

Sterjen shaklidagi izolyatorlarning osma xili (2.4.2- rasm) bir xil joylashgan oddiy yoki vint ko'rinishdagi qovurg'asi bo'lgan uzun sterjendan iboratdir.

Sterjen izolyatorlarning kamchiligi - yuqori bo'lmagan mexanik mustahkamligi, bu esa o'z navbatida liniyaning ishonchligini kamaytiradi.

Nazorat savollari:

1. Havo liniyalarida izolyatorlarni vazifasi nimadan iborat?

2. O'zining vazifasiga ko'ra izolyatorlar necha turga bo'linadi?
3. Izolyatorlar uchun qanday materiallar ishlatiladi?

2.5. Kabellarni tuzilishi va kabel liniyalari

Kabel deb, germetik qobiqqa joylashgan, ustiga, kerak bo'lganida, himoya qoplamasi qo'yilgan bir yoki bir necha izolyatsiya qilingan tok o'tkazuvchi sim tomirlarining yig'indisiga aytiladi.

Kabellar kuchli tok va nazorat kabellariga bo'linadi. Ikkinchisi elektr signallarini uzatish, o'lchash va boshqarish vazifalari uchun ishlatiladi.

Kuchli tok kabellari kuchlanishi, kesim yuzasi, sim tomirlarining soni va yana kabelni o'rab olgan materiallarning xili (alyumin, qo'rg'oshin va b.q.) bilan farq qiladi. Kabelning asosiy elementlari - tok o'tkazuvchi sim tomiri 1, tomir izolyatsiyasi 2, o'ralgan jut tolasi 3, belbog' (poyasnaya) izolyatsiyasi 4, qobiq 5, to'qima qatlami 6, zirh 7, bitumli qoplama 8. (2.5.1-rasm).



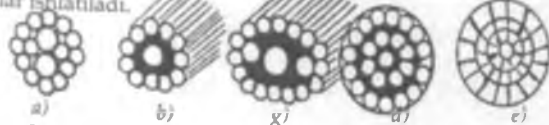
2.5.1-rasm. Kabel ko'ndalang kesim yuzasining ko'rinishi.

Kabelning sim tomiri deb bir, yoki bir necha buralgan, ustiga faza izolyatsiyasi o'ralgan simlar (tolalar)ga aytiladi. Tok o'tkazuvchi sim tomirlar mis va alyumindan tayyorlanadi.

Kabel sim tomirlarning kesim yuzasi to'garaksimon (2.5.2 a-rasm), segmentli (2.5.2 v-rasm), yoki sektor ko'rinishda bo'lib, bunda sim tomiri tig'izlanmagan. (2.5.2 g-rasm) hamda tig'izlangan (2.5.2 d-rasm) bo'lishi mumkin. Kabellar tomirining soniga qarab bir, ikki, uch va to'rt sim tomirli kabelga bo'linadi.

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

Kabellarda izolyatsiya materiallari uchun rezina, kabel qog'ozi va plastmassalar ishlatiladi.



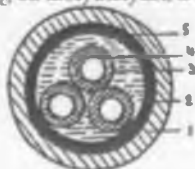
2.5.2-rasm. Kabelning tok utkazuvchi sim tomirlarining har xil ko'rinishi.

Tuzilishi jihatdan 110 kV va undan yuqori kuchlanishli kabellar markaziy moy o'tkazish kanali bo'lgan bir sim tomirli yoki moyi po'lat trubada bo'lgan uch sim tomirli bo'lishi mumkin. Moyining bosimini ushlab turish uchun maxsus ta'minlash punktlaridan foydalaniladi.

Past moy bosimli kabellar 110 kV kuchlanishli tarmoqlarda juda keng tarqalgan. Bu bir sim tomirli, markaziy moy o'tkazish kanali bor kabellardir. 220-500 kVli kabel liniyalarini qurish uchun yuqori bosimli moy bilan to'ldirilgan kabellar ishlatiladi. Bunday kabel (2.5.3-rasm) 1,6 MPa bosim ostida moy bilan to'ldirilgan po'lat trubani (1) ichida joylashgan uchta bir fazali kabeldan (4) tashkil topgan.

Rasmda:

3-qog'oz izolyatsiyasi, 2- yuza ekrani, 5- latun tasmasi.



2.5.3-rasm. Moy bilan to'ldirilgan yuqori kuchlanishli kabelning tuzilishi.

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

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

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

Kabel kanali deb kabel yotqizishga mo'ljallangan usti yopiq yer to'laga aytiladi. Bu kanalda insonlar yurishi mumkin bo'lmaydi va kabellarni joylash, remont va nazorat qilish vazifalari faqat kabelni usti ochiq holda bajariladi.

Ko'p holatlarda maxsus inshootlar qo'llanmasdan kabellar chuqur handaklarga to'g'ridan to'g'ri yotqiziladi. Buning uchun handakka sof tuproq qatlami yoki qum 110 mm qalinlikda yotqiziladi. U qatlamning ustiga kabel yotqiziladi, ustidan mexanik shikastdan saqlash uchun g'isht yoki plita yopiladi, keyin handak tuproq bilan to'ldiriladi.

Moy bilan to'ldirilgan kabellarda moyning ta'minlovchi yer usti yoki ostida qurilgan punktlar, tegishli uskunalar (ta'minlash blok va agregatlari, bosim baklari va b.q.) bilan jihozlanadi.

Nazorat savollari:

1. Kabellar havo liniyalariga nisbatan qanday afzalliklarga ega?
2. Kabel qobig'i qanday materialdan tayyorlanadi?
3. 110 kV va undan yuqori kuchlanishli kabellarda sovitish uchun moy qayerdan o'tkaziladi?

III. Elektr sistemasi xarakteristikasi va elementlari

3.1. Iste'molchilar yuklamasi, yuklamalar grafigi

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

Hisoblar uchun dastlabki asosiy ma'lumotlar, bu iste'molchilarni yuklamalari, stansiya va podstansiyalar joylashgan mintaqalar to'g'risidagi ma'lumotlardir.

Iste'molchilar yuklamasi o'zgarmas qiymatga ega bo'lmay, balki u vaqt, oy, yil bo'yicha va fasllarga qarab o'zgarib turadi. Bundan tashqari xalq xo'jaligini rivojlanishi va aholi farovonligini oshishi tufayli yuklamalarni muntazam ravishda o'sishi mavjud. Masalan, hozirgi vaqtda televizorlarni o'zi 1940-yillarda bo'lgan mamlakatdagi hamma elektr stansiyalarni quvvatiga teng quvvatni iste'mol qiladi.

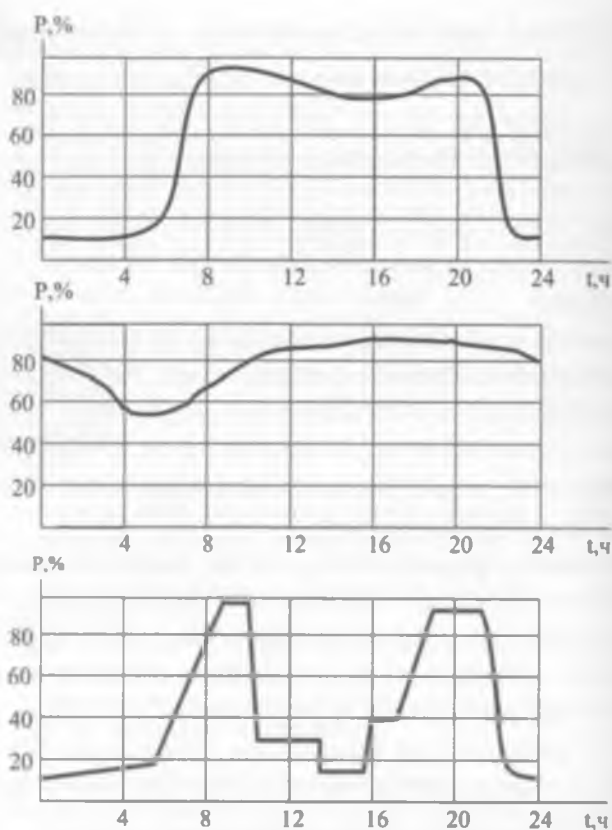
Elektr energiyaning iste'mol qilish tartibiga energetika uskunalari; ES, EUL va transformator podstansiyalarini ishlash tartibi bog'liqdir.

Elektr yuklamalari grafigi deb, abssissa o'qida vaqt va ordinata o'qida esa yuklama o'lchamida, tokda yoki yuklama maksimumiga nisbatan foizda qo'yilgan grafik aytiladi va bu qandaydir bir keltirilgan vaqt bo'yicha elektr energiyani qabul qilingan miqdori haqida taassurot beradi.

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

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

Masalan 3.1.1 a,b,v-rasmlarda mashinasozlik zavodining (a), kimyoviy ishlab chiqarishning (b), maktab yoki institutning (v) grafiklari keltirilgan.



3.1.1-rasm. Iste'molchilarning har xil shakllardagi yuklamalar grafigi.

Rasmdan ko'rinib turibdiki bu grafiklar bir-birlaridan ancha farq qiladi.

Yuklamalar grafiklari asosida elektr uskunalari va elektr tarmoqlarini ishlash tartibini tahlil qilish va hisoblash, har bir vaqt oralig'ida elektr tarmoqlarida yuklamani oshishi va rivojlanishini hisobga olib, elektr iste'moli tartibini yaxshilash chora-tadbirlari ko'riladi. Yuklamalar grafigi elektr qabul qiluvchilarni ko'rilayotgan hisoblash oralig'ida iste'mol qilayotgan quvvatini rejalashtirish uchun sutkalik eng katta aktiv quvvatni aniqlashga kerak bo'ladi.

Elektr tarmoqlari yuklamalarini loyihalashtirishda ayrim va gruppalar elektr qabul qiluvchilarni andazali grafiklari asos qilib olinadi. Andazali

grafiklar ko'p sonli bir xil ko'rinishli elektr iste'molchilari uchun o'lchov va o'zi yozadigan asboblari ko'rsatkichlari asosida quriladi. Sutka bo'yicha tajribadan bir xil olingan natijalarni ishlab chiqish, ko'rilyotgan elektr iste'molchilari uchun quvvatni o'rtacha qiymatini aniqlash va yaqinlashtirilgan andazali grafigini qurish imkonini beradi.

Reaktiv quvvat iste'molchilari uchun elektr tarmoqlarini loyihalashda quvvat koeffitsiyenti qiymatini aktiv quvvatni eng katta va eng kichik qiymatlari iste'molini har xil vaqt oralig'ida yoki o'zgarish deb qabul qilinadi.

Kimyoviy ishlab chiqarishda, yuklama sutka bo'yicha maksimal qiymatga yaqindir, maktabda esa ertalabki o'quvchilar maktabga kelgandagi, kechki qorong'i tushib yana yorituv uskunalarini yoqishga to'g'ri kelgandagi ikki maksimum bo'ladi. Shunday har xil grafiklar va statistik ma'lumotlarga asosan ayrim mintaqalarni elektr ta'minot grafigi va umuman energetika sistemalarini grafigi tuziladi.

Yuklamalar grafigi tarmoqlarni hisoblashda dastlabki zarur ma'lumot hisoblanadi. Energiya iste'molchisining tuzilishi (xususiyatlari) va elektr yuklamalarini qiymatlari ehtimollik xarakteriga egadir, shuning uchun hisoblangan (oldindan rejalangan) grafiklar haqiqiy grafiklardan ko'pincha farq qiladi.

Nazorat savollari:

1. Elektr yuklamalar grafigi nima uchun kerak?
2. Birinchi kategoriyali iste'molchilar qanday xarakterlanadi?
3. Elektr ta'minoti qanday ko'rsatkichlar bilan baholanadi?

3.2. Elektr tarmoqlari hisoblarining asosiy turlari

Yechilishi kerak bo'lgan masalalar bo'yicha hisoblar ikki qismga bo'linadi:

Tarmoqlar ish tartibini («rejim»ini) hisoblari. Bu hisoblar ma'lum bir vaqt oralig'ida tugun nuqtalaridagi kuchlanishlar, liniyalar va transformatorlardagi tok va quvvatlarni hisoblaridir. Loyiha hisoblari va uskunalarini ishlatishga tegishli hisoblar xususan berilgan ma'lumotlarni aniqligi, ayniqsa yuklamalarni aniqligi bilan ajralib turadi. Loyihalash hisoblarida bu ma'lumotlarning aniqligi kamroq bo'ladi. Shuning uchun bu hisoblar natijalarini aniqlash bo'yicha qo'yilgan talablar ma'lum

darajada kam bo'ladi. Mavjud elektr tarmoqarining ish holatlarini qulaylashtirish uchun juda ham aniq hisoblar talab qilinadi.

Tarmoqlarning ish tartibi normal, shikastlangan va shikastlangandan keyingi (shikast sabablari tugatilgandan keyingi) holatlar bilan farq qiladi.

Energetik sistemalarining turg'unlik ish tartiblari, ya'ni tok va kuchlanishlari deyarli o'zgarmas bo'lgan parallel va shikastdan keyingi holatlar va o'tkinchi jarayonlar, ya'ni shikastlangan holatdagi ish tartiblari (bular «o'tkinchi jarayonlar» faniga tegishli) alohida ko'rib chiqiladi.

Parametrlarni tanlash hisoblari. Bu hisoblarga kuchlanish liniya parametrlari, transformatorlar, kompensatsiyalaydigan va boshqa uskunalarni har xil holatlar uchun tanlash kiradi.

Loyihalash uchun zarur bo'lgan hisoblarni bir qismi bo'lgan mexanik mustahkamlik va yashinga qarshilik hisoblari maxsus fanlarda ko'riladi.

Parametrlarni tanlashda avtomatikani ko'zda tutmoq kerak. Ko'pincha, agarda zarur texnik parametrlarga yetishishga avtomatik vositalar imkon bersa, bu birlamchi uskunalarining parametrlarini (simlarni ko'ndalang kesim yuzasi, quvvat va boshqalar) o'zgartirishga qaraganda tejamli bo'ladi. Ayniqsa bu mumkin bo'lgan kuchlanish yo'qotilishi va og'ishi bo'yicha hisoblarga va qisqa tutashuv paytida qizishga bardosh berish bo'yicha hisoblarga tegishlidir. Birinchi holat uchun kuchlanishni rostlash uskunasi qo'llanilishi mumkin, ikkinchisida tez harakatlanuvchi himoya.

Tarmoqlarning tanlanayotgan hamma parametrlarini hisoblash qandaydir vaqt oralig'ida o'zgarmas deb olinadi. Ammo yuklamalarni o'sishida bu parametrlarni (kuchlanish, simlarni kesim yuzasi, podstansiyalar soni va boshqalar) o'zgartirish zarur: bunga tarmoqni ancha yuqori kuchlanishga ko'tarish, kesim yuzasini, podstansiyalar sonini ko'paytirish va boshqalar kiradi.

Dinamik programmashtirish yordamida eng qulay yechimni topish mumkin.

Holatlarni hisoblash amaliyotda qo'llaniladi:

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

2. Iteratsiya usuli (ketma-ket yaqinlashish), qachonki qidirilayotgan qiymatga ko'p tadbirlar natijasida ya'ni asta-sekin hiyla taxminiydan juda aniq javoblarga kelish. Birinchi yaqinlashish nol iteratsiya mumkin bo'lgan taxminiy axborotga asosan olingan bo'lishi mumkin. Oxirgi usul yuzlab yuklamalar bo'lgan murakkab (murakkab yopiq) tarmoqlar uchun

qo'llaniladi va ko'p holatlarda faqat elektron hisoblash mashinalarini, maxsus avtomatlashtirilgan hisoblash modellarini tatbiq qilib, algebra matritsalarini va boshqa maxsus usullarini qo'llash mumkin.

Amaliyot shuni ko'rsatadiki ko'p holatlarda loyihalashda keng qo'llaniladigan, faqat birinchi yoki ikkinchi yaqinlashish bilan chegaralangan usul yetarlidir.

Nazorat savollari:

1. Elektr tarmoqlari hisoblarining asosiy turlari qanday?

3.3. Elektr uzatuv liniyalari qarshiliklari va o'tkazuvchanliklari almashtiruv sxemasi

Elektr tarmoqlari yoki sistemalarining almashtiruv sxemasi umuman olganda uning ayrim elementlarining (elektr uzatuv liniyalari, transformatorlar, avtotransformatorlar, reaktorlar, sig'im batareyalari, yuklamalar, ta'minlash manbai) almashtiruv sxemalaridan tashkil topadi va bir fazali ekvivalent uchun tuziladi.

Almashtiruv sxemada liniyada bo'ylamasiga va ko'ndalangiga to'g'ri keladigan elementlar bor. Birinchisiga – yuklama toki oqadigan tarmoq elementi, ikkinchisiga – to'liq kuchlanishga ulangan element kiradi. Tarmoq almashtiruv sxemasining bo'ylama (tarmoqning qarshiligi) va ko'ndalang (tarmoqning o'tkazuvchanligi) elementlari yordamida tarmoqning xususiyati va unda bo'layotgan fizik hodisalar ko'rsatiladi.

Elektr tarmoqlari parametrlarini aniqlash, haqiqiy tarmoqlarning almashtiruv sxemasini to'g'ri qo'llash, ularning ishlash tartibini va boshqaruvini o'rganishda haqiqatga yaqin natijalarni olishga imkon beradi.

Uzatuv liniyasi quyidagi parametrlar: aktiv qarshilik $R(Om)$, reaktiv qarshilik $X(Om)$, aktiv o'tkazuvchanlik $G(Sm)$, reaktiv o'tkazuvchanlik $V(Sm)$ bilan ifodalanadi. Rangli metallardan tayyorlangan simlar uchun R , X , G , B ni tarkibini ko'ramiz.

Aktiv qarshilik. Aktiv qarshilik simdan oqayotgan o'zgaruvchan tokka nisbatan bo'lgan qarshilikni ko'rsatadi. O'zgarmas tok oqayotganda sim ko'ndalang kesimida tokning taqsimlanishi bir xil bo'ladi. Bunda Om qarshilik

$$R_{Om} = \ell / \gamma F \quad (3.3.1)$$

Bu yerda ℓ -simning uzunligi, γ -solishtirma o'tkazuvchanlik, alyuminiy metalli uchun taxminan ko'rsatilishicha $\gamma = 32 \cdot 10^6 \text{ Sm/m}$, mis uchun $\gamma_{\text{mi}} = 53 \cdot 10^6 \text{ Sm/m}$, F -simning ko'ndalang kesim yuzasi, mm^2 .

Lekin o'zgaruvchan tokni simning kesim yuzasida taqsimlanishi yuza effekti hodisasi tufayli bir xil emas, buning natijasida tok simning markaziy qismiga qaraganda, chetida ko'proq oqadi. Bu hodisa simning ichida joylashgan o'zgaruvchan magnit maydoni hosil qilgan qarama-qarshi EYuK sababli ro'y beradi. Natijada, tok yuzani markazida nisbatan kam bo'lib, simning kesim yuzasi to'liq holda ishlatilmaydi, simning qarshiligi Om qarshilikka nisbatan oshadi.

Yuza effektining ta'siri ayniqsa yuqori chastotali toklar va po'lat simlarda sezilarli bo'ladi.

Rangli metallardan ishlangan elektr tarmoqlari uchun sanoat chastotasida va kesim yuzasi 500 mm^2 dan kichik bo'lgan simlarda bu farq katta emas. $F > 500 \text{ mm}^2$ bo'lgan tarmoqlar uchun bu farq 5% ga teng bo'lib, sezilarli qiymatni tashkil etadi. Ammo katta kesimli simlar po'lat-alyuminiydan tayyorlanadi, shuning uchun ularda "yuza effekti" kam ko'rinadi. Shunday qilib, amaliy hisoblarda $R = R_{\text{om}}$ deb qabul qilish mumkin, ya'ni aktiv qarshilikni aniqlash uchun (3.3.1) ifodani ishlatish mumkin. Qarshilik R ni haroratga bog'liqligi hisobga olinmaydi va hisoblarda bu qarshilikning o'rtacha ($+20^\circ\text{C}$ dagi) qiymati ishlatiladi. Shunday qilib

$$R = r_0 \cdot \ell, \text{ Om} \quad (3.3.2)$$

Bu yerda simning hisoblangan aktiv qarshilik qiymati, Om/km .

Hamma konstruksiyali simlarning, ayniqsa ko'p tomirli simlarning hisoblagandagi haqiqiy kesim yuzasi, markasida ko'rsatilgan, ancha to'liq bo'lgan tayyor qiymatidan foydalanish tavsiya etiladi.

Induktiv qarshilik. O'zgaruvchan tok liniyadan oqayotganida simlar atrofida hosil bo'lgan magnit maydoni simda teskari yo'nalgan o'zinduksiya EYuK, ni hosil qiladi. O'zinduksiya EYuK. sababli tokka bo'lgan qarshilik, reaktiv induktiv qarshilik deb aytiladi. Yonma-yon joylashgan uch fazali liniyalarining simlari ko'rilayotgan simdagi tokka nisbatan teskari sim bo'lib, unda ko'rilayotgan tokni yo'nalishiga mos yo'nalgan EYuK ni yuzaga keltiradi, bu o'z navbatida o'zinduksiya EYuK ni va shu tufayli reaktiv qarshilik qiymatini kamaytiradi. Shuning uchun liniyaning faza simlari qanchalik bir-biridan uzoq joylashsa, qo'shni

simlarning magnit oqimi sababli bo'ladigan o'zaro ta'siri ham shunchalik kamayadi va liniyaning induktiv qarshiligi oshib boradi.

Induktiv qarshilikning qiymatiga yana simlarning diametri, simning magnit singdiruvchanligi va o'zgaruvchan tok chastotasi ta'sir qiladi. 1 km uzunlikdagi liniyaning induktiv qarshiligi, Om/km da

$$x_o = 2\pi Lf = 0,144 \lg\left(\frac{D_{or}}{r}\right) + 12500\mu \quad (3.3.3)$$

Bu yerda L – induktivlik, G_n ; f – chastota, Hz; D_{or} – faza simlari orasidagi o'rtacha geometrik masofa m ; r – simning radiusi D_{or} va ning qiymati bir xil o'lchamda bo'lishi kerak, μ – magnit singdruvchanlik.

Rangli metallardan tayyorlangan (alyumin va mis) simlar uchun magnit singdiruvchanlik o'zgarmas va juda kichik bo'lgani sababli uni havoning magnit singdiruvchanligiga tenglashtirish mumkin, ya'ni xalqaro o'lchov birligi SI ga binoan

$$\mu = \mu_a = \mu_v \approx 0,4\pi \cdot 10^{-6} = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/М} \quad (3.3.4)$$

Agarda (3.3.3) ga (– ning (3.3.4) dagi rangli metallar uchun bo'lgan qiymatini qo'ysak, hosil bo'ladi:

$$x_o = 0,144 \lg \frac{D_{or}}{r} + 0,016 \quad (3.3.5)$$

D_{or} ni qiymati faza simlari kuchlanishi oshishi bilan oshib boradi. Masalan, 750 kV kuchlanishdagi liniyalarda tayanchlar 30 m dan balandroq bo'lib (ya'ni taxminan 9-10 m qavat uyning balandligidir), faza simlari orasidagi masofa 10-20 m bo'ladi. Uch fazali bir sistemali EULda simlar orasidagi o'rtacha masofa

$$D_{or} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}} \quad (3.3.6)$$

Bu yerda D_{12} , D_{23} , D_{31} – ayrim faza simlari orasidagi masofa (3.3.1a – rasm). Simlar teng tomonli uchburchakning cho'qqilariga joylashsa (3.3.1b – rasm),

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



b)

v)

a)

3.3.1.rasm. Simlarni HL tayanchlarida uchburchaklarning cho'qqilarida (a,b) va gorizontal aylanishi (v).

Agar simlar gorizontal joylashsa (3.3.1. v – rasm), unda

$$D_{12} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{11} \cdot D_{13}} = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = D\sqrt[3]{2}$$

EUL induktiv qarshiligini ikki qarshilikning yig'indisi, ya'ni x_2' -tashqi qarshilikning va x_0'' -ichki qarshilikning yig'indisi deb tasavvur qilish mumkin:

$$x_0 = x_0' + x_0'' \quad (3.3.7)$$

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

Havo liniyalarida simlar orasidagi masofa anchagina katta bo'lgani uchun x_2' ham nisbatan katta, qiymati 0,4 Om/km atrofida bo'ladi.

$$x_2' = 0.144 \lg \frac{D_{0r}}{r} \quad (3.3.8)$$

Ichki induktiv qarshilik simning ichidagi magnit maydoni sababli yuzaga kelib μ ga bog'liq bo'ladi.

$$x_0'' = 12500 \mu \quad (3.3.9)$$

Rangli metallardan tayyorlangan simlar uchun $x_0'' = 0,016 \frac{\text{Om}}{\text{km}}$, bu x_0' ga

nisbatan ancha kichik. Shuning uchun x_0'' ni ko'pincha hisobga olishmaydi. EUL ni induktiv qarshiligini 0,36-0,44 Om/km ga (3.3.2 rasm) teng qilib olinadi.

Kabel liniyalarida simlar orasidagi masofa havo liniyalariga nisbatan ancha kichik, demak induktiv qarshilik ham kichik. Shuning uchun ko'pincha kabellarda induktiv qarshilikni, (ayniqsa simlarning katta bo'lmagan kesim yuzalari uchun) hisobga olmaslik mumkin:

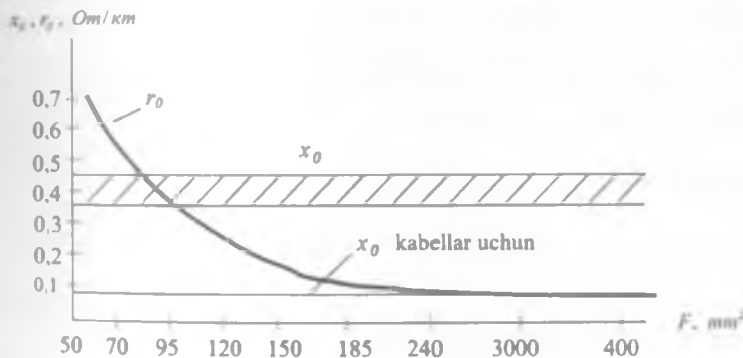
$$R_{\text{sim}} \gg X_{\text{ind}}$$

(3.3.3) dan ko'rinadiki, induktiv qarshilik X ni va shu tufayli reaktiv quvvat isrofini ($\Delta Q = 3I^2 X$) kamaytirish uchun masofa D_{0r} ni kamaytirish yoki radius r ni kattalashtirish kerak. D_{0r} ni qiymati liniyaning kuchlanishiga bog'liq, uni kamaytirish havoni teshilish xavfini yuzaga keltirishi mumkin. Shunday qilib, X ni kamaytirish uchun radius r ni kattalashtirish kerak, ya'ni simni kesim yuzasini kattalashtirib, metall sarfini oshirish kerak. Bu albatta, iqtisodiy nuqtai nazardan foydali emas.

Demak, r ni qiymati logarifm belgisi ostiga kiradi, x_0^H esa o'zgarmasdir. Demak, rangli metallardan tayyorlangan simlar uchun qarshilik x_0 kesim yuzasi F ni o'zgarishiga nisbatan kam o'zgaradi (3.3.2-rasm).

35 kV va undan kichik liniyalar uchun kesim yuzasi $F=50-95 \text{ mm}^2$ bo'lgan simlar, 110 kV liniyalar uchun $F=70-150 \text{ mm}^2$ simlar qo'llaniladi.

Shunday qilib, induktiv qarshilikni kamaytirish uchun radiusni kattalashtirish kerak. Uni to'g'ridan-to'g'ri kattalashtirib bo'lmaydi, chunki bunda rangli metallar sarfi ko'payadi. r ni kattalashtirish yo'li shundan iboratki, har bir faza simlari qo'shimcha metall sarfini oshirmay bir necha simlarga bo'linadi. Masalan, 150 mm^2 li faza simini uchta simga bo'lganimizdan keyin, bu fazada bir sim emas, balki har birining kesim yuzasi 50 mm^2 dan bo'lgan, 3 ta sim bo'ladi. yoki, kesim yuzasi 300 mm^2 edi, ikkiga bo'lingandan keyin fazada ikkita 150 mm^2 dan iborat sim hosil bo'ladi.



3.3.2-rasm. Po'lat-al'yumini simlar va kabel tomirlari aktiv va induktiv qarshiliklarini simning kesim yuzasiga bog'liq holda o'zgarishi.

Agar har bir fazadagi simning har birini haqiqiy radiusi va ularni orasidagi masofa a_1, a_2, a_3 ($a=300-600 \text{ mm}$) bo'lgan n sim bilan almashtirsak, unda qandaydir ekvivalent radius hosil bo'ladi

$$r_{ek} = \sqrt[n]{a_{ec}^{n-1} \cdot r_s} \quad (3.3.10)$$

Bu yerda bo'lingan simlar orasidagi o'rtacha geometrik masofa

$$a_{o,r} = \sqrt{\prod_i a_i} \quad (3.3.11)$$

agarda $n=3$ bo'lsa, unda $a_{o,r} = \sqrt[3]{a_1, a_2, a_3}$

Faza ikki, uch, to'rt va ko'p parallel qo'shilgan simlarga bo'linib, birlari bilan kerakli moslamalar orqali biriktiriladi.

r_{ekv} uchun yozilgan ifoda similar bo'lingandagi magnit oqimining o'zgarishini hisobga olib topilgan. Ekvivalent radius taxminan bir xil metall sarfida, simni birinchi holatidagi radiusdan har doim katta $r_{ekv} > r$

Masalan, agar 600 mm^2 faza simi $16,5 \text{ mm}$ li tashqi radiusga ega bo'lsa, uning radiusi $12,2 \text{ mm}$, yuzasi 300 mm^2 , simlar orasidagi o'rtacha masofa $a_{OR}=400 \text{ mm}$ bo'lgan ikki simga bo'lsak, unda

$$r_{ekv} = \sqrt{a \cdot r_s} = \sqrt{400 \cdot 12,2} = 69,9 \text{ mm}$$

Bu qiymatni bo'linmagan sim radiusi bilan solishtirsak, ($16,5$ va $69,9$) ekvivalent radius taxminan 4 marta oshadi, bu esa simni shartli kesim yuzasi o'sha metall sarfida 16 marta oshganini ko'rsatadi.

Bu ajoyib xususiyatga shu bilan erishiladiki, simlar bo'linganda magnit maydoni qaytadan taqsimlanadi. Xuddi kesim yuzasini katta-lashtirilgandek, maydon bo'lingan simlar o'rtasida bo'shashib, tashqariga siqib chiqariladi. Fazada qancha sim ko'p bo'lsa, bu ta'sir shuncha kuchli bo'ladi. Ammo, har bir qo'shimcha simning ta'siri pasayib boradi. Masalan, fazada ikkita sim bo'lsa, induktiv qarshilik 19% ga kamayadi, uchta - 28%, to'rtta - 32% ga va hokazo.

Rangli metallardan tayyorlangan faza simlarining bo'linishi hisobiga induktiv va aktiv qarshiliklar (Om/km va Om) quyidagicha aniqlanadi:

$$x_p = 0,144 \ell g \frac{D_{eq}}{r_{ekv}} + 0,016 / n \quad (3.3.12)$$

$$R = \ell / (n \gamma F_h) \quad (3.3.13)$$

Bu yerda F_h - bo'lingan simlarning har birining haqiqiy kesim yuzasi.

Amaliyotda simlarni bo'lish 330 kV va undan yuqori kuchlanishda bajariladi.

Kuchlanish yo'qotilishini kamaytirish, shu tufayli qarshilik X ni qiymatini kamaytirish uchun faza simlari bo'linishi zarur, ammo bu ikkinchi darajali omildir. Asosiysi, simlar bo'linganda elektr tojlanishi sababli bo'ladigan elektr energiya isrofining kamayishidir.

Aktiv o'tkazuvchanlik. EUL ni o'tkazuvchanligi dielektriklarda aktiv quvvat isrofi tufayli yuzaga keladi. Havo liniyalaridagi bu isrof simlarning tojlanishi va izolyatorlarning kamchiliklari bilan bog'langan. Lekin, havosi eng ifloslangan joylarda ham izolyatorlar orqali tokni yo'qotishi juda kam.

Qachonki, sim atrofidagi elektr maydonining kuchlanganligi havoning mustahkamligidan yuqori bo'lsa, sim atrofidagi havo ionlashadi va tojlanish sababli elektr energiya isrofi yuzaga keladi. Bunda havorang nurlanish va chirsillash kuzatiladi, shuning uchun bu hodisa "tojlanish" nomini olgan.

Ayniqsa, nam havoda va har xil yog'ingarchilik kunlarida tojlanish tezlashadi va tojlanishga sarf bo'lgan elektr energiyaning isrofi katta miqdorga oshadi. Shunday qilib 330-750 kV kuchlanishli havo liniyalarida tojlanishga sarf bo'lgan elektr energiyaning isrofi yaxshi havoli kundagi isrofga nisbatan qorda 14% gacha, simlar yaxlaganda esa, 107% gacha ko'payadi. Tojlanish aktiv quvvat va energiyaning isrofidan tashqari simlarda zanglashni yuzaga keltiradi, aloqa liniyalariga halaqit beradi, radioni tiniq eshitishga to'sqinlik qiladi. Shuning uchun normal holatda EUL tojlanmasligi uchun ayrim tadbirlar ko'riladi, bu choralar asosan EUL tojlanish boshlanadigan kuchlanishini oshirishdan iboratdir. Bu kuchlanish quyidagi ifoda orqali topiladi.

$$U_{TW} = U_{ish} \cdot E_0 / E \quad (3.3.14)$$

Bunda U_{ish} – ish bo'yichagi o'rtacha kuchlanish, kV.

E_0 – yaxshi havoda umumiy tojlanishga to'g'ri keladigan simning boshlang'ich kuchlanganligi.

E – simning yuzasidagi elektr maydonining ish davridagi kuchlanganligi, kV/sm.

Elektr maydonining boshlang'ich kuchlanganligini (emperik) tajribadan olingan quyidagi ifoda orqali aniqlash mumkin.

$$E_0 = 30,3mb(1 + 0,3/\sqrt{rb}) \quad (3.3.15)$$

Bunda m – simlarni sillqlik koeffitsiyenti, silliq silindr shaklidagi simlar uchun $m=1$, ko'p tolali simlar uchun $m=0,82-0,92$ (katta qiymat simni katta kesim yuzasiga to'g'ri keladi).

$b = \frac{0386P}{(273 + \theta)}$ – havoning nisbiy zichligi ($r=100$ kPa atmosfera bosimida va havoning harorati $Q=273^\circ K$ bo'lganda $b=1$), r – simning radiusi, sm da.

Simning yuzasidagi elektr maydonining ish bo'yichagi kuchlanganligi fazasi bo'linmagan EUL uchun quyidagi ifoda bilan topiladi.

$$E = 0.355U_{\text{EHL}} / (r \ell g (D_{\text{or}} / r)) \quad (3.3.16)$$

Fazalari bo'lingan EUL uchun bunday ifodadan topiladi.

$$E = 0.355U_{\text{EHL}} / (nr \ell g (D_{\text{or}} / r_{\text{ekv}})) \quad (3.3.17)$$

Bunda logarifm oldidagi r santimetrdagi qo'yiladi. Simlar gorizontall joylashganda o'rtadagi faza simi uchun kuchlanganlik 10% ga yuqori qilib olishadi, chunki bu sim ikki chetdagi simlar ta'sirida bo'ladi. (3.3.17) dan ko'rinadiki, tojlanishda bo'lgan energiya isrofini kamaytirish uchun simlarning kesim yuzasini oshirish, faza simlarini bo'lish yoki simlarning ichi bo'sh bo'lishi kerak. Shu nuqtai nazardan simlarning kesim yuzasi boshqa hisoblash natijalarga ko'ra kattaroq qilib olinadi. Masalan, 110kV kuchlanish uchun tojlanishda bo'lgan energiya isrofi sharti bo'yicha eng kichik yuza 70mm², 220 kV uchun 240 mm² va h.k.

Tojlanishda bo'lgan energiya isrofi EUL ni haqiqiy kuchlanishga bog'liq. Misol uchun 750 kV kuchlanishli EUL da tojlanishda bo'lgan isrofini liniyadagi haqiqiy kuchlanishga bog'liq o'zgarishi quyida keltirilgan.

Kuchlanish, kV	715	700	750	770	787
Tojlanishda yo'qotish ΔP_{to} , kVt/km	10.4	11.36	13.75	15.7	18

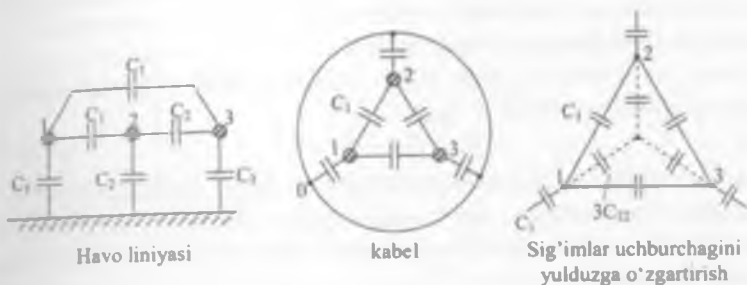
Keltirilgan qiymatlardan ko'rinadiki, kuchlanish 5% ga oshsa, tojlanishga bo'lgan energiya isrofi taxminan 31% ga oshadi. Kuchlanish 5% ga kamaysa energiya isrofi 750 kV nominal kuchlanishga nisbatan 24% ga kamayadi. Shunday qilib, yomon ob-havoda yuqori kuchlanishli EUL larida tojlanishga bo'lgan energiya isrofini kamaytirish uchun kuchlanish darajasini nominal kuchlanishga nisbatan birmuncha kamaytirish maqsadga muvofiqdir. Tojlanishda bo'lgan quvvat isrofi ΔP_{to} tojlanish va kuchlanish U ga tegishli aktiv o'tkazuvchanlik havo liniyalarida quyidagicha topiladi:

$$g = \Delta P_{\text{to}} / U^2 \quad (3.3.18)$$

Aktiv o'tkazuvchanlik asosan yuqori kuchlanishli liniyalarda hisobga olinadi.

Kabel liniyalari uchun ishlab chiqaruvchi zavod tomonidan 1km liniya uchun dielektrikda bo'lgan quvvat isrofi ko'rsatiladi va u orqali aktiv o'tkazuvchanlik xuddi havo liniyalaridek topiladi. Odatda 35 kV va undan yuqori kuchlanishli kabel liniyalari uchun dielektrikdagi quvvat isrofi hisobga olinadi.

Liniyaning reaktiv o'tkazuvchanligi fazalar orasida, fazalar bilan yer orasida sig'im borligi tufayli yuzaga keladi (3.3.3-rasm). Chunki har bir havo va kabel liniyalirining juft simlarini va yana shu simlar bilan yer orasini kondensator deb faraz qilish mumkin.



3.3.3-rasm. Havo va KL bir qism sig'implari

Havo liniyalarining to'liq ish sig'imi faza=faza va faza=yer sig'imi qismlaridan tashkil topgan bo'lib, u har bir ko'rilayotgan sim zaryadini uning potensialiga nisbatini ifodalaydi. Ish sig'imi tushunchasi faqat simmetrik liniyalar uchun, masalan uch fazali kabellar uchun, transpozitsiyani hisobga olgan holda havo liniyalari uchun haqlidir. Ish sig'imi ekvivalent yulduz yelkasining sig'imi kabi, sig'im uchburchagini yulduzga o'zgartirilganidan keyin aniqlanadi.

$$C = 3C_{12} + C_{10}, \quad (3.3.19)$$

Buni rasmlardagi belgilar orqali tushuntirish mumkin.

Ish sig'imi simlarning diametriga, ularning o'zaro joylashuviga, ular orasidagi masofaga, muhitning dielektrik o'tkazuvchanligiga bog'liq. Qo'shni liniyaning va momaqaldiroqdan himoya qiluvchi sim ta'sirini hisobga olinmasa, injenerlik hisoblarida yo'l qo'yiladigan 5% lik mumkin bo'lgan noaniqlik bilan uch fazali tok havo liniyalarining ish sig'imi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi.

$$C_0 = 0,024 \cdot 10^{-6} / \lg(D_{0,r} / r), \quad f / \text{km} \quad (3.3.20)$$

Bu yerda $D_{0,r}$ ayrim faza simlari orasidagi o'rtacha masofa, r -simning radiusi.

Fazalari bo'lingan EUL uchun ish sig'imining aniqlangan qiymati quyidagicha topiladi.

$$C_0 = 0,0245 \cdot 10^{-6} / \lg(D_{0,r} / r_{\text{ekv}}) \quad (3.3.21)$$

Bunda ξ -yer va trosning ta'sirini hisobga oladigan koeffitsiyent ($\xi = 1,05$ – bir sistemali ikkita trosli EUL uchun)

Faza simining ekvivalent radiusi (3.3.10) bilan aniqlanadi.

Kabel liniyalari uchun ish sig'iminin qiymati ishlab chiqaruvchi zavod tomonidan berildi, chunki uni hisoblash uchun izolyatsiyaning dielektrik o'tkazuvchanligini, geometrik o'lchamini va kabel haqida yana boshqa konstruktiv ma'lumotlarni bilish kerak.

Havo va kabel liniyalari uchun reaktiv (sig'im) o'tkazuvchanlik quyidagi ifodadan topiladi.

$$B_o = \omega C_o, Cm / km \quad (3.3.22)$$

Lekin kabellarda sig'im o'tkazuvchanligi simlar orasidagi va simlar bilan yerga tutashtirilgan qobiq orasidagi masofa kichik bo'lganligi va izolyatsiyaning yuqori dielektrik o'tkazuvchanligi tufayli havo liniyalariga nisbatan kattadir.

50 Hzlik o'zgaruvchan tokli faza simlari bo'linmagan havo liniyalari uchun bo' quyidagicha topiladi.

$$b_o = 7,58 \cdot 10^{-6} / \lg(D_{o,r} / r) \quad (3.3.23)$$

faza simlari bo'lingan HL uchun.

$$B_o = 7,58\xi \cdot 10^{-6} / \lg(D_{o,r} / r_{stv}) \quad (3.3.24)$$

Kuchlanishga qarab o'rtacha sig'im o'tkazuvchanligi HL quyidagicha o'zgaradi.

Liniyaning kuchlanishi kV	110-220	330-500	750	1150
b_o , Sm/km	2.7-10-6	3.7-10-6	2-10-6	4.6-10-6

ℓ - km uzunlikdagi EUL sig'im o'tkazuvchnligi

$$B_s = b_o \cdot \ell, Cm \quad (3.3.25)$$

Liniyalarda sig'im o'tkazuvchanligini bo'lishi liniyaning zaryad toki va zaryad quvvati deb ataluvchi sig'im tokini (siljish toki) va sig'im quvvatini o'tishini yuzaga keltiradi.

Zaryad toki

$$I_z = B_s \cdot U_f \quad (3.3.26)$$

Bunda U_f – faza kuchlanishi

Zaryad quvvati

$$Q_s = \sqrt{3}UI_s = B_s \cdot U^2 \quad (3.3.27)$$

Bunda U - liniya kuchlanishi.

Liniyalarda sig'im o'tkazuvchanligi tufayli hosil bo'ladigan zaryad quvvati (reaktiv, sig'im) asosan liniyaning kuchlanishiga bog'liq bo'lib, 110 kV va undan yuqori kuchlanishli liniyalar uchun muhim ahamiyatga egadir.

Po'lat simlarning qarshiligi va o'tkazuvchanligi

Po'lat simlarda yuza effekti juda katta bo'lganligi uchun rangli metallar uchun qo'llanilgandek, Om qarshiligini o'zgaruvchan tok aktiv qarshiligiga tenglashtirish mumkin emas, ya'ni

$$R_{po'l} \neq R_{Om}$$

Po'lat simlarning magnit singdiruvchanligi μ juda katta va o'zgaruvchan qiymatga egadir. Uning qiymati ichki magnit oqimi I tokka va magnit singdiruvchanlik μ ga bog'liq bo'ladi. O'z navbatida μ , I tokka va po'latning qo'shilmalariga bog'liq. Bunday murakkab bog'lanishlar tufayli (3.3.2) ifodani qo'llash mumkin emas. Shuning uchun jadvallarda r_o va x_o'' ning (po'lat simlar uchun) har xil diametrli simlar uchun oqayotgan tokka bog'liq holdagi aniqlangan qiymati keltiriladi. G va V o'tkazuvchanliklar yuza effektiga bog'liq emas va rangli metallardan yasalgan simlar uchun qanday aniqlansa, po'lat simlar uchun ham shunday aniqlanadi.

Almashtiruv sxema. EUL uzunligi bo'yicha bir tekisda taqsimlangan aktiv R va reaktiv X qarshiliklar hamda aktiv G, reaktiv V o'tkazuvchanliklar bilan ta'riflanadi.

Biroq EULni hisoblarida soddalashtirilgan usullardan foydalaniladi, ya'ni liniyani uzunligi bo'yicha aktiv va reaktiv qarshiliklar va o'tkazuvchanliklar bir xil taqsimlanmagan, balki bular yig'indisi bir joyga to'plangan, deb qaraymiz.

EUL ning to'liq qarshiligi [Om]

$$Z_o = R + jX = Z_o \exp(j\phi_o) \quad (3.3.28)$$

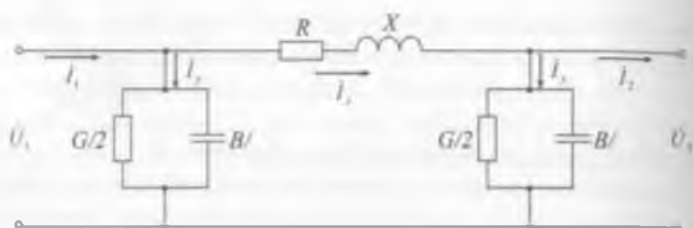
Bunda

$$Z_o = \sqrt{R^2 + X^2}; \phi_o = \arctg(X/R) \quad (3.3.29)$$

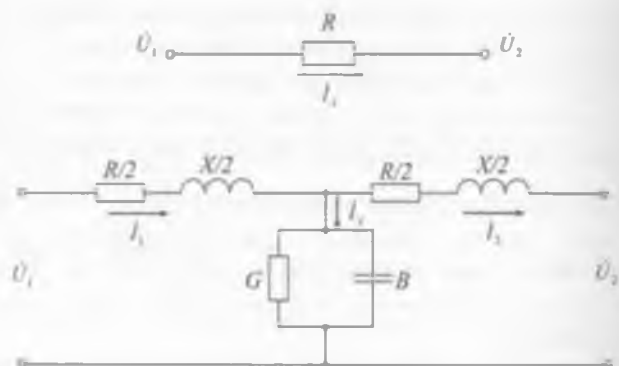
EUL ning to'liq o'tkazuvchanligi [Om]

$$Y_o = G - jB = Y_o \exp(j\psi_o) \quad (3.3.30)$$

$$Y_o = \sqrt{G^2 + B^2}; \psi_o = \arctg(B/G) \quad (3.3.31)$$

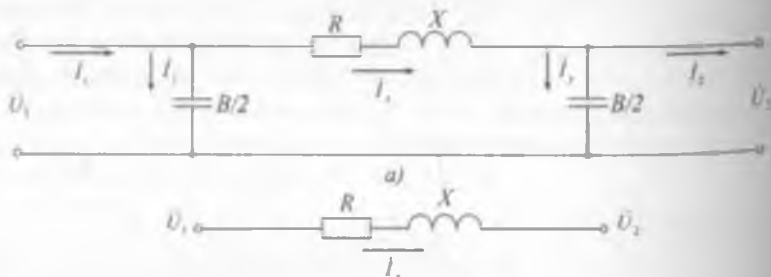


a) «Π» ko'rinishli



b) «T»-ko'rinishli

3.3.4 a,b-rasm. EUL larini almashtiruv sxemasi.



3.3.5-rasm. Kuchlanishi 35 kV (a), 20 kV (b) va 10 kV (v), li kabel liniyalarining soddalashtirilgan almashtiruv sxemalari.

Umumiy hollarda EUL "P" yoki "T" shaklidagi almashtiruv sxemasi (3.3.4-rasm) bilan ifodalanadi va unda qarshilik bo'ylamasida, o'tkazuvchanlik esa ko'ndalangida ko'rinishli parametrlarga to'g'ri keladi.

Uzunligi 300 km gacha bo'lgan EUL larida o'tkazuvchanliklar liniyalar o'rtasiga, qarshilik liniyaning chetlarida yig'ilgan deb (2.3.4 b-rasm) yoki uning teskarisi-qarshiliklar o'rtada o'tkazuvchanliklar liniyaning chetlarida yig'ilgan (3.3.4 a-rasm) deb faraz qilish mumkin.

O'zgarmas tokli EUL almashtiruv sxemasini $X=0$ va $V=0$ holatdagi o'zgaruvchan tokli EUL ning tarkibiy qismi deb qarash mumkin.

3.3.1. Mavzuga doir misollar

1-masala. 45 km uzunlikka ega bo'lgan AC-95 simlardan tayyorlangan 110 kV li elektr uzatuv liniyasining almashtirish sxemasi parametrlarini aniqlang. Simlarni tayanchlarda osilishi gorizonta, faza simlari orasidagi masofa - 4 m, liniyada transpozitsiya amalga oshirilgan.

Yechish. Alumin uchun $\rho = 31,5 \text{ Om}\cdot\text{mm}^2/\text{km}$ va $\gamma = 0,0317 \text{ km}/\text{Om}\cdot\text{mm}^2$ ekanligini hisobga olib, 1 km liniyaning aktiv qarshiligini aniqlaymiz. Unda:

$$r_l = \frac{\rho}{F} = \frac{31,5}{95} = \frac{1000}{0,0317 \cdot 95} = 0,33 \text{ Om/km}$$

Liniyaning aktiv qarshiligi:

$$R = r_0 \cdot l = 0,33 \cdot 45 = 14,85 \text{ Om}$$

Simlar orasidagi o'rtacha geometrik masofani hisobga olib, 1 km liniyaning induktiv qarshiligini hisoblaymiz.

$$D_{o,r} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}} = \sqrt[3]{4 \cdot 4 \cdot 8 \cdot 10^6} = 504 \text{ sm}$$

AC-95 simning diametrini 1-ilovadagi 1-jadvaldan ($2r_s = 13,5 \text{ mm}$) aniqlaymiz. Unda:

$$x_0 = 0,144 f g \frac{D_{o,r}}{r_s} + 0,016 = (0,144 f g \frac{504}{0,675} + 0,016) = 0,431 \text{ Om/km}$$

Liniyaning induktiv qarshiligi:

$$X = x_0 \cdot l = 0,431 \cdot 45 = 19,395 = 19,4 \text{ Om}$$

1 km liniyaning aktiv o'tkazuvchanligini aniqlash uchun dastlab kritik faza kuchlanishini aniqlash kerak.

$$U_k = 48,9 m m m \cdot \delta r_s \lg \frac{D_{o,r}^2}{r_s} = 48,9 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,675 \lg \frac{504^2}{0,675} = 76,5 \text{ kV}$$

Simlarning gorizontaal joylashishida o'rtadagi simning kritik kuchlanishi:

$$U_{k1}=0,96 U_k=0,96 \cdot 76,5=73,4 \text{ kV}$$

Chetdagi simlarda:

$$U_{k2}=1,06 U_k=1,06 \cdot 76,5=81,09 \text{ kV}$$

$$U_{f1} = \frac{110}{\sqrt{3}} = 63,5 \text{ kV}$$

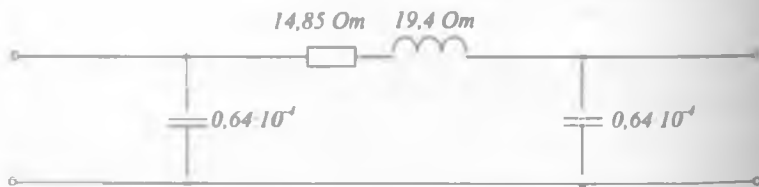
Liniyaning eng katta faza kuchlanishi kritik kuchlanishdan kichik, shuning uchun liniyaning butun uzunligi davomida tojlanish bo'lmaydi. Hisoblarsiz bunday xulosaga kelish mumkin, agar 1-ilovadagi 3-jadvaldan foydalansak, unda tojlanishdagi quvvat isrofi bo'lmaydigan simning eng kichik diametri ko'rsatilgan. 110 kVli elektr uzatish liniyasi uchun bunday sim AC-70 hisoblanadi.

1 km uzunlikdagi liniyaning sig'im o'tkazuvchanligini quyidagi ifoda bilan aniqlaymiz:

$$b_0 = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{D_{\text{eff}}}{r}} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{504}{0,675}} = 2,84 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$$

Liniyaning sig'im o'tkazuvchanligi:

$$B=b_0 l=2,84 \cdot 10^{-6} \cdot 45=1,28 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}$$



3.3.6-rasm. 110 kVli elektr uzatish liniyasining almashtirish sxemasi

2-masala. 330 kVli EUL faza simlari gorizantal joylashgan, ular orasidagi masofa 10 m liniyada, agar AC-600/72 sim o'rniga fazada ikkita AC-300/27 markali sim tanlansa, 1 km uzunlikda induktiv va sig'im o'tkazuvchanliklari o'zgarishini aniqlang.

Yechish. Faza simlari orasidagi o'rtacha geometrik masofani aniqlaymiz:

$$D_o = 1,26 \cdot D = 1,26 \cdot 10 = 12,6 \text{ m}$$

1-ilovadagi 1-jadvaldan AC-600/72 sim diametrini aniqlaymiz. $2r = 33,2 \text{ mm}$.

1 km uzunlikdagi simning induktiv qarshiligini aniqlaymiz:

$$x_0 = (0,144 \lg \frac{D}{r_s} + 0,016) = 0,144 \lg \frac{12600}{16,6} + 0,016 = 0,43 \text{ Om / km}$$

Ushbu simning 1 km uchun sig'im o'tkazuvchanligini aniqlaymiz:

$$b_0 = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{D_o}{r_s}} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{12600}{16,6}} = 2,63 \cdot 10^{-6} \text{ Sm / km}$$

Fazalari bo'lingan 1 km uzunlikdagi simning induktiv qarshiligini aniqlaymiz:

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{or}}{r_{ek}} + \frac{0,016}{n} = 0,144 \lg \frac{12600}{69,86} + \frac{0,016}{2} = 0,33 \text{ Om / km}$$

Bunda $r_{ek} = \sqrt{r_s \cdot a_{or}^{n-1}} = \sqrt{12,2 \cdot 400} = 69,86 \text{ mm}$ (Bu yerda AC-300/27 sim uchun $r_s = 12,2 \text{ mm}$)

Fazalari bo'lingan 1 km uchun sig'im o'tkazuvchanligini aniqlaymiz:

$$b_0 = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{D_{or}}{r_s}} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{12600}{69,86}} \approx 3,36 \cdot 10^{-6} \text{ Sm / km}$$

Shunday qilib, faza simini ikkiga bo'lganimizda 1 km uzunlikdagi simning induktiv qarshiligi o'zgaradi

$$\frac{0,33}{0,43} 100 = 76,7\%$$

Ya'ni 23,3 % ga induktiv qarshilik kamayadi, 1 km uzunlikdagi sig'im o'tkazuvchanligi bo'ladi.

$$\frac{3,36 \cdot 10^{-6}}{2,63 \cdot 10^{-6}} 100\% = 127,7\% \quad \text{ya'ni } 27,7\% \text{ ga sig'im o'tkazuvchanligi}$$

kattalashadi.

3-masala. AC-150/34 simdan tayyorlangan faza simlari o'rtasida o'rtacha geometrik masofa 7 m bo'lgan 220 kV kuchlanishli 130 km uzunlikdagi havo liniyasida yaxshi va yomon ob-havoda tojlanishga bo'lgan quvvat isrofini va liniyada generatsiya qilinadigan reaktiv quvvat miqdorini aniqlang.

Yechish. Tojlanishga bo'lgan quvvat isrofini aniqlaymiz.

1-ilovadagi 1-jadvaldan AC-150/34, 2r=17,5 mm da yaxshi ob-havoda b=1, m=1 va kritik faza kuchlanishi.

$$U_{krf} = 48,9 m_0 m_n \alpha_c \lg \frac{D_{o,r}^2}{r_s} = 48,9 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,875 \lg \frac{7000}{8,75} = 105,6 \text{ kV}$$

Yomon ob-havoda b=0,9; m=0,8.

$$U_{krf} = 48,9 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,875 \lg \frac{7000}{8,75} = 76,2 \text{ kV}$$

Yaxshi ob-havoda 1 km uzunlikdagi liniyaning quvvat isrofi:

$$\Delta P_{toj} = \frac{0,18}{\delta} \sqrt{\frac{r_s}{D_s}} (U_f - U_{krf})^2 = \frac{0,18}{1} \sqrt{\frac{8,75}{7000}} \left(\frac{220}{\sqrt{3}} - 105,6 \right)^2 = 2,9 \text{ kW/km}$$

Yomon ob-havoda liniyadagi quvvat isrofi:

$$\Delta P_{toj} = \frac{0,18}{\delta} \sqrt{\frac{r_s}{D_s}} (U_f - U_{krf})^2 = \frac{0,18}{0,9} \sqrt{\frac{8,75}{7000}} \left(\frac{220}{\sqrt{3}} - 76,02 \right)^2 = 18,5 \text{ kW/km}$$

Yaxshi ob-havoda liniyadagi quvvat isrofi:

$$\Delta P_g = \Delta P_{toj} \cdot l = 2,96 \cdot 130 = 384,8 \text{ kW/km}$$

Hisoblar shuni ko'rsatadiki, AC-150/34 (d=17,5mm) simni 220 kVli liniyalarda quvvat isrofi katta bo'lganligi sababli ishlatishga ruxsat etilmaydi, chunki yaxshi ob-havoda isrof bo'lmasligi kerak.

1 km uzunlikdagi liniyaning sig'im o'tkazuvchanligini aniqlaymiz:

$$b_s = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{D_{o,r}}{r_s}} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{7000}{8,75}} = 2,61 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$$

Liniya generatsiya qiladigan reaktiv quvvat:

$$Q_g = U^2 b_0 \cdot 10^3 = 220^2 \cdot 2,61 \cdot 10^{-6} \cdot 130 \cdot 10^3 = 16422 \text{ kVar} = 16,4 \text{ MVar}$$

3.3.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar

1-misol. 220 kV li 150 km uzunlikdagi AC-240 simli elektr uzatish liniyasi fazalari bir-biridan o'rtacha 7 m geometrik masofada joylashgan. Elektr uzatish liniyasining parametrlarini, yaxshi va yomon ob-havoda tojlanishdagi quvvat isrofini hamda liniya generatsiya qiladigan reaktiv quvvatni aniqlang.

2-misol. Sanoat korxonasi 10 kV kuchlanishli ikki manbadan havo va kabel liniyalari orqali ta'minlanadi. Havo liniyasining uzunligi 10 km bo'lib, fazalari orasidagi masofa 3 m li AC-95 simdan tayyorlangan. Kabel liniyasining uzunligi (AAB-95) 6 km. Ko'rsatilgan liniyalar almashtirish sxemasi parametrlarini aniqlang.

3-misol. Zavod podstantsiyasidan 6 kV kuchlanishda sexga ACB-120 kabel orqali elektr energiya uzatiladi. Agar uzatuv liniyasi AC-95 havo liniyasiga almashtirilsa, uning qarshiligi qanday o'zgaradi? Liniyaning uzunligi 5 km.

4-misol. 110 kV li 85 km uzunlikdagi AC-95 simdan tayyorlangan liniyaning almashtirish sxemasini tuzing va parametrlarini aniqlang. Liniyada faza simlari gorizantal joylashgan va ular orasidagi masofa 5 m.

5-misol. ACK-95 simdan tayyorlangan 110 kV li liniya qarshiligi $z=15,51 \text{ Om}$. Agar $D_{0,1}=5 \text{ m}$ bo'lsa, liniya uzunligini aniqlang.

6-misol. Uzunligi 15 km bo'lgan AC-70 simdan tayyorlangan ikki sistemali havo liniyasining almashtirish sxemasini tuzing va parametrlarini aniqlang. Liniya simlari orasidagi masofa 1 m, liniya parallel ishlaydi. Bir tayanchda joylashgan simlarning o'zaro ta'sirini hisobga olmang.

7-misol. 6 kV li 5 km uzunlikdagi AC-50 simdan tayyorlangan EULning parametrlarini aniqlang. Liniya simlari gorizantal joylashgan, ular orasidagi masofa 1,2 m.

8-misol. 380/220 V li yoritgich liniyasining almashtirish sxemasini tuzing. Taqsimlash punkitini ta'minlovchi 25 m uzunlikdagi liniya 4 tomirli 50 mm² kesim yuzali kabeldan tayyorlangan, 5 ta taqsimlash punkitidan ketayotgan 40 m uzunlikdagi bir fazali liniyalar 6 mm² kesim yuzali simdan tayyorlangan. Faza va nol sim orasidagi masofa 200 mm. Almashtirish sxemasi parametrlarini aniqlang.

3.4. Ikki va uch chulg'amli transformatorlarning parametrlari va almashtiruv sxemasi

Elektr uzatishning ko'pgina hisoblarida quvvat va kuchlanish liniyalarning oxirida berilmay, balki elektr stansiyalarining generatorida, ta'minlovchi podstansiyalarning yuqori kuchlanishli shinalarida yoki pasaytiruvchi podstansiyalarning past va o'rta kuchlanishli shinalarida ham beriladi.

Bu hollarda hisoblanayotgan elektr energiyani uzatish kanaliga liniyaning ikkala tomoniga qo'yilgan transformatorlar yoki qabul qiluvchi podstansiyaning transformatori kiradi. Transformatorlar o'zining qarshiliklari va o'tkazuvchanliklariga ega, shuning uchun elektr uzatish hisoblarida bu parametrlarni ham e'tiborga olish kerak: ularning qiymati transformatorning nominal quvvatiga va chulg'amlarining kuchlanishiga bog'liq.

Transformator va avtotransformatorlarda reaktiv quvvat isrofi ayniqsa kattadir. Ular elektr energiyani uzatishda sezilarli darajada kuchlanish yo'qotilishini yuzaga keltiradi va buni albatta hisobga olish kerak bo'ladi. Transformatorlar orqali elektr energiyani uzatish hisoblari qarshiliklarni, kuchlanishni, liniya va transformatorlarning toklarini muvofiqlashtirilgan bir kuchlanishga keltirib amalga oshiriladi. Bunda quvvat o'zgarmas bo'lib, magnit aloqalar shartli ravishda elektr aloqalar bilan almashtiriladi (quvvat keltirilmaydi). Umuman olganda, parametrlar qaysi kuchlanishga keltirilmasin yuqori kuchlanish (U_{yu}) o'rta kuchlanish (U_o), yoki transformatorning past kuchlanish (U_p) chulg'amlarigami, uning farqi yo'q. Ko'pincha, keltirilish yuqori kuchlanish Uyuda amalga oshiriladi. Masalan, transformatsiya koeffitsiyenti $K_4 U_{yu} G' U_p$ desak, unda past tomondagi barcha uzatish elementlarini kuchlanishning yuqori tomonga keltirilishi quyidagicha bo'ladi:

$$U_p^I = U_n \cdot K = U_n \cdot U_{yu} / U_n = U_{yu} \text{ ya'ni } U_p^I = U_{yu}$$

Shunga muvofiq, qarshilik va toklarning keltirilishi

$$Z_n^I = Z_n \cdot K^2, \quad I_n^I = I_n / K$$

Transformator va avtotransformatorlar uchun zavod tomonidan to'rtta qiymat beriladi: qisqa tutashuvdagi quvvat isrofi, salt yurishdagi quvvat isrofi, salt yurish toki va qisqa tutashuv kuchlanishi. Bu qiymatlarning hammasi jadvalda keltiriladi.

Qisqa tutashuvdagi quvvat isrofi R_0 (qisqa tutashuv tajribasidan aniqlanadi) deb tok nominalga teng bo'lganda transformator chulg'amlaridagi uni qizdirishga sarf bo'lgan aktiv quvvat isrofi aytiladi.

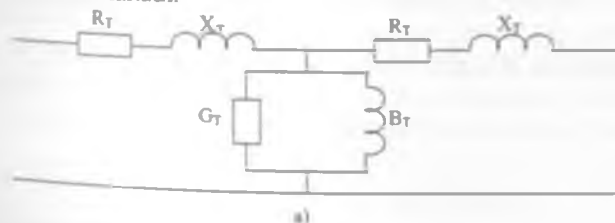
Salt yurishdagi quvvat isrofi (salt yurish tajribasidan aniqlanadi) deb nominal kuchlanishda transformator po'latini magnitlanishi va uyurtma toklari tufayli uni qizdirishga sarf bo'lgan quvvat isrofi aytiladi.

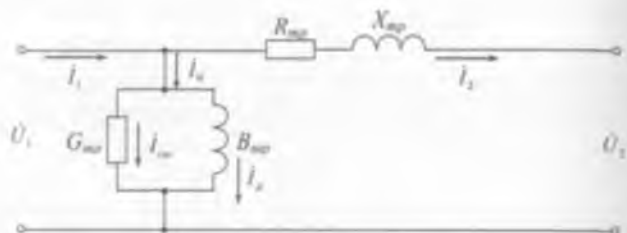
Salt yurish toki I_{yuv} % deb, nominal kuchlanishga ulangan biror chulg'am toki (salt yurish tajribasi), boshqa chulg'amlar ochiq qolgandagi holatida aytiladi. Salt yurish toki transformatorning ishlashi uchun zarur bo'lgan magnitlash quvvatini yuzaga keltiradi.

Biror juft chulg'amning qisqa tutashuv kuchlanishi U_{q1} %/ deb, ularning biri qisqa tutashtirilib, ikkinchisiga tokning nominal qiymatini olish uchun berilgan kuchlanish aytiladi (qisqa tutashuv tajribasi). Bu kuchlanish nominal tok oqayotgan paytda transformatorning aktiv va reaktiv qarshiliklaridagi kuchlanishning pasayishiga teng.

Ikki chulg'amli transformatorlarning eng aniq almashtiruv sxemasi 3.4.1a-rasmda keltirilgan, bu «T» ko'rinishli sxemadir. Bunda bir faza ekvivalenti uchun birlamchi chulg'amni qarshiliklari R_{11} va X_{11} ikkilamchi chulg'amniki esa R_{12} , X_{12} va G_1 , V_1 aktiv, reaktiv o'tkazuvchanliklardir.

Transformatorlar uchun ayniqsa to'liq «T» ko'rinishli almashtiruv sxemasi o'rniga «G» ko'rinishligini qo'llash (3.4.1b-rasm) hisoblarni soddalashtiradi. Bunda salt yurish tokini transformatorning birlamchi chulg'am tokining qiymati va fazasiga ta'siri juda kichik bo'lgani tufayli transformatoridagi kuchlanish pasayishini aniqlashda paydo bo'lgan noaniqlik sezilarli darajada emas (3.4.1-rasm) va uni hisobga olmasa ham bo'ladi. O'tkazuvchanlik ko'pincha birlamchi tomonga, ya'ni kuchaytiruvchi transformatorlar uchun past kuchlanish (PK) tomonidan, pasaytiruvchi transformatorlar uchun yuqori kuchlanishli (YuK) chulg'am tomonidan ulanadi.





3.4.1-rasm. Ikki chulg'umli transformatorning almashtiruv

Aktiv qarshilik. Qisqa tutashuv tajribasidan topiladigan transformator chulg'amlaridagi aktiv quvvat isrofi

$$\Delta P_{QT} = 3I_n^2 \cdot R_T \quad (3.4.1)$$

Transformatorning to'liq nominal quvvati $S_n = \sqrt{3}U_n I_n$ bunda U_n — liniya kuchlanishi

Bundan

$$I_n = S_n / (\sqrt{3}U_n) \quad (3.4.2)$$

(3.4.2) ni (3.4.1) ga qo'yib, (3.4.1) dan R_T topamiz.

$$R_T = \frac{\Delta P_{QT} U_n^2}{S_n^2} \quad (3.4.3)$$

Agarda U ni kV da, S_n ni mVA da va R_T ni kVt orqali ifodalasak, R_T ni Omda olamiz:

$$R_T = \frac{\Delta P_{QT} U_n^2}{10^3 S_n^2}$$

Transformator chulg'ami asosiy shoxobchasidan ishlash uchun boshqa bir shoxobchasiga o'tkazilsa, chulg'amning aktiv qarshiligi juda kam miqdorda o'zgaradi. Shuning uchun uni o'zgarmas deb faraz qilish mumkin.*

Induktiv qarshilik. X_T qisqa tutashuv tajribasidan $U_q\%$ topiladi. Qisqa tutashuv holatida, oqayotgan tokdan hosil bo'lgan aktiv va induktiv qarshiliklardagi kuchlanishni pasayishi $U_a\%$ va $U_p\%$ quyidagicha ifodalanadi.

$$u_r = 100\sqrt{3}R_T I_n / U_n = 100\Delta P_{QT} / S_n$$

* Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley - Interscience A John Wiley & Sons, INC Publication. 2007, 260 p.

$$u_p = 100 \sqrt{3} X_T I_N / U_N \quad (3.4.4)$$

Qisqa tutashuv uchburchagidan

$$u_p = \sqrt{u_a^2 - U_a^2}$$

(3.4.4) ga ko'ra transformatorning induktiv qarshiligi

$$X_T = \frac{u_p - U_N}{100 \cdot \sqrt{3} I_N} = \frac{u_p - U_N^2}{100 \cdot S_N} \quad (3.4.5)$$

Hozirgi elektr tarmoqlarida qo'llanilayotgan katta quvvatli transformatorlarda u_a ni qiymati u_p ga nisbatan juda kichik, shu sababli hisobga olinmaydi va $u_a = u_p$ qabul qilinadi. Unda (3.4.5) quyidagi ko'rinishni egallaydi.

$$X_m = \frac{u_p - U_N^2}{100 \cdot S_N} \quad (3.4.6)$$

Bunda u_k % da, S_N -mVA da, U_k -kV, X_{lr} - Om da o'lchanadi.

Kabel liniyalarda va o'rta kuchlanishli havo liniyalarida aktiv qarshilik induktiv qarshilikka nisbatan katta bo'lsa, aksincha, hamma katta quvvatli transformator va avtotransformatorlarda induktiv qarshilik aktiv qarshilikdan ko'p marta kattadir.

$$X_T \gg R_T$$

YuHR (yuklangan holda rostlanuvchi) transformatorlarning induktiv qarshiligi transformatorning asosiy shoxobchasidan boshqasiga o'tkazilganda aktiv qarshilik R_T ga nisbatan ancha ko'p o'zgaradi. Bu holatni tarmoqlarga tegishli elektr hisoblarida e'tiborga olmaslik mumkin, ammo qisqa tutashuv (Q.T) tokini hisoblashda nazarda tutish kerak.

(3.4.3) va (3.4.6) ifodalardan foydalanib transformator qarshiligining Om qiymatini aniqlashda chulg'am qaysi nominal kuchlanishga tegishli ekanligini hisobga olish kerak. Elektr tarmoqlari hisoblarida hisoblash kuchlanishi qilib unga bevosita ulangan transformator chulg'amining nominal kuchlanishi olinadi.

Aktiv o'tkazuvchanlik GT. Shunday qilib, salt yurish holatida aktiv quvvat isrofi

$$\Delta P_{s,m} = U_N^2 \cdot G_T \quad (3.4.7)$$

bo'lsa, unda aktiv o'tkazuvchanlik

$$G_T = \Delta P_{s,m} / U_N^2 \quad (3.4.8)$$

$\Delta P_{s,m}$ kvT da, U_N -kV da bo'lsa, unda GT aniqlanadi.

$$G_1 = \frac{\Delta P_{\Sigma n}}{10^3 \cdot U_N^2}, \quad C_m \quad (3.4.8a)$$

Reaktiv o'tkazuvchanlik bo'lgani uchun salt yurish ($I_{\Sigma n}\%$) tokning hammasi o'tkazuvchanlik V_t orqali oqadi deb qabul qilish mumkin. Unda transformatorning magnitlash quvvati (ikkinchi chulg'am ochiq qolganda birlamchi chulg'amdagi reaktiv quvvat)

$$\Delta Q_{\Sigma n} = \frac{I_{\Sigma n} \% \cdot S_N}{100}, \quad (3.4.9)$$

Bu yerda $I_{\Sigma n}\%$ -nominal tokka nisbatan salt yurish tokining qiymati, %, Ikkinchi tomondan magnitlash quvvati

$$\Delta Q_{\Sigma n} = U_N^2 \cdot B_T, \quad (3.4.10)$$

(3.4.9) va (3.4.10) ifodalarning o'ng tomonlarini tenglashtirib topamiz:

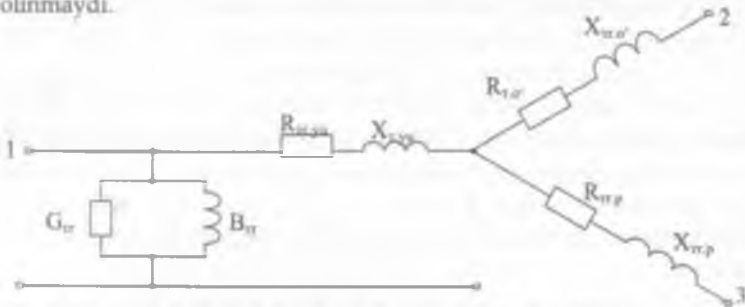
$$B_T = \frac{I_{\Sigma n} \% \cdot S_N}{U_N^2 \cdot 10} \quad (3.4.11)$$

Agarda S_N - kVA da, U_N - kV da bo'lsa, unda

$$B_T = \frac{I_{\Sigma n} \% \cdot S_N}{U_N^2 \cdot 10^3}$$

Bu magnitlash quvvatiga bog'liq o'tkazuvchanlik liniyaning sig'im xarakteriga ega reaktiv o'tkazuvchanligiga qarama-qarshi induktiv xususiyatini namoyon qiladi.

Mahalliy elektr tarmoqlarida o'tkazuvchanliklar ko'pincha hisobga olinmaydi.



3.4.2.-rasm. Uch chulg'amli transformatorning almashtiruv sxemasi

Uch chulg'amli transformatorlarning almashtiruv sxemasi uch nurli yulduz shaklida bo'lib (3.4.2-rasm) unda R_{T1} , R_{T2} , R_{T3} , X_{T1} , X_{T2} , X_{T3} lar YuK,

OK, PK li chulg'amlarga tegishli aktiv va induktiv qarshiliklarning birlamchi chulg'am kuchlanishiga keltirilgan qiymatlaridir.

Uch chulg'amli transformatorlarning chulg'amlari har xil quvvatga mo'ljallangan bo'lishi mumkin. Transformatorlarning nominal quvvati S_N deb, uning ayrim chulg'amining eng katta quvvatiga teng quvvat qabul qiliniladi.

Hozirgi vaqtda ishalb chiqarilayotgan transformatorlarni har qanday chulg'ami 100% quvvatni o'tkaza oladi. Shuning uchun, chulg'amlarning quvvati 100/100/100 bo'lganda, ekvivalent sxema nurlari qarshiliklarining yuqori kuchlanish tomonga keltirilgan qiymatlari taxminan bir xil deb hisoblash mumkin.

$$R_T \quad R_{TYu} \quad R_{TU}^I \quad R_{TP}^I \quad \frac{R_{T.umum}}{2}, \quad (3.4.12)$$

Uch chulg'amli transformatorlarning chulg'amlarini aktiv va induktiv qarshiliklari ikki chulg'amli transformatorlar kabi chulg'amlar juftligi uchun qisqa tutashuv tajribasidan olinadi. Bunda uchinchi chulg'am salt yurish holatida ishlaydi. Bu esa, qarshiliklarni hisoblashda uch chulg'amli transformatorlarning almashtiruv sxemasi ikki ketma-ket ulangan nur deb faraz qilish imkonini beradi.

Aktiv qarshilik. Uch chulg'amli transformatorlar uchun ishlab chiqaruvchi zavod tomonidan eng og'ir holat uchun, ya'ni qisqa tutashuv tajribasidagi maksimal quvvat isrofi $\Delta R_{kt mak}$ beriladi.

Maksimal quvvat isrofi tok ikki chulg'am YuK va OK yoki YuK va PK orqali oqib, uchinchi PK yoki OK ga tegishli chulg'am ochiq qolganda sodir bo'ladi. Bu holatda (bir faza uchun):

$$\Delta P_{K2} = I^2 R_{TYu} + I^2 R_{TU}^I = I^2 R_{TYu} + I^2 R_{TP}^I = 2I^2 R_T, \quad (3.4.13)$$

Boshqa hollarda qisqa tutashuv quvvat isrofi kamroq. Masalan, OK va PK chulg'amlari qisqa tutashtirilib, tok ularning o'rtasida teng taqsimlanganda:

$$\Delta P_{K3} = I R_{TYu} (0,5I)^2 R_{TP}^I + (0,5I)^2 R_{TU}^I = 1,5I^2 R_T,$$

Shunday qilib, eng og'ir holat, tok ikki chulg'am orqali to'liq oqib, uchinchi ochiq qolganda sodir bo'ladi, ya'ni:

$$\Delta P_{KF2} = \Delta P_{KFMAKS}$$

Unda (3.4.13) dan

$$R_{TYu} = R_{TU}^I = R_{TP}^I = \frac{R_{TU/MU/M}}{2} = \frac{\Delta P_{km} \cdot U_N^2}{2S_N^2 \cdot 10^3}, \quad (3.4.14)$$

Induktiv qarshilik. Uch chulg'amli transformatorlar uchun qisqa tutashuv kuchlanishi zavod tomonidan nominal kuchlanishga nisbatan har bir juft chulg'am uchun foiz hisobida beriladi.

Qisqa tutashuv kuchlanishi ikki chulg'am uchun $U_{K(YU-O)}$, $U_{K(O-P)}$, $U_{K(YU-P)}$ ko'rsatiladi va chulg'amlarni o'zaro joylanishiga bog'liq bo'ladi. Kuchlanish $U_{K(YU-O)}$ O'K chulg'amini qisqa tutashtirilib, transformator YuK tomonidan ta'minlangan holda topiladi. $U_{K(YU-P)}$ PK chulg'am qisqa tutashtirilib, transformator YuK tomonidan ta'minlangan holda aniqlanadi: $U_{K(O-P)}$ past kuchlanish chulg'am qisqa tutashtirilib, transformator O'K tomonidan ta'minlangan holda aniqlanadi, unda

$$\begin{aligned}U_{K(YU-O)} &= U_{KYU} = U_{KO} \\U_{K(YU-P)} &= U_{KYU} = U_{KN} \\U_{K(O-P)} &= U_{KO} = U_{KP}\end{aligned}\quad (3.4.15)$$

(3.4.15) tenglamalarini birgalikda yechib, har bir nur uchun qisqa tutashuv kuchlanishini (foiz, hisobida) topamiz:

$$\begin{aligned}U_{KYU} &= 0,5 (U_{K(YU-O)} + U_{K(YU-P)} - U_{K(O-P)}) \\U_{KO} &= 0,5 (U_{K(YU-O)} + U_{K(O-P)} - U_{K(YU-P)}) \\U_{KP} &= 0,5 (U_{K(O-P)} + U_{K(YU-P)} - U_{K(YU-O)})\end{aligned}\quad (3.4.16)$$

Endi uch chulg'amli transformatorlarni induktiv qarshiliklari qisqa tutashuv kuchlanishning bu qiymatlariga asosan har bir nur uchun alohida (3.4.6) bo'yicha topiladi:

$$\begin{aligned}X_{TYU} &= u_{KYU} \cdot u_N^2 / (100Sn) \\X_{TU} &= u_{KU} \cdot u_N^2 / (100Sn) \\X_{TP} &= u_{KP} \cdot u_N^2 / (100Sn)\end{aligned}\quad (3.4.17)$$

Bu qarshiliklar hisoblashni qulaylashtiradigan shartli qiymatini ifodalaydi. Agarda boshqa ikki chulg'am orasida joylashgan biron chulg'am nurini olsak, unda bu nurning qarshiligi qo'shni chulg'amlarning o'zaro ta'siri tufayli doimiy nolga yaqin o'lchamga, yoki katta bo'lmagan manfiy ma'noga egadir (ya'ni sig'im qarshiliklari). Amaliy hisoblarda bu manfiy o'lchamni ko'pincha nolga teng qilib olinadi.

Uch chulg'amli transformatorlarning o'tkazuvchanligi ikki chulg'amli transformatorlar kabi (3.4.8) va (3.4.11) dan topiladi.

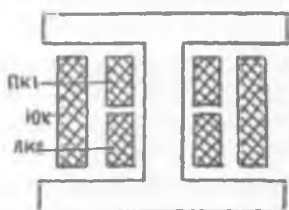
Nazorat savollari:

1. Havo liniyalari, kabellar, transformatorlarda qaysi qarshilik, aktiv va reaktiv qarshilik katta?
2. Transformatorlarda qaysi quvvat isrofi yuklamaga bog'liq, qaysinisi bog'liq emas? Bular nima bilan bog'langan?
3. Transformatorlarni aktiv va induktiv qarshiliklari va o'tkazuvchanliklari ularning nominal quvvati bilan qanday bog'langan?
4. Transformatorlarni aktiv va induktiv qarshiliklari va o'tkazuvchanliklari uning kuchlanishga qanday bog'langan?
5. Uch chulg'amli transformatorlarni o'tkazuvchanliklari ikki chulg'amli transformatorlardan farq qiladimi?
6. Ikki chulg'amli transformatorlarga qaraganda uch chulg'amli transformatorlar qarshiligini hisoblashni o'ziga xos xususiyati nimadan iborat?

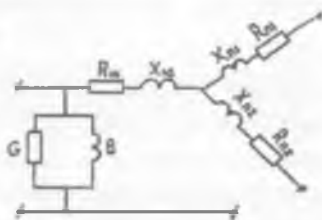
3.5. Chulg'amlari bo'lingan transformatorlar

Biror transformatorga ikki va undan ko'p generatorlarni, yoki bir-biriga bog'lanmagan bir xil yoki har xil (qo'shni klass) kuchlanishli yuklamalarni ulash imkoniyati bo'lishi uchun pasaytiruvchi podstantsiyalarining hozirgi zamon yuqori kuchlanishli transformatorlarini past kuchlanishli chulg'amlari ikki (yoki undan ko'p) shoxobchaga bo'lingan holda tayyorlanadi. Chulg'amlari bo'lingan transformatorlarning (3.5.1-rasm) almashtiruv sxemasi uch nurli yulduz ko'rinishiga ega bo'lib (3.5.2-rasm) unda R_{P1} , R_{P2} , X_{P1} , X_{P2} -PKli bo'lingan chulg'amning birlamchi keltirilgan aktiv va induktiv qarshiliklaridir. Uch fazali transformatorlarda bo'lingan chulg'am shoxobchalari har bir fazada magnit o'zagini bir tomonida (3.5.1-rasm) bir-birining ustiga joylashadi. Shunday qilib, shoxobchalar boshqa asosiy chulg'amga nisbatan bir xil induktiv qarshilikka egadir va ularning aktiv qarshiligi ham bir-biriga tengdir. Amaliy hisoblarni yetarli aniqlik bilan bunday transformatorni umumiy YuK chulg'am tarafdin ta'minlangan bir-biriga bog'liq bo'lmagan

ikki transformator deb faraz qilish mumkin.



3.5.1-rasm. Ikki chulg'amli, Chulg'amlari bo'lingan transformator.



3.5.2-rasm. Chulg'amlari bo'lingan transformatorning almashtiruv sxemasi.

Har bir PK chulg'amning quvvati YuK chulg'ami quvvatining yarmiga, ya'ni transformator nominal quvvatining yarmiga tengdir. Shunday qilib, qarshiliklar esa:

$$R_{P1} = R_{P2} = 2R_{\Sigma} \quad (3.5.1)$$

Chulg'amlari bo'lingan transformatorni past chulg'amini parallel ulasak, u oddiy ikki chulg'amli transformator kabi ishlaydi.

Bunda Yukni chiqish joyidagi va PK₁, PK₂ ning umumiy chiqish joyi orasidagi nominal quvvatga keltirilgan qarshilik R_{UMUM}, X_{UMUM}ga teng bo'ladi.

$$\begin{aligned} R_{UMUM} &= R_{\Sigma} + R_{P1} \cdot R_{P2} / (R_{P1} + R_{P2}) \\ X_{UMUM} &= X_{\Sigma} + X_{P1} \cdot X_{P2} / (X_{P1} + X_{P2}) \end{aligned} \quad (3.5.2)$$

(3.5.2) ni hisobga olganda

$$R_{\Sigma} = 0,5R_{UMUM}$$

Uch fazali bo'lingan chulg'amli transformatorlarda magnit aloqaning darajasi oddiy ikki chulg'amlikdan farq qilib, chulg'amlarni o'zakda qanday joylashganiga bog'liq bo'ladi. Bo'lingan chulg'amlar birining ustiga biri joylashganda bo'linish koefitsiyenti 3,5 ga teng va uch fazali transformatorning qarshiligi:

$$X_{P1} = X_{P2} = 1,8X_{UMUM}$$

Chulg'amlari bo'lingan transformatorni qo'llashdan maqsad YuK tomonida kattalashtirilgan induktiv qarshilikni olishdir. Shu tufayli YuK shinasi tomonidagi qisqa tutashuv quvvati deyarli ikki marta kamayadi, bu ko'p hollarda tokni chegaralaydigan reaktorlarsiz ishlashga imkon beradi.

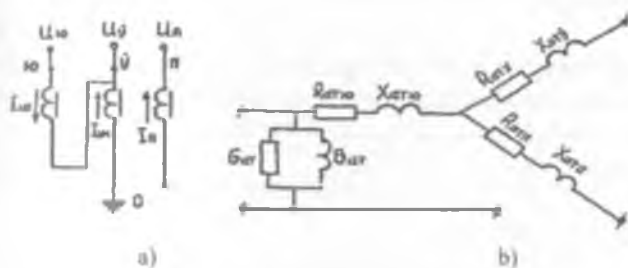
Hozirgi paytda uch fazali chulg'amlari bo'lingan ikki chulg'amli transformatorlar 110 va 220 kV kuchlanishlari uchun qabul qiluvchi podstansiyalarning asosiy transformatorlari hisoblanadi.

Nazorat savollari:

1. Chulg'amlari bo'lingan transformatorlarni afzalliklari nimadan iborat?
2. Chulg'amlari bo'lingan transformatorlarni ikki chulg'amli transformatorlar kabi ishlatish mumkinmi?

3.6. Avtotransformatorlarning parametrlari

Avtotransformator (3.6.1-rasm) deb shunday transformator aytiladiki, unda o'rta kuchlanish chulg'ami (O'K) yuqori kuchlanish chulg'ami (YuK) ning bir qismini tashkil qiladi.



3.6.1-rasm

a-Avtotransformator chulg'amlarining ulanishi.

b-Avtotransformatorning almashtirish sxemasi.

Shunday qilib, yuqori kuchlanishli chulg'ami ikki qismdan –Yu va O' orasidagi faqat yuqori kuchlanish toki I_{yu} oqadigan ketma-ket chulg'amdan va O' va O orasidagi qarama-qarshi tomonga yuqori va o'rta kuchlanish toklari, ya'ni ularning ayirmasi oqadigan umumiy chulg'amdan iboratdir.

$$I_{O'O} = I_n - I_{yu} \quad (3.6.1)$$

Hamma 220, 330, 500 kV li avtotransformatorlarda o'rta kuchlanish chulg'ami O'K yuqori kuchlanish chulg'ami YuK va past kuchlanish chulg'ami PK orasida joylashgan holda bo'lib, yuqori va o'rta kuchlanish chulg'amlarining uchta fazasi O nuqtasida yulduzga yig'ilgan bo'lib, bu ikkala kuchlanish uchun umumiy yerga bevosita ulangan nol nuqtani

tashkil etadi. Past kuchlanish chulg'ami boshqa chulg'amlar bilan magnit aloqaga ega.⁷

Agar har bir YuK va O'K chulg'amlar quvvatini 100% deb qabul qilsak, PK chulg'amini quvvati 20-50% ni tashkil etadi.

Uchinchi garmonika toklarini kompensatsiya qilish uchun past kuchlanish chulg'ami PK har doim uchburchakka yig'iladi. Ba'zan, bu chulg'amga hech qanday iste'molchi ulanmaydi.

Avtotransformatolar quyidagi afzalliklarga ega: narxi, o'lchami, og'irligi, quvvat isrofi kam. Kamchiligi - yuqori va o'rta kuchlanish tomonlari orasidagi elektr aloqasidir, masalan, agar transformator yuqori kuchlanish tomonidan yerga ulangan bo'lsa, unda u o'rta kuchlanish tomonidan ham yerga ulangan bo'lib qoladi.

Avtotransformatorning nominal quvvati deb, YuK yoki O'K chulg'amlarining quvvati qabul qilinadi:

$$S_N = \sqrt{3}U_m \cdot I_m = \sqrt{3}U_n \cdot I_n \quad (3.6.2)$$

Transformatorning katta-kichikligi (gabaritini), quvvat isrofi va boshqa xususiyatlarini aniqlaydigan quvvat - avtotransformatorning andazali (tipovoy) quvvati deyiladi va bu quvvat transformator chulg'amlari ayrim-ayrim ishlagandagina yuzaga chiqadi.

$$S_{ind} = \sqrt{3}I_m \cdot U_n = \sqrt{3}U_n(I_n - I_m) = \sqrt{3}I_m(U_n - U_m) \quad (3.6.3)$$

unda (3.6.2) va (3.6.3) dan

$$\frac{S_{ind}}{S_N} = \frac{\sqrt{3}I_m(U_n - U_m)}{\sqrt{3}U_m \cdot I_m} = \frac{U_n - U_m}{U_m} \quad (3.6.4)$$

ya'ni

$$\frac{S_{ind}}{S_N} = 1 - \frac{1}{K} \quad (3.6.5)$$

Bunda $K=U_n/U_m$ transformatsiya koeffitsiyentidir.

Shunday qilib, avtotransformator uzatish mumkin bo'lgan andazali quvvat nominal quvvatdan kamdir. Bunday chulg'amlar kuchlanishi 220 va 110 kV va $K=220/110=2$ bo'lganda (3.6.5) ga asosan ya'ni avtotransformatolar orqali o'sha bir xil katta-kichiklik va bir xil miqdordagi quvvat isrofida, transformatorlarga qaraganda ikki marta ko'p quvvat uzatish mumkin.(3.6.5) dan ko'rinadiki, S_N va S_{ind} orasida munosabat transformatsiya koeffitsiyenti K ga bog'liq.

⁷ Steven W.Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley - Interscience A John Wiley&Sons, INC Publication. 2007, 260 p.

K ning qiymati qancha katta bo'lsa, ($K > 1$) masalan, 330/110, 500/110 va hokazo, bu ajoyib ta'sir shuncha kam, ya'ni K qancha kichik bo'lsa, avtotransformator shuncha qulay bo'ladi.

Aktiv qarshilik P. Avtotransformatorlar uchun zavod tomonidan aktiv quvvat isrofining eng katta qiymati uch chulg'amli transformatorlarda bo'lganidek, butun transformator uchun berilmay, balki har bir juft chulg'am uchun beriladi, ya'ni

$$\Delta P_{Q(YU-P)}, \Delta P_{Q(YU-P)}, \Delta P_{Q(O-P)}.$$

Uch chulg'amli transformatorning almashtiruv sxemasidan yulduz nurlarining aktiv qarshiliklari P_{ATYU} , P_{ATU} va P_{ATP} zarur aniqlikda topish uchun quyidagi ifodalardan foydalaniladi:

$$\begin{aligned} \Delta P_{YU} &= 0,5(\Delta P_{\pi(YU-\pi)} + \Delta P_{\pi(YU-P)} - \Delta P_{\pi(U-P)}) \\ \Delta P_{U} &= 0,5(\Delta P_{\pi(YU-\pi)} + \Delta P_{\pi(U-P)} - \Delta P_{\pi(YU-P)}) \\ \Delta P_{P} &= 0,5(\Delta P_{\pi(YU-P)} + \Delta P_{\pi(U-P)} - \Delta P_{\pi(YU-\pi)}) \end{aligned} \quad (3.6.6)$$

unda

$$\begin{aligned} R_{YU} &= \Delta P_{YU} \cdot U_N^2 / S_N^2 \cdot 10^3 \\ R_U &= \Delta P_U \cdot U_N^2 / S_N^2 \cdot 10^3 \\ R_P &= \Delta P_P \cdot U_P^2 / S_P^2 \cdot 10^3 \end{aligned} \quad (3.6.7)$$

Uch chulg'amli transformatorlardagi kabi aktiv qarshilik R_{AT} , ham chulg'amning quvvatiga bog'liq.

Induktiv qarshilik X_{AT} . Bu qarshilik uch chulg'amli transformatorlardagi kabi (3.4.16) va (3.4.17) ifodalar orqali topiladi.

Avtotransformatorlarning o'tkazuvchanligi ikki chulg'amli transformatorlarga o'xshab, (3.4.8) va (3.4.11) ifodalar orqali topiladi.

Nominal quvvatga keltirib qayta hisoblash. Shunday qilib past kuchlanish chulg'ami OK va YuK chulg'amlari bilan magnitli bog'langanligi sababli zavod tomonidan qisqa tutashuv quvvat isrofi $\Delta P_{\pi(YU-P)}$ va $\Delta P_{\pi(U-P)}$ ni qiymati andazali quvvat uchun beriladi. Ko'pincha bu qiymatni S_{nom} ga keltirib qayta hisoblashga to'g'ri keladi va quvvat isrofi quvvatning kvadratiga proporsional bo'lgani tufayli S_N^2 / S_{and}^2 nisbatdan foydalaniladi.

$$\begin{aligned} \Delta P_{\pi(YU-\pi)} &= \Delta P_{\pi(YU-P)} \\ \Delta P_{\pi(YU-P)} &= \Delta P_{\pi(YU-P)} \cdot (S_N / S_{and})^2 \\ \Delta P_{\pi(U-P)} &= \Delta P_{\pi(U-P)} \cdot (S_N / S_{and})^2 \end{aligned} \quad (3.6.8)$$

Bu yerda chiziqli qiymatlar nominal quvvatga keltirilgan qiymatlardir.

Qisqa tutashuv kuchlanishini qaytadan hisoblash kvadratga ko'tarishni talab qilmaydi, chunki qisqa tutashuv kuchlanishi quvvatning kvadratiga emas, quvvatning o'ziga mutanosib bo'lgan nominal tokda o'lchanadi.

$$\begin{aligned} U_{s1(p-q)}^1 &= U_{s1(p-q)} \\ U_{s1(p-q)}^2 &= U_{s1(p-q)} (S_N / S_{m1}) \\ U_{s1(p-q)}^3 &= U_{s1(p-q)} (S_N / S_{m2}) \end{aligned} \quad (3.6.9)$$

Nazorat savollari:

1. Avtotransformatorlarning o'ziga xos xususiyati nimadan iborat? Uning afzalliklari.
2. Avtotransformatorlarning andazali va nominal quvvati nima? Ularning qaysi biri katta?
3. Avtotransformatorlar qaysi transformatsiya koeffitsiyentida (katta, kichik) foydali?
4. Avtotransformatorlarda o'tkazuvchanlik chulg'amlarning ulanishiga yoki ularning soniga bog'liqmi? U qanday hisoblanadi?

3.6.1. Mavzuga doir misollar

1-masala. Uch fazali ikki chulg'amli TPAC-80000/220 transformatorni almashtiruv sxemasi parametrlarini aniqlang.

Yechish. 2-ilovadagi 4-jadvaldan transformator uchun texnik ma'lumotlarni yozib olamiz.

$$\begin{aligned} S_N &= 80000 \text{ kVA}, & U_n &= 242 \text{ kV}, & P_{\text{ayn}} &= 105 \text{ kW}, \\ \Delta P_{\text{qt}} &= 320 \text{ kW}, & I_{\text{ayn}} &= 0,6\%, & U_{\text{qt}} &= 11\%. \end{aligned}$$

Chulg'amlarning aktiv qarshiligi:

$$P_i = \frac{\Delta P_{\text{qt}} U_n^2 \cdot 10^3}{S_N^2} = \frac{320 \cdot 242^2 \cdot 10^3}{80000^2} = 2,93 \text{ Om}$$

Chulg'amlarning induktiv qarshiligi:

$$X_i = \frac{U_{\text{qt}} \cdot U_n^2 \cdot 10^3}{S_N} = \frac{11 \cdot 242^2 \cdot 10^3}{80000} = 80,5 \text{ Om}$$

Transformatorning aktiv o'tkazuvchanligi:

$$G_i = \frac{\Delta P_{\text{ayn}}}{U_n^2 \cdot 10^3} = \frac{105 \cdot 10^{-3}}{242^2} = 1,79 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}$$

Transformatorning reaktiv o'tkazuvchanligi:

$$B = \frac{\Delta Q_{\mu}}{U_{\mu}^2 \cdot 10^3} = \frac{I_{\mu} \% S_n}{U_{\mu}^2 \cdot 10^3 \cdot 100} = \frac{0,6 \cdot 80000}{242^2 \cdot 10^3} = 7,58 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}$$

2-masala. Uch fazali uch chulg'amli TΔUΗ-63000/220 transformatori uch nurli almashtiruv sxemasining yuqori kuchlanishga keltirilgan parametrlarini aniqlang.

Yechish. 2-ilovadagi 4-jadvaldan texnik ma'lumotlarni yozib olamiz.

$$S_n = 63000 \text{ kVA}, \quad U_n = 230 \text{ kV}, \quad P_{\text{ayn}} = 91 \text{ kW}, \quad \Delta P_{qt} = 320 \text{ kW},$$

$$I_{\text{ayn}} = 1,0 \%, \quad U_{qt1-2} = 11 \%, \quad U_{qt1-3} = 12,5 \%, \quad U_{qt2-3} = 10,5 \%.$$

Chulg'am quvvatlari orasidagi bog'lanish 100/100/100.

Qisqa tutashuv quvvat isrofi ΔP_{qt} qisqa tutashuv tajribasida ikkita chulg'am ishtirok etgan holat uchun berilgan. Umumiy aktiv qarshilik qiymatini aniqlaymiz:

$$R_{\text{umum}} = \frac{\Delta P_{qt} U_{qt}^2 \cdot 10^3}{S_n^2} = \frac{320 \cdot 230^2 \cdot 10^3}{63000^2} = \frac{16928}{3963} = 4,26 \text{ Om}$$

Chulg'amlarning aktiv qarshiliklarini aniqlaymiz:

$$R_{r1} = R_{r2} = R_{r3} = 0,5 R_{\text{umum}} = 0,5 \cdot 4,26 = 2,13 \text{ Om}$$

Uch fazali almashtiruv sxemasi nurlarining qisqa tutashuv kuchlanishi:

$$U_{qt1} = 0,5(U_{qt1-2} + U_{qt1-3} - U_{qt2-3}) = 0,5(24 + 12,5 - 10,5) = 13 \%$$

$$U_{qt2} = 0,5(U_{qt2-3} + U_{qt1-2} - U_{qt1-3}) = 0,5(24 + 10,5 - 12,5) = 11 \%$$

$$U_{qt3} = 0,5(U_{qt1-3} + U_{qt2-3} - U_{qt1-2}) = 0,5(10,5 + 12,5 - 24) = 0$$

Nurlarning induktiv qarshiliklarini aniqlaymiz:

$$X_{r1} = \frac{U_{qt1} \cdot U_n^2 \cdot 10^3}{S_n^2} = \frac{13 \cdot 242^2 \cdot 10^3}{63000^2} = 120,84 \text{ Om}$$

$$X_{r2} = \frac{U_{qt2} \cdot U_n^2 \cdot 10^3}{S_n^2} = \frac{11 \cdot 242^2 \cdot 10^3}{63000^2} = 102,25 \text{ Om}$$

$$X_{r3} = \frac{U_{qt3} \cdot U_n^2 \cdot 10^3}{S_n^2} = 0$$

Hisoblardan ko'rinadiki, katta quvvatli transformatorlarda aktiv qarshilik induktiv qarshilikka nisbatan ancha kichik bo'lganligi sababli hisobga olinmasa ham bo'ladi.

Transformatorning aktiv o'tkazuvchanligi:

$$G_r = \frac{\Delta P_{\text{ayn}}}{U_n^2 \cdot 10^3} = \frac{91}{242^2 \cdot 10^3} = 1,55 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}$$

Reaktiv quvvatni aniqlaymiz:

$$Q_n = \frac{I_{nom} \cdot S_n}{100} = \frac{1,1 \cdot 63000}{100} = 693 \text{ kVar}$$

Transformatorning reaktiv o'tkazuvchanligi:

$$B_s = \frac{\Delta Q_n}{U_n^2 \cdot 10^3} = \frac{693}{242^2 \cdot 10^3} = 1,85 \cdot 10^{-3} \text{ Sm}$$

3-masala. Birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari nominal kuchlanishga keltirilgan TM-630/10 transformatorning almashtirish sxemasi parametrlarini aniqlang.

Yechish. 2-ilovadagi 1-jadvaldan transformator uchun ma'lumotlar olamiz.

$$S_n = 630 \text{ kVA}; \quad U_{nyu} = 10 \text{ kV}; \quad U_{np} = 0,4 \text{ kV}; \quad \Delta P_{qt} = 8,5 \text{ kW}; \\ \Delta P_{syu} = 1,65 \text{ kW}; \quad \Delta U_{qt} = 5,5\%; \quad I_{s, yu} = 3\%$$

Kuchlanishni kV da, quvvatni mVA da, qarshilikni Om da va o'tkazuvchanlikni – Sm (simens)da olamiz. Transformatorning birlamchi chulg'am (10kV) va ikkilamchi chulg'am (0,4kV) ga keltirilgan r_1 va r_2 larni aniqlaymiz. Yuqori kuchlanishga keltirilgan r_1 ni hisoblashda $U_{yu, nom} = 10 \text{ kV}$ ni, past kuchlanish tomoniga keltirilgan r_2 ni hisoblashda $U_{p, nom} = 0,4 \text{ kV}$ qiymatlarni qo'yamiz.

$$r_{qt} = \frac{\Delta P_{qt} \cdot U_{yu, nom}^2}{S_n^2} = \frac{8,5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2}{0,63^2} = 2,14 \text{ Om}$$

$$r_p = \frac{\Delta P_{qt} \cdot U_{p, nom}^2}{S_n^2} = \frac{8,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4^2}{0,63^2} = 3,43 \cdot 10^{-3} \text{ Om}$$

Kichik quvvatli transformator chulg'amlarining induktiv qarshiligini aniqlash uchun $U_{qt}\%$ ga teng bo'lmagan $U_{qt,r}\%$ ni aniqlash kerak. Shuning uchun oldindan aktiv qarshilikdagi kuchlanish yo'qotilishini foizda $U_{qt,a}\%$, keyin $U_{qt,r}\%$ da topamiz:

$$U_{qt,a}\% = \frac{\sqrt{3} I_{nom} \cdot r_1}{U_n^2} 100\% = \frac{S_n r_1}{U_n^2} 100\% = \frac{\Delta P_{qt}}{S_n} 100\% = \frac{8,5 \cdot 10^{-3}}{0,63} 100\% = 1,35\%$$

$$U_{qt,r}\% = \sqrt{U_{qt}^2 - U_{qt,a}^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,35^2} = 5,33\%$$

Bu qiymatdan X_{nyu} va X_{tp} ni topamiz:

$$X_{nyu} = \frac{U_{qt,r}^{\%} \cdot U_{yu, nom}^2}{100 S_n} = \frac{5,33 \cdot 10^2}{100 \cdot 0,63} = 8,64 \text{ Om}$$

$$X_p = \frac{U_{qt,r}^{\%} \cdot U_{p, nom}^2}{100 S_n} = \frac{5,33 \cdot 0,4^2}{100 \cdot 0,63} = 1,35 \cdot 10^{-2} \text{ Om}$$

Magnitlashning aktiv o'tkazuvchanligini aniqlaymiz:

$$G_{nv} = \frac{\Delta P_{\text{ctn}}}{U_{\text{fz, nom}}^2} = \frac{1,65 \cdot 10^{-3}}{10^2} = 1,65 \cdot 10^{-5} \text{ Sm}$$

$$G_{\varphi} = \frac{\Delta P_{\text{gib}}}{U_{\text{fz, nom}}^2} = \frac{1,65 \cdot 10^{-3}}{0,4^2} = 1,03 \cdot 10^{-2} \text{ Sm}$$

Magnitlashning reaktiv o'tkazuvchanligini aniqlaymiz:

$$B_{nv} = \frac{I_{\text{xyu}} \% S_{\text{nom}}}{100 U_{\text{fz, nom}}^2} = \frac{3 \cdot 0,63}{100 \cdot 10^2} = 1,89 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}$$

$$B_{\varphi} = \frac{I_{\text{gib}} \% S_{\text{nom}}}{100 U_{\text{fz, nom}}^2} = \frac{3 \cdot 0,63}{100 \cdot 0,4^2} = 0,12 \text{ Sm}$$

Kichik quvvatli transformatorlarda magnitlash quvvatini salt yurish quvvat isrofi bilan almashtirilgan almashtirish sxemasini ishlatish mumkin.

$$\Delta S_{\text{xyu}} = \Delta P_{\text{ctn}} + j \Delta Q_{\text{xyu}}$$

Reaktiv quvvat isrofini aniqlaymiz:

$$\Delta Q_{\text{xyu}} = \frac{3 \cdot 0,63}{100} = 0,0189 \text{ MVar}$$

Unda

$$\Delta S_{\text{xyu}} = (1,65 + j18,9) \cdot 10^3 \text{ MVA}$$

2-ilovadagi 1-jadvaldan to'g'ridan - to'g'ri yuqori kuchlanish tomonga keltirilgan r_1 va x_1 va ΔQ_{xyu} ni olishimiz mumkin. $r_1=2,12 \text{ Om}$, $x_1=8,5 \text{ Om}$, $\Delta Q_{\text{xyu}}=0,0189 \text{ MVar}$.

Jadvallar yordamida qiymatlarni aniqlash hisoblashlarni ancha soddalashtiradi.

4-masala. Ikki parallel ulangan T4H-10000/110 transformatorni yuqori kuchlanishga keltirilgan almashtirish sxemasi parametrlarini aniqlang.

Yechish. 2-ilovadagi 3-jadvaldan transformator uchun ma'lumotlar olamiz.

$$S_n=10 \text{ MVA}; \quad U_{\text{nyu}}=115 \text{ kV}; \quad U_{\text{np}}=11 \text{ kV}; \quad \Delta P_{\text{qt}}=60 \text{ kW};$$

$$\Delta P_{\text{xyu}}=14 \text{ kW}; \quad \Delta U_{\text{qt}}=10,5\%; \quad I_{\text{xyu}}=0,7\%$$

Almashtirish sxemasining bitta transformator parametrlarini aniqlaymiz.

Yuqori kuchlanishga keltirilgan almashtirish sxemasi parametrlarini aniqlashda ifodaga U_{nyu} ni qo'yish kerak:

$$r_1 = \frac{60 \cdot 10^{-3} \cdot 115^2}{10^2} = 7,94 \text{ Om} \quad X_1 = \frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 10} = 139 \text{ Om}$$

$$G_1 = \frac{14 \cdot 10^{-4}}{115^2} = 1,66 \cdot 10^{-6} \text{ Sm} \quad \Delta Q_{1, \text{yu}} = \frac{10 \cdot 0,7}{100} = 0,07 \text{ MVAr}$$

$$B_1 = \frac{0,07}{115^2} = 5,293 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}$$

2-ilovadagi 3-jadvaldan TΔH-10000/110 transformatorning parametrlarini to'g'ridan - to'g'ri olish mumkin. $r_1=7,95 \text{ Om}$, $x_1=139 \text{ Om}$, $\Delta Q_{1, \text{yu}}=70 \text{ kVAr}$.

Umumiy holatda k sonli transformatorni parallel ulaganda r_{ek} va x_{ek} k marta kamayadi, o'tkazuvchanliklar B_{ek} va G_{ek} k marta oshadi, ya'ni $k=2$ holat uchun.

$$r_{\text{ek}} = \frac{7,95}{2} = 3,98 \text{ Om} \quad x_{\text{ek}} = \frac{139}{2} = 69,5 \text{ Om}$$

$$G_{\text{ek}} = 2 \cdot 1,66 \cdot 10^{-6} = 3,32 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}$$

$$B_{\text{ek}} = 2 \cdot 5,29 \cdot 10^{-6} = 10,58 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}$$

$U_{\text{nyu}}=110 \text{ kV}$ transformatorni almashtirish sxemasida magnitlovchi salt yurish quvvat isrofi hisobga olinadi. Ko'rilayotgan holat uchun quvvat isrofi quyidagini tashkil etadi:

$$\Delta S_{\text{nyu}}=2(14+j70)=(0,028+j0,14) \text{ MVA}$$

5-masala. Uch chulg'amli TΔHT-40000/220 transformatorning almashtirish sxemasi yuqori kuchlanish tomonga keltirilgan parametrlarini aniqlang.

Yechish. 2-ilovadagi 6-jadvaldan transformator uchun ma'lumotlar olamiz.

$$S_n=40 \text{ MVA}, \quad U_{\text{yu}}=230 \text{ kV}, \quad U_{\text{on}}=38,5 \text{ kV}, \quad U_{\text{pn}}=11 \text{ kV},$$

$$U_{\text{qt(yu-p)}}\%=22\%, \quad U_{\text{qt(yu-o)}}\%=12,5\%, \quad U_{\text{qt(o-p)}}\%=9,5\%,$$

$$\Delta P_{\text{qt(yu-p)}}=P_{\text{qt(yu-o)}}=P_{\text{qt(o-p)}}=220 \text{ kW}, \quad \Delta P_{\text{s yu}}=55 \text{ kW}, \quad I_{\text{s yu}}=1,1\%.$$

Chulg'amlarning quvvatlari nisbati 100/100/100%.

Ko'rilayotgan holatda chulg'amlar quvvatlari bir xil bo'lgan holat uchun:

$$\Delta P_{\text{qt yu}}=P_{\text{qt o}}=P_{\text{qt p}}=0,5 P_{\text{qt(yu-p)}}=0,5 \cdot 220=110 \text{ kW};$$

Ko'rilayotgan transformator uchun:

$$U_{\text{qt yu}}=0,5(22+12,5-9,5)=12,5\%$$

$$U_{\text{qt o}}=0,5(12,5+9,5-22)=0$$

$$U_{\text{qt p}}=0,5(22+9,5-12,5)=9,5\%$$

Uch chulg'amli transformator almashtirish sxemasi chulg'am nurlarining aktiv qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$r_{i,yw} = r_{i,o} = r_{i,p} = \frac{110 \cdot 10^{-3} \cdot 230^2}{40^2} = 3,64 \text{ Om}$$

Chulg'am nurlarining induktiv qarshiligi, tegishli nurlarni qisqa tutashuv kuchlanish yo'qotilishini qo'yganimizdan so'ng aniqlanadi.

$$X_{i,yw} = \frac{U_{q,yw} \cdot U_{yw}^2}{100S_n} = \frac{12,5 \cdot 230^2}{100 \cdot 40} = 165 \text{ Om} \quad X_{i,o} = \frac{U_{q,yw} \cdot U_{yw}^2}{100S_n} = 0$$

$$X_{i,p} = \frac{U_{q,p} \cdot U_{p}^2}{100S_{i,n}} = \frac{9,5 \cdot 230^2}{100 \cdot 40} = 126 \text{ Om}$$

Reaktiv quvvat isrofi:

$$\Delta Q_{i,yw} = \frac{1,1 \cdot 40}{100} = 0,44 \text{ MVar}$$

3.6.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar

1-misol. TMH-6300/35 transformatorining almashtirish sxemasini tuzing va uning parametrlarini ikkala nominal kuchlanishni galma-gal bazis qiymat sifatida qabul qilib aniqlang.

2-misol. TMH-16000/110 transformatorining almashtirish sxemasini tuzing va uning parametrlarini yuqori kuchlanish chulg'amiga keltirib hisoblang.

3-misol. ATΔCH-32000/220/110/11 transformatorining almashtirish sxemasini tuzing va uning parametrlarini aniqlang.

4-misol. ATΔCH-100000/220/110 avtotransformatorning almashtirish sxemasini tuzing va avtotransformatorning yuqori kuchlanish chulg'amiga keltirib uning parametrlarini aniqlang.

5-misol. TΔH-125000/220 transformatorining almashtirish sxemasini tuzing va uning parametrlarini yuqori kuchlanish chulg'amiga keltirib hisoblang.

6-misol. Nominal yuklamada $\cos\phi=1$ holat uchun kuchlanishni pasayishi nominal kuchlanishga nisbatan 2,4% ni tashkil qilgan, qisqa tutashuv kuchlanishi 5,5% bo'lgan TM-1600/10 transformatorining aktiv va reaktiv qarshiliklarini yuqori kuchlanish chulg'amiga keltirib hisoblang.

IV. ELEKTR TARMOQLARI ISH TARTIBINING TAHLILI

Ma'lumki, elektr energiyani uzatish jarayoni simlarning elektromagnit maydoni tufayli amalga oshiriladi va bu jarayon to'liqsimon xususiyatga ega bo'lib, bunda energiyani isrofi sodir bo'ladi, ya'ni tok simlar va transformatorlardan oqayotganda ularni befoyda qizishini yuzaga keltiradi.

Bu isrof yuklama toklari bilan bog'liq bo'lganligi tufayli yuklamali deb aytiladi. O'rtacha, isrof uzatilayotgan quvvatning 10% ni tashkil qilib, davlat uchun bir yilda yuz millionlab so'm zararga aylanadi. Yil bo'yichagi bu isrofga ketadigan xarajatdan tashqari bunday sistemalarda isrofnı qoplash uchun stansiya qurilmalariga qo'shimcha uskunalar, reaktiv energiya kompensatsiyasi uskunalari, qo'shimcha xodimlar, yoqil'gi va boshqalar uchun bir vaqtning o'zida sarflanadigan qo'shimcha mablag' zarurdir. Shuning uchun bu isrofnı kamaytirish yo'llarini qidirib, tadbirlarini ishlab chiqarmoq uchun doimiy ilmiy tekshirish ishlarini olib bormoq zarurdir.

Asosan yangicha yo'l bilan energiyani uzatishga yuqori o'tkazuvchanlik liniyalariga tegishlidir, bularda energiya 4°K haroratgacha sovitilgan maxsus qotishmalaridan bajarilgan simlar orqali uzatiladi. Bunday liniyalarni yaratishning asosiy qiyinchiliklari past haroratni ushlab turishdir.

Katta oqimdagi energiyani isrofsiz uzatish uchun juda ko'p muammo va masalalarni yechish kerak.

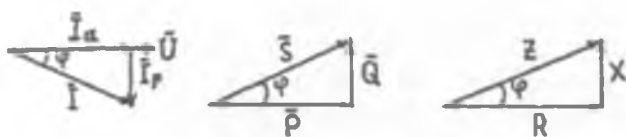
4.1. Liniya va transformatorlarda quvvat isrofi

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

$$\Delta P = 3I^2 \cdot R = 3 \cdot (I_a^2 + I_p^2) \cdot R \quad (4.1.1)$$

$$\Delta Q = 3I^2 \cdot X = 3 \cdot (I_a^2 + I_p^2) \cdot X \quad (4.1.2)$$

Bu yerda R va X – liniyaning aktiv va induktiv qarshiliklari I_a va I_p – yuklama to'liq toki I ni aktiv va reaktiv tashkil etuvchilarining qiymatlari.



4.1.1-rasm. a) Tok. b) quvvat. v) qarshilik uchburchaklari

Bilamizki,

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi; \quad Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi \quad (4.1.3)$$

To'liq tok qiymatini uning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari orqali ifodalaymiz.

$$I \cos \varphi = I_a, \quad I \sin \varphi = I_p \quad (4.1.4)$$

I_a va I_p qiymatlarini (4.1.3) ga qo'yib topamiz:

$$P = \sqrt{3}I_a \cdot U, \quad Q = \sqrt{3}I_p \cdot U \quad (4.1.5)$$

undan

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3}U}, \quad I_p = \frac{Q}{\sqrt{3}U} \text{ - aniqlangan ifodani (4.1.1) va (4.1.2) ga qo'yib,}$$

elektr tarmoqlari uchun juda ham zarur bo'lgan ifodani olamiz:

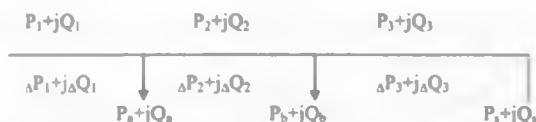
$$\Delta P = 3I^2 \cdot R = 3 \cdot \left(\frac{I^2}{3U^2} + \frac{Q^2}{3U^2} \right) \cdot R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R = \frac{S^2}{U^2} \cdot X. \quad (4.1.6)$$

$$\Delta Q = 3I^2 \cdot X = 3 \cdot \left(\frac{P^2}{3U^2} + \frac{Q^2}{3U^2} \right) \cdot X = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot X = \frac{S^2}{U^2} \cdot X. \quad (4.1.7)$$

Bu yerda S 4.1.1 b-rasmga asosan to'liq quvvat.

Olingan ifodalardan xulosalar:

1. Aktiv va shuningdek reaktiv quvvatlar isrofi R va Q ga bog'liqdir.
2. Isrof kuchlanish kvadratiga teskari proporsional. Shuning uchun kuchlanishni kichik biror qiymatga ko'tarilishi quvvat isrofini anchaga kamaytiradi. Ammo kuchlanishni ko'tarish sarflangan mablag' vositalarini qo'shimcha oshirishni talab qiladi.
3. Bir necha yuklama bo'lgan liniyadagi quvvat isrofi har bir uchastkasidagi quvvat isroflarining yig'indisidan iboratdir.

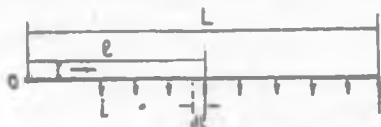


$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_n$$

$$\Delta Q_{\Sigma} = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \dots + \Delta Q_n$$

Bu yerda ΔP_1 , ΔP_2 va ΔQ_1 , ΔQ_2 – tegishli (4.1.6) va (4.1.7) ifodalari orqali aniqlanadi.

4. Yuklama liniyaning uzunligi bo'yicha bir xil taqsimlanganda quvvat



4.1.2 – rasm

isrofi. Liniyaning butun uzunligida simning kesim yuzasi bir xil deb qabul qilamiz:

Uzunlik birligidagi liniyaning yuklamasini i_0 orqali belgilaymiz, ya'ni $i_0 = I/L$, A/km, liniyaning boshidan o'zgaruvchan uzunlik l gacha bo'lgan ta'minlanuvchi liniyada joylashgan juda kichik dl masofadagi yuklama idl bo'ladi.

Tok tufayli yuzaga keladigan, qarshiliklari $z_0 = r_0 + jx_0$ bo'lgan idl uzunlikdagi liniyada quvvat isrofi:

$$d(\Delta P) = 3(i l)^2 r_0 dl$$

Butun ko'rilayogan L uzunlik liniyasidagi ΔP ni aniqlash uchun 0 va L oralig'idagi hamma juda kichik (ΔP) qiymatlarini qo'shib chiqamiz, ya'ni,

$$\Delta P = \int_0^L 3 \cdot (i \cdot l)^2 r_0 dl = 3i^2 r_0 \int_0^L l^2 \cdot dl = 3i^2 r_0 \left[\frac{l^3}{3} \right]_0^L = 3i^2 r_0 \frac{L^3}{3} - 0 = i^2 r_0 L^3$$

$i = \frac{1}{L}$ bo'lganligi uchun ifoda quyidagi ko'rinishni oladi

$$\Delta P = \frac{I^2}{L^2} \cdot L^3 \cdot r_0 = I^2 L r_0 = I^2 \cdot R = \frac{P^2 + Q^2}{3U^2} \cdot R \quad (4.1.8)$$

Shunga o'xshash

$$\Delta Q = I^2 X = \frac{P^2 + Q^2}{3U^2} \cdot X \quad (4.1.9)$$

Shunday qilib, yuklama liniya bo'yicha bir xil taqsimlanganda quvvat isrofi xuddi shu yuklama liniyaning oxirida bo'lganiga nisbatan uch marta kam bo'ladi, ya'ni (4.1.6), (4.1.7) va (4.1.8), (4.1.9) ifodalarni taqqoslang.

5. Uch fazali sistema juda keng tarqalgandir, chunki bu sistemada xuddi shu quvvat va kuchlanishda bir fazali sistemaga nisbatan quvvat isrofi kamdir.

Haqiqatdan uch fazali tarmoqlar uchun

$$S = \sqrt{3}UI, \quad I_1 = \frac{S}{\sqrt{3}U}, \quad (4.1.10)$$

Bir fazali tarmoqlar uchun

$$S = UI, \quad I_1 = \frac{S}{U}. \quad (4.1.11)$$

Uch fazali tarmoq uchun quvvat isrofi

$$\Delta P_1 = 3I_1^2 R, \quad \Delta Q = 3I_1 \cdot X, \quad (4.1.12)$$

bir fazali tarmoq uchun

$$\Delta P_1 = 2I_1^2 R, \quad \Delta Q_1 = 2I_1 \cdot X, \quad (4.1.13)$$

(4.1.10) va (4.1.11) ni tegishli bo'lgan (4.1.12) va (4.1.13) ga qo'yganimizdan keyin, quyidagilarni olamiz:

uch fazali tarmoq uchun quvvat isrofi

$$\Delta P_1 = \frac{S^2}{U^2} R, \quad \Delta Q_1 = \frac{S^2}{U^2} X, \quad (4.1.14)$$

bir fazali tarmoq uchun

$$\Delta P_1 = \frac{2S^2}{U^2} R, \quad \Delta Q_1 = \frac{2S^2}{U^2} X, \quad (4.1.15)$$

(4.1.14) va (4.1.15) taqqoslashdan ko'ramizki, haqiqatdan bir fazali tarmoqlarga nisbatan uch fazali tarmoqlarda quvvat isrofi 2 marta kam. Ammo, bir fazali sistema ikkita sim, uch fazalida esa uchta. Metall isrofini bir xil qilish uchun uch fazali liniyada simlarning kesim yuzasini bir fazaliga nisbatan 1,5 marta kamaytirish kerak. Shuncha marta qarshilik oshadi, ya'ni $R_3 = 1,5R_1$. Bu qiymatni ΔP_3 ga qo'y-sak, natijalovchi ifoda quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta P_3 = (1,5S^2 / U^2) R_1$$

ya'ni bir fazali liniyalarda quvvat isrofi $2/1,5 = 1,33$ marta uch fazaliga nisbatan ko'p bo'ladi.

1. Transformator va avtotransformatorlardagi aktiv va reaktiv quvvat isrofi salt yurish quvvat isrofiga (G_T va V_T -o'tkazuvchanliklardagi) va qisqa tutashuv quvvat isrofiga ΔP_T , ΔQ_T (chulg'amlar qarshiligi R_T va X_T dagi) bo'linadi. Transformatorlarni e'tiborga olib, uzatuv liniyalarini

hisoblashda, o'tkazuvchanliklar G_T va V_T tegishli yuklama ko'rinishda hisobga olinib, uzatilayotgan quvvat tenglamasiga (balansiga) kiradi.

Transformator po'latidagi qayta magnitlash uchun va uyurtma toklar tufayli bo'ladigan aktiv quvvat isrofi (aktiv o'tkazuvchanlik G_T ga bog'liq) transformatorlar hujjatida beriladigan nominal kuchlanish U da salt yurishdagi isrofi orqali topiladi.

Bunda, YuK chulg'amidagi salt yurish toki sababli ajraladigan quvvat juda kam bo'lganligi uchun quyidagi ifoda to'g'ri bo'ladi.

$$\Delta P_{\text{salt}} \approx \Delta P_{\text{salt}} \approx U_N^2 G_T \quad (4.1.16)$$

2. Transformator magnitlanishdagi reaktiv quvvat (Q reaktiv o'tkazuvchanlik B_T ga bog'liq) nominal tokka nisbatan foiz hisobida ifodalanadigan transformatorning salt yurish tokidan topiladi. Salt yurish tokining aktiv qismi juda kichik bo'lganligi uchun $I_{\text{Fe}}=0$ deb faraz qilsak, magnitlanish quvvati quyidagiga teng bo'ladi.

$$\Delta Q_{\text{salt}} = \Delta Q_{\text{salt}} = \frac{I_{\text{Fe}}^2 S_k}{100} = U^2 B_T \quad (4.1.17)$$

3. Chulg'amli qizdiradigan qisqa tutashuvdagi aktiv quvvat isrofini (bu isrof misdagi quvvat isrofi deb aytiladi) (3.4.3) ifoda orqali aniqlangan qarshilik yordamida topish mumkin, ya'ni:

$$\Delta P_T = \frac{P^2 + Q^2}{U_N^2} R_T \quad (4.1.18)$$

4. Shunga o'xshash qarshilik x_T (3.4.6) ifoda yordamida aniqlab, magnit oqimini yoyilishidan yuzaga keladigan reaktiv quvvat isrofi topiladi:

$$\Delta Q_T = \frac{P^2 + Q^2}{U_N^2} X_T \quad (4.1.19)$$

Bunda (4.1.18) va (4.1.19) ifodalardagi nominal kuchlanish transformatorning bevosita hisoblanayotgan liniyaga ulangan tarafidagi kuchlanishdir.

Ifoda (4.1.18) boshqa ko'rinishda bo'lishi mumkin. Ma'lumki, $I=I_N$ bo'lganda qisqa tutashuv isrofi:

$$\Delta P_T \approx 3I_N^2 R_T = \frac{S_k^2}{U_N^2} R_T$$

Yuklama tokining boshqa qiymatida ham bir transformatoridagi isrof:

$$\Delta P_T = 3I^2 R_T = \frac{S^2}{U_N^2} R_T$$

O'zaro munosabat $\Delta R_T / \Delta R_Q$ dan topamiz:

$$\Delta P_T = \Delta P_k (S / S_N)^2 \quad (4.1.20)$$

Agarda ΔQ_T ni aniqlaydigan (4.1.19) ifodadagi X_{mi} uning (3.4.6) ifodadagi qiymati bilan almashtirsak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\Delta Q = \frac{U_L}{100} \frac{S^2}{S_n^2} \quad (4.1.21)$$

(4.1.18) va (4.1.19) ifodalar, ikki chulg'amli va shuningdek uch chulg'amli transformatorlar uchun ularning chulg'amlarida har qanday yuklama bo'lganda ham quvvat isrofini aniqlashga yaroqlidir. Oxirgi holda transformatorning umumiy yuklamasi o'miga ifodaga uning chulg'amlarining yuklamasi qo'yiladi hamda R_T va X_T qarshiliklar o'miga almashtiruv sxemasidagi tegishli chulg'amlar qarshiligi qo'yiladi. Ifodalar (4.1.20) va (4.1.21) bilan ikki chulg'amli transformatorlardagi hamda PK chulg'ami bo'lingan, ya'ni PK-1 va PK-2 chulg'am yuklamalari teng bo'lingan transformatorlardagi quvvat isrofi topiladi. Bu ifodalarni uch chulg'amli transformatorlar uchun qachonki uch chulg'amdan faqat ikkitasi yuklanganda yoki uchinchi chulg'am nisbatan kam yuklamaga ega bo'lganda, qo'llash mumkin.

Shunday qilib,

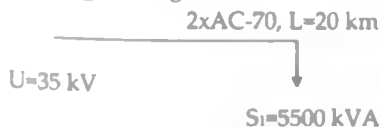
$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_T + \Delta P_{\Sigma}$$

$$\Delta Q_{\Sigma} = \Delta Q_T + \Delta Q_{\Sigma}$$

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

4.1.1. Mavzuga doir misollar

4.1.1. misol. Liniyaning oxirida bir yuklama bo'lganda liniyadagi quvvat isrofini aniqlang ($S=5500$ kVA). Liniya AS markali 70 mm² kesim yuzali simdan ikki sistemali holda, ayrim tayanchlarda tortilgan bo'lib, simlarni tayanchda joylanishi uchburchak ko'rinishda va kuchlanishi 35 kV, liniyaning uzunligi 20 km.



Jadval N₁ dan yozib olamiz, 35 kVli liniyalar uchun simlar orasidagi o'rtacha geometrik masofa $D=3,5$ m

$$D_{av} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}} = \sqrt[3]{3,5 \cdot 3,5 \cdot 3,5} = 3,5 \text{ m}$$

Jadval N₁ dan D_{or} hisobga olib, aktiv va reaktiv qarshiliklarni 1 km uzunlikdagi AS-70 liniyasi uchun yozib olamiz.

$$r_0=0,45\text{Om/km}, \quad X_0=0,404\text{Om/km}$$

Liniyaning to'liq aktiv va reaktiv qarshiliklari teng bo'ladi,

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

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

(4.1.6) va (4.1.7) ifodalarga asosan liniyadagi quvvatlar isrofini aniqlaymiz:

$$\Delta P = \frac{S^2}{U^2} R = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} = 111,12\text{kVt}$$

$$\Delta Q = \frac{S^2}{U^2} X = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 4,04 \cdot 10^{-3} = 99,76\text{kVAr}$$

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

Liniyaning boshidagi quvvat

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

4.1.2 misol. Iste'molchidagi pasaytiruvchi transformatorni hisobga olib davom ettiramiz.

4-jadvaldan ishonchlilik nuqtai nazardan 6300 kVA quvvatli ikki transformatorni qabul qilamiz va shu jadvaldan transformatorning kerakli hujjat ma'lumotlarini yozib olamiz:

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

$$U_{mb} = 35\text{kV}, \quad X_T = 16,10\text{Om}$$

$$U_{p0} = 11\text{kV}, \quad \Delta P_{m0} = 9,4\text{kVt}$$

$$\Delta Q_{m0} = 56,7\text{kVAr}$$

Podstansiya ikkita parallel ishlovchi transformatorlarga ega bo'lganligi uchun

$$\Delta P_{m0} = 9,4 \cdot 2 = 18,8\text{kVt}, \quad R_T = 1,6 : 2 = 0,8\text{Om},$$

$$\Delta Q_{m0} = 56,7 \cdot 2 = 113,4\text{kVAr}, \quad X_T = 16,1 : 2 = 8,05\text{Om}$$

(4.1.16) va (4.1.17), (4.1.18) va (4.1.19) ifodalarga asosan transformatoridagi quvvat isrofini topamiz.

$$\Delta P_T = \frac{S^2}{U^2} R_T = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 19,76\text{kVt},$$

$$\Delta Q_T = \frac{S^2}{U^2} X_T = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 8,05 \cdot 10^{-3} = 198,79\text{kVAr}$$

$$\Delta P_{T\pm} = \Delta P_T + \Delta P_{m0} = 19,76 + 18,8 = 38,56\text{kVt}$$

$$\Delta Q_{T\pm} = \Delta Q_T + \Delta Q_{m0} = 198,79 + 113,4 = 312,19\text{kVAr}$$

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

Liniyaning oxiridagi quvvatni topamiz.

$$S_2 = S_1 + \Delta S_{T\pm} = 5500 + 314,56 = 5814,56\text{kVA}$$

Liniyadagi quvvat isrofi

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

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

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

Liniyaning boshidagi quvvat

$$S_3 = S_2 + \Delta S = 5814,56 + 168,28 = 5982,84\text{kVA}$$

Nazorat savollari:

1. Liniya va transformatorlarda quvvat isrofi qaysi kattaliklarga bog'liq bo'ladi?
2. Qaysinisi afzal, uch sistemali uzatishmi yoki bir sistemalimi?
3. Quvvat isrofi qachon kam bo'ladi: yig'ilgan yuklamadami yoki uni tekis taqsimlagandami?
4. Transformatorlarda salt yurish va qisqa tutashuv quvvat isrofi nimaga bog'liq va qanday aniqlanadi?

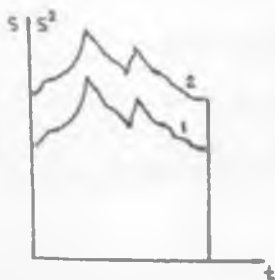
4.2. Liniya va transformatorlarda energiya isrofi

Shunday qilib, quvvat vaqt birligidagi energiya bo'lganligi uchun, tarmoqdagi energiya isrofini, quvvat isrofini tarmoqni berilgan yuklamada ishlayotgan vaqtiga ko'paytirib aniqlash mumkin.

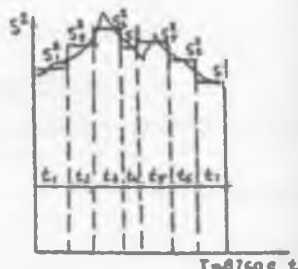
$$\Delta \mathcal{E} = 3 I^2 R t = \Delta P \cdot t, \quad (4.2.1)$$

Ammo iste'molchilar yuklamalari sutka, yil bo'yicha o'zgarib turganligi uchun, quvvat isrofining qiymati ham o'zgarib turadi.

Agarda ajratib ko'rsatilgan iste'molchi yuklamalarining yillik grafigi 4.2.1.- rasmda (1- egri chiziq) tasvirlanganidek bo'lsa, unda tarmoqdagi energiya isrofi yuklamalar kvadrati grafigining yuzasiga mutanosib bo'ladi (2- egri chiziq) va quyidagicha ifodalanishi mumkin.



4.2.1.-rasm. Ajratib ko'rsatilgan iste'molchining yillik grafigi



4.2.2.-rasm. Pog'onali yillik yuklamalar grafigi.

$$\Delta \mathcal{E} = \int \Delta P dt \quad (4.2.2)$$

(4.1.6) da ko'rsatilgan qiymatni qo'ysak, unda hosil bo'ladi.

$$\Delta \mathcal{E} = \int_0^T \left(\frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \right) \cdot dt = \frac{R}{U^2} \int_0^T (P^2 + Q^2) \cdot dt = \frac{R}{U^2} \int_0^T S^2 \cdot dt \quad (4.2.3)$$

Bu yerda T-iste'molchini ulanish vaqti, bu holat uchun iste'molchi butun yil bo'yicha ulangan, ya'ni $T=8760$ s. bo'lsa, bundan ko'rinadiki, energiya isrofni aniqlash uchun 2-egri chiziq bilan chegaralangan yuzani aniqlash yetarlidir. Amaliyotda yuklamalar kvadratini yillik grafigini kichik vaqt $t_1, t_2, t_3, \dots$ oraliqlaridagi, $S_1, S_2, S_3, \dots$ (4.2.2.-rasm) yuklamalar qiymatiga tegishli bo'lgan bosqichli taxminiy grafik bilan bajarish mumkin unda isrof qiymatlar yig'ilib aniqlanadi.

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{R}{U^2} (S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + S_3^2 t_3 + \dots + S_n^2 t_n) \quad (4.2.4)$$

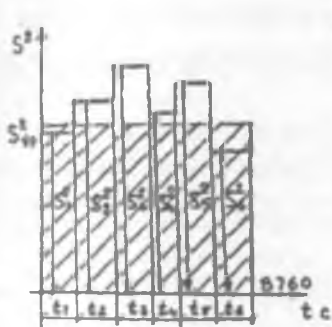
Tarmoqdagi energiya isrofni aniqlashning keyingi usuli o'rtacha kvadrat quvvat qiymatlariga asoslangan isrofnı aniqlash usulidir (4.2.3.-rasm). O'rtacha kvadrat quvvat shunday quvvatki, butun vaqt bo'yicha liniyadan o'zgarmasdan oqib, haqiqiy quvvat liniyadan oqqanida beradigan isrofnı beradi. Bunda koordinat o'qlari S_{or} kv va T bilan chegaralanib chizilgan to'g'ri burchaklar yuzasi shu grafikning haqiqiy yuzasiga teng bo'ladi.

$S_{\text{O'RT}} S_{\text{O'RT}}$ qiymatini aniqlab, energiya isrofni quyidagi ifodadan topish mumkin.

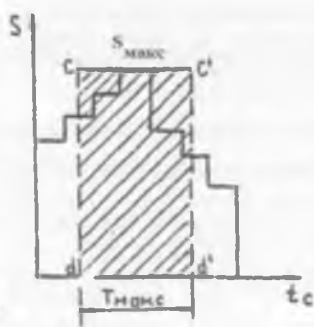
$$\Delta \mathcal{E} = \frac{R}{U^2} S_{\text{O'RT}}^2 \cdot T \quad (4.2.5)$$

Bu usul o'rtacha kvadrat quvvatiga asoslangan isrofni aniqlash usuli deb ataladi.

Yuqorida keltirilgan energiya isrofni aniqlash usullari bir qator kamchiliklarga ega bo'lib, faqat yuklamalar grafigi bo'lgandagina ishlatilishi mumkin. Shuning uchun keng tarqalgan, isrofni aniqlaydigan, maksimal isrof vaqti tushunchasiga asoslangan usul hisoblarni ancha soddalashtiradi.



4.2.3-rasm. O'rtacha kvadrat quvvatni aniqlash grafigi.



4.2.4-rasm. Maksimal yuklamada ishlash vaqti T_{MAKS} ni aniqlash

Yuklamalarning yillik grafigi uchun (4.2.4.-rasm) shunday T_{MAKS} vaqtni topish mumkinki, bunda iste'molchi S_{MAKS} yuklamada ma'lum vaqtda ishlayotganda tarmoqdan shunday energiya qabul qilinsinki, bu energiya iste'molchi yil bo'yicha o'zgaruvchan yuklamali $S=S(t)$ grafikda ishlaganda qabul qilgan energiyaga teng bo'lsin. Bu energiya to'g'ri burchakli yuza bilan aniqlanadi.

Quvvat koeffitsiyenti o'zgarmas bo'lganda bu shartni quyidagicha yozish mumkin

$$\mathcal{E} = P_{\text{max}} \cdot T_{\text{max}} = S_{\text{max}} \cdot \cos \phi_{\text{av}} \cdot T_{\text{max}} = \cos \phi_{\text{av}} \int_0^{8760} S dt \quad (4.2.6)$$

Bu yerda

$$T_{\max} = \frac{\int_0^{\tau} S dt}{S_{\max}} \quad (4.2.7)$$

$\cos \phi_{av}$ - yil bo'yicha taxminan o'zgarmas deb qabul qilingan quvvat koeffitsiyentining o'rtacha qiymati.

$T_{\max}$ -kattaligi maksimal yuklamada ishlash vaqti deb ataladi.

Liniyadan uzatilayotgan yillik energiya miqdori va maksimal aktiv quvvatni bilib, (4.2.6.) ifodadan maksimal quvvatda ishlash vaqtini aniqlash mumkin.

$$T_{\max} = \frac{J}{P_{\max}} = \frac{J}{S_{\max} \cdot \cos \phi_{av}} \quad (4.2.8)$$

Har qanday iste'molchi o'zining maksimal yuklamada ishlash vaqti kattaligi bilan xarakterlidir. Hisoblarda bu kattalikni statistik ma'lumotlarga asosan qabul qilish mumkin.⁸

Shunga o'xshash (4.2.5-rasm), liniya vaqt bo'yicha maksimal quvvat isrofi $\Delta R_{\max}$ da ishlaganida maksimal energiya isrofi, haqiqatdan xuddi shuningdek yillik yuklama grafigidagi energiya isrofiga teng bo'lgan vaqt maksimal isrof vaqti deb ataladi.

Bu isrof to'g'ri burchakning yuzasi bilan aniqlanadi, ya'ni

$$\Delta J = \Delta P_{\max} \cdot \tau = \frac{R}{U^2} S_{\max}^2 \cdot \tau = \frac{R}{U^2} \int_0^{\tau} S^2 dt \quad (4.2.9)$$

Bu yerdan maksimal isrofdan ishlash vaqti aniqlanadi.

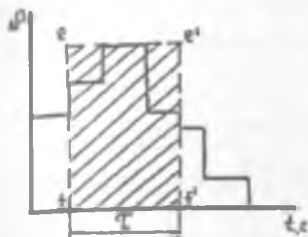
$$\tau = \frac{\Delta J}{\Delta P_{\max}} = \frac{\int_0^{\tau} S^2 dt}{S_{\max}^2} \quad (4.2.10)$$

Amaliyotda kattalik τ ni kattalik $T_{\max}$ orqali aniqlash mumkin, chunki ular orasida muayyan bog'liqlik mavjud.

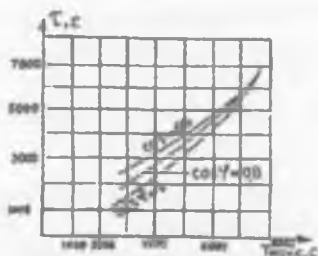
(4.2.7) va (4.2.10) formulalardan ko'rinib turibdiki τ va $T_{\max}$, yuklamalar grafigini o'zgartirish xarakteriga, ya'ni bu ifodalardagi integral ostidagi $S=S(t)$ funktsiyasiga bog'liq. τ ning $T_{\max}$ ga bog'liqligini aniqlash uchun har xil iste'molchilarning har xil $T_{\max}$ kattaliklarga ega bo'lgan bir qator yuklamalar grafigini hamda $S^2 = \int S^2(t)$ egri chizig'ini aniqlab, bu grafiklarni integrallash kerak, keyin esa (4.2.7) va (4.2.10) ifodalar

⁸ Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley - Interscience A John Wiley & Sons, INC Publication. 2007, 260 p.

yordamida τ ning T_{MAKS} ga bog'liqligini har xil $\cos\phi$ larni qiymatlari uchun aniqlash kerak.



4.2.5.-rasm. Maksimal isrof vaqtini aniqlash bog'liqligi.



4.2.6.-rasm. Maksimal isrof vaqtini maksimal yuklama bilan ishlash vaqti T_{mak} ga bog'liqligi

Bu egri chiziqlardan maksimal isrof vaqti usuli yordamida energiya isrofini aniqlash mumkin.

Hisoblash tartibi quyidagicha, ko'rilayotgan liniyaning aktiv qarshiligi R , Omni $\cos\phi_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}}}{S_{\text{max}}}$ li $S_{\text{max}} = \sqrt{P_{\text{max}}^2 + Q_{\text{max}}^2}$ bo'lgan maksimal yuklamasini va berilgan kategoriyali iste'molchining maksimal yuklamada ishlash vaqti T_{MAKS} ni bilib, berilgan $\cos\phi_{\text{yp}}$ va ma'lum T_{MAKS} uchun 4.2.6-rasmida keltirilgan egri chiziq orqali maksimal isrof vaqti τ ni topamiz. Liniyaning muayyan bo'lgan nominal kuchlanishi U_k kV da va elektr energiyasi isrofi ΔE kvт.soatni (4.2.9) formulasi yordamida topishimiz mumkin:

$$\Delta E = \frac{R}{U_n^2} S_{\text{max}}^2 \cdot \tau \cdot 10^3$$

yoki

$$\Delta E = \frac{P_{\text{max}}^2 + Q_{\text{max}}^2}{U_n^2} R \cdot \tau \cdot 10^3$$

(4.2.11)

Bu yerda

$$S - mV \cdot A, \quad P - mVt, \quad Q - mV \cdot Ar,$$

$$U_n - kV, \quad R - \text{Om}.$$

Bir nechta yuklamalar bo'lganda energiya isrofi har bir uchastkadagi energiya isrofini qo'shib aniqlanadi.

Agarda ko'rilayotgan liniya uchastkasi orqali har xil $P_{\text{MAKS}}, P_{2\text{MAKS}}, P_{3\text{MAKS}}$ va ularga tegishli maksimal yuklamada ishlash vaqti T_1, T_2, T_3

bo'lgan iste'molchilarga quvvat uzatilayotgan bo'lsa, unda isrofini aniqlash uchun uzatilayotgan energiyani o'rtacha qiymatini hisobga olgan holda, (4.2.8) formulasi bilan aniqlanadigan maksimal quvvatda ishlash vaqtining o'rtacha qiymatini olish kerak.

$$T_{\text{isroflash}} = \frac{\mathcal{Q}}{P_{\text{meh}}} = \frac{P_{1\text{meh}}T_{1\text{meh}} + P_{2\text{meh}}T_{2\text{meh}} + \dots + P_{pmeh}T_{pmeh}}{K_n(P_{1\text{meh}} + P_{2\text{meh}} + \dots + P_{pmeh})} = \frac{\sum P_{imoh} \cdot T_{imoh}}{K_n \cdot \sum P_{imoh}} \quad (4.2.12)$$

Bu yerda K_n – yuklamalar gruppasini grafigidan aniqlanadigan bir vaqtlilik koeffitsiyenti.

Po'lat simli liniyalarda energiya isrofini hisoblashda tokni o'zgarishi tufayli bo'ladigan aktiv qarshilikni hisobga olish kerak.

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

yuklamalarga bog'liq bo'lgan $\Delta P_K \tau$,
yuklamalarga bog'liq bo'lmagan $\Delta P_{yu} T$,
unda

$$\Delta \mathcal{Q} = \Delta P_{yu} T + \Delta P_K \tau \quad (4.2.13)$$

Bu yerda T -transformatori ishlash vaqti (agarda transformator yil bo'yicha ulangan bo'lsa, unda $T=8760$ s).

Salt yurish quvvat isrofi ΔP_{yu} transformatordan oqayotgan quvvatga bog'liq bo'lmay, balki berilgan transformatorning tuzilishiga bog'liq bo'lib, kuchlanish va quvvatning biror qiymatlarida o'zgarmas kattalikni tashkil etadi.

Qisqa tutashuv quvvat isrofi ΔP_q qoida bo'yicha bu isrofning nominal qiymatiga teng bo'lmay, balki transformatordan oqayotgan quvvatga bog'liq holda o'zgaradi. Shunday qilib bu isrof quvvatning kvadratiga proporsionaldir, unda

$$\Delta P_q / \Delta P_{\text{q.n}} = S_T^2 / S_{T.N}^2$$

Bu yerda:

S_T - transformatordan oqayotgan haqiqiy quvvat;

$S_{T.N}$ - uning nominal quvvati.

Unda haqiqiy qisqa tutashuv quvvati

$$\Delta P_q = \Delta P_{\text{q.n}} S_T^2 / S_{T.N}^2 \quad (4.2.14)$$

ΔP_{yu} ba $\Delta P_{K.N}$ ning qiymatlari har bir transformator uchun jadvallarda keltiriladi. τ kattaligi TMAKS va sos? ning qiymatlari bilan aniqlanadi.

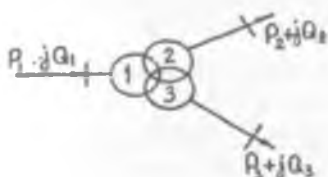
Bir necha n transformator bo'lganda (4.2.13) va (4.2.14) ga asosan energiya isrofi

$$n\Delta\mathcal{E} = n \cdot [\Delta P_{\text{zm}} \cdot T + \Delta P_{\text{sm}} \cdot (S_r^2 / S_{r,n}) \cdot \tau] \quad (4.2.15)$$

Bu yerda:

S_T – transformatorlardan oqayotgan quvvatlar yig'indisi;

$S_{T,N}$ – har bir ayrim transformatorning nominal quvvati.



4.2.7 rasm. Uch chulg'amli transformatorning sxemasi

Uch chulg'amli transformatorlarda to'liq quvvat isrofini (4.2.7-rasm) topish uchun eng avval 2 va 3 chulg'amlardagi isrof aniqlanadi, so'ngra bu quvvat isroflarini ikkala chulg'amlardan oqayotgan quvvatlarga qo'shib 1-chulg'amdagi isrof aniqlanadi. Bo'lingan chulg'amli transformatorlarda ham quvvat isrofi har bir chulg'am uchun alohida hisobga olinadi.

Nazorat savollari:

1. Liniya va transformatorlarda energiya isrofi qanday aniqlanadi?
2. Maksimal yuklamada ishlash vaqti bilan maksimal quvvat isrofi vaqt orasida qanday farq bor?
3. Uch chulg'amli transformatorlar chulg'amlarida energiya isrofi qanday?

4.2.1. Mavzuga doir misollar

1-masala. $(30+j20)$ mVA quvvat iste'mol qiladigan mashinasozlik zavodi 220 kV kuchlanishda ta'minlanadi. 150 km uzunlikdagi liniya ACO-240 simdan tayyorlangan. Maksimal yuklamada liniyaning oxiridagi kuchlanish 215 kV. Liniyadagi quvvat isrofini aniqlang.

Yechish. 1-ilovadagi 2-jadvaldan liniya ma'lumotlarini aniqlaymiz:

$r_0=0,13$ Om/km, $x_0=0,43$ Om/km, $b_0=2,66 \cdot 10^{-6}$ Sm/km, $\Delta P_{\text{to}}=2,7$ kW/km.

Unda

$$R=r_0 \cdot l=0,13 \cdot 150=19,5 \text{ Om}$$

$$X=x_0 \cdot l=0,43 \cdot 150=64,5 \text{ Om}$$

Liniya generatsiya qiladigan quvvat:

$$Q_g=U^2 b_0 l=25^2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 150=18,44 \text{ MVar}$$

Tojlanishda quvvat isrofi:

$$\Delta P_{\text{to}}=\Delta P_{\text{to}} \cdot l=2,7 \cdot 150=405 \text{ kW}=0,405 \text{ MW}$$

Almashtirish sxemasida aktiv va reaktiv o'tkazuvchanliklarni yarmi liniyaning oxiriga ulanganligini hisobga olib liniyaning oxiridagi yuklamani aniqlaymiz.

Unda

$$S_1 = P + jQ + 0,5(\Delta P_{\text{lor}} - jQ_c) = 30 + j20 + 0,5(0,405 - j18,4) = (30,202 + j10,78) \text{ MVA}$$

Liniyadagi quvvat isrofi:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} R = \frac{30,202^2 + 10,78^2}{215^2} \cdot 19,5 = 0,433 \text{ MW}$$

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} X = \frac{30,202^2 + 10,78^2}{215^2} \cdot 64,5 = 1,42 \text{ MVar}$$

Liniyadagi to'liq quvvat isrofi:

$$\Delta S = (0,433 + j1,42) \text{ MVA}$$

2-masala. AC-95 simdan tayyorlangan 20 km uzunlikdagi uch fazali 35 kV kuchlanishli havo liniyasi 5000 kVA quvvat iste'mol qiladigan mashinasozlik zavodini ta'minlaydi. Quvvat koeffitsienti $\cos\phi=0,8$. Maksimal yuklamada ishlash vaqti $T=4500$ soat. Bir yillik aktiv energiya isrofini aniqlang.

Yechish. 1-ilovadagi 2-jadvaldan AC-95 simning 1 km uzunlikdagi aktiv qarshiligini aniqlaymiz. $r=0,33 \text{ Om/km}$

Liniyaning bir fazasi qarshiligi:

$$R = 0,33 \cdot 20 = 6,6 \text{ Om}$$

Maksimal yuklama paytidagi aktiv quvvat isrofini aniqlaymiz:

$$\Delta P_{\text{max}} = \left(\frac{S_{\text{max}}}{U_n}\right)^2 R \cdot 10^{-3} = \left(\frac{5000}{35}\right)^2 6,6 \cdot 10^{-3} = 134,7 \text{ kW}$$

1-ilovadagi 4-jadvaldan $\tau=3200$ soat ($\cos\phi=0,8$) ga teng bo'lgan holat uchun.

Ta'minlovchi liniyadagi aktiv energiya isrofi:

$$\Delta E = \Delta P_{\text{max}} \tau = 134,7 \cdot 3200 = 431040 \text{ kW} \cdot \text{soat}$$

3-masala. Mashinasozlik zavodi 110 kVli rayon elektr tarmog'idan ta'minlanadi. Bosh pasaytiruvchi podstantsiyada T4H-10000/110 markali transformator o'rnatilgan. Zavod qabul qiluvchi maksimal quvvat 7000 kVA, $\cos\phi=0,8$. Aktiv va reaktiv quvvat isrofini hamda yillik energiya isrofini aniqlang.

Yechish. 2-ilovadagi 3-jadvaldan transfoirmator ma'lumotlarini aniqlaymiz.

$$\Delta P_{\text{qt}}=60 \text{ kW}, \Delta P_{\text{ayu}}=14 \text{ kW}, U_{\text{qt}}=10,5 \%, I_{\text{ayu}}=0,9\%$$

Transformatoridagi aktiv quvvat isrofi:

$$\Delta P = \frac{\Delta P_{qr} S_n^2}{S_n^2} + \Delta P_{jyu} = \frac{60 \cdot 7000^2}{10000^2} + 14 = 43,4 \text{ kW}$$

Reaktiv quvvat isrofi:

$$\Delta Q = \frac{U_{qr} S_n^2}{100 \cdot S_n} + \frac{I_{jyu} S_n}{100} = \frac{10,5 \cdot 7000^2}{100 \cdot 10000} + \frac{0,9 \cdot 10000}{100} = 604,5 \text{ kVar}$$

Aktiv energiya isrofini aniqlash uchun 1-ilovadagi 4-jadvaldan mashinasozlik zavodi uchun maksimal yuklamada ishlash vaqti $T_{max}=4345$ soatni aniqlaymiz. $T_{max}=4345$ soat va $\cos\phi=0,8$ uchun maksimal isrof vaqtini aniqlaymiz, $\tau=3100$ soat, unda

$$\Delta E = \Delta P_{max} \frac{S_n^2}{S_n^2} \tau + \Delta P_{jyu} T = \frac{60 \cdot 7000^2}{10000^2} 3100 + 14 \cdot 8760 = 213,780 \text{ kW}\cdot\text{soat}$$

4.2.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar

1-misol. Mashinasozlik zavodi 10 kVli havo va kabel liniyalaridan ta'minlanadi. Liniyalarning iste'mol quvvati 1200 va 1500 kVA ga teng. AC-150 simdan tayyorlangan havo liniyasi 5 km uzunlikda va AAB (3x120) simdan tayyorlangan kabel liniyasi 2 km uzunlikda bo'lsa, liniyalardagi quvvat isrofini aniqlang. Havo liniyasining faza simlari orasidagi o'rtacha masofa 2 m ni tashkil etadi.

2-misol. Agar maksimal yuklama 2500 kVA, $\cos\phi=0,95$, maksimal yuklamada ishlash vaqti $T_{max}=5000$ soat bo'lsa, 60 km uzunlikdagi 110 kV kuchlanishli AC-120 simdan tayyorlangan havo liniyasidagi quvvat va energiya isrofini aniqlang.

3-misol. $\cos\phi=0,9$ da maksimal 4500 kW quvvat qabul qiluvchi zavodni ta'minlovchi 35 kV kuchlanishli 25 km uzunlikdagi AC-95 simdan tayyorlangan liniyadagi quvvat va energiya isrofini aniqlang. Yillik energiya iste'moli $26,4 \cdot 10^6$ kW·soat.

4-misol. Rayon podstantsiyasidan 120 km uzunlikdagi zavodni ta'minlaydigan 220 kV li havo liniyasi ACO-300 simdan tayyorlangan. Zavod qabul qiladigan quvvat (55000+j25000) kVA. Agar liniyani AC-240 simdan tayyorlasak, quvvat isrofi liniyada qancha foizga oshadi.

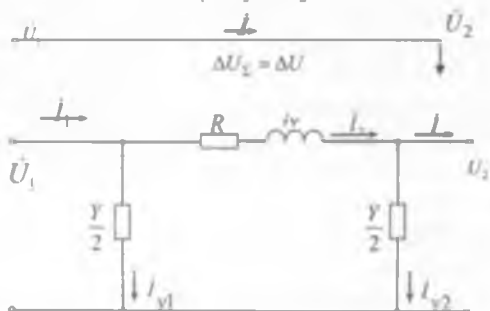
5-misol. Agar transformatorning yuklamasi 55000 kVA va $\cos\phi=0,91$ bo'lsa, TPΔCH-63000/220 transformatoridagi va uni ta'minlovchi 220 kV 180 km uzunlikdagi AC-240 simdan tayyorlangan liniya quvvat isrofini aniqlang.

6-misol. 380/220 Vli ta'minlovchi va taqsimlovchi yorituvchi tarmoqdagi quvvat isrofini aniqlang. Ta'minlovchi tarmoq АПТО-25 o'tkazgichd tayyorlangan bo'lib, 150 m uzunlikka ega. Taqsimlovchi tarmoq esa А-6 o'tkazgichdan tayyorlangan, uzunligi esa 20 m. Sexni taqsimlovchi qurilmadan uchta uch fazali guruh ta'minlangan bo'lib, har biriga 450 Wli 12 ta lampochka ulangan.

4.3. Kuchlanishning pasayishi va yo'qotilishi. Liniyani oxirida (boshida) berilgan ma'lumotlarga asosan sharti hisoblari

Faraz qilaylik, tok I va liniyaning oxirida joylashgan iste'molchining kuchlanishi U_2 berilgan bo'lsin. Ta'minlash tomonidagi kuchlanish U_1 aniqlash uchun U_2 kuchlanishga liniyadan oqayotgan tok (quvvat) tufayli yuzaga keladigan kuchlanishni pasayishi ΔU_L ni qo'shish kerak.

$$U_1 = U_2 + \Delta U_L \quad (4.3.1)$$



4.3.1 rasm. Elektr uzatish liniyasi va uning almashtiruv sxemasi

Bu ifoda faza va xuddi shunday liniya kuchlanishlari uchun to'g'ridir. ΔU_L ni qiymatini bir yoki bir necha yuklamalar uchun topamiz. Buning uchun ko'rilayotgan liniyani «P» ko'rinishli simmetrik sxema bilan almashtiramiz unda qarshiliklar R va X, o'tkazuvchanliklar $U = G + jB$.

Sxemadagi ko'ndalangiga o'tkazuvchanliklar toki

$$\begin{aligned} I_{Y2} &= I_{G2} + jI_{B2} = U_2 \cdot \frac{G}{2} + jU_2 \cdot \frac{B}{2} \\ I_{Y1} &= I_{G1} + jI_{B1} = U_1 \cdot \frac{G}{2} + jU_1 \cdot \frac{B}{2} \end{aligned} \quad (4.3.2)$$

liniya toklar esa

$$I_1 = I + I_{Y1}; \quad I_2 = I + jI_{Y2} \quad (4.3.3)$$

Ko'pincha taqsimlovchi elektr tarmoqlari uchun I_{11} va I_{12} hisobga olinmaydi, ya'ni ularda

$$I_1 = I_2 = I$$

Vektor diagrammasini qurish. U_2 vektorini haqiqiy o'q yo'nali-shida yo'naltiramiz (4.3.2-rasm). Vektor diagrammasida AS kesmasi $\Delta U_1 = U_{1F} - U_{2F}$ ga tengdir. Bu qurilayotgan liniyaning boshi va oxiridagi kuchlanishlarni geometrik ayirmasi kuchlanish pasayishi deyiladi. Kesma AC' $\Delta U_F = U_{1F} - U_{2F}$ (ustida nuqtalarsiz) liniyaning boshi va oxiridagi kuchlanishlarining algebraik ayirmasi kuchlanish yo'qotilishi deyiladi.

Kuchlanish pasayishi vektorini ikki tashkil etuvchiga ajratish mumkin:

a) Bo'ylamasiga tashkil etuvchi $\Delta U_{BF} = AD$;

b) Ko'ndalangiga tashkil etuvchi $\Delta U_{KF} = SD$;

$$\Delta U_M = IZ = AC = \Delta U_{BF} + jU_{KF} \quad (4.3.4)$$

ΔU_{BF} va ΔU_{KF} kattaliklarni berilgan U_2 kuchlanish bilan topib, liniyaning boshidagi kuchlanishni absolyut qiymatini topish mumkin.

$$U_{1F} = \sqrt{(U_{2F} + \Delta U_{BF})^2 + bU_{KF}^2} \quad (4.3.5)$$

Kuchlanish pasayishi uchburchagi A B S dan kuchlanish pasayishini bo'ylamasiga tashkil etuvchisi.

$$\Delta U_{BF} = AE + ED = IR \cos \varphi + IX \sin \varphi = I_a R + I_p X \quad (4.3.6)$$

Xuddi shuningdek ko'ndalangiga tashkil etuvchisi

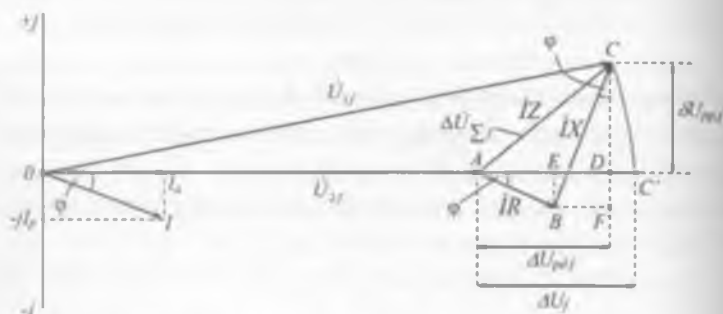
$$\Delta U_{KF} = CF - FD = IX \cos \varphi - IR \sin \varphi = I_a \cdot X - I_p \cdot R \quad (4.3.7)$$

(4.3.6) va (4.3.7) lardagi I_a va I_p larni quvvatlar bilan almashtiramiz, unda

$$\Delta U_{BF} = \frac{PR + QX}{\sqrt{3}U}; \quad \Delta U_{KF} = \frac{PX - QR}{\sqrt{3}U}; \quad (4.3.8)$$

$\sqrt{3}$ ga ko'paytirib, fazali qiymatlarni liniyal qiymatlariga almashtiramiz.

$$\Delta U_{12} = \frac{PR + QX}{U} \quad \Delta U_{21} = \frac{PX - QR}{U} \quad (4.3.9)$$



4.3.2-rasm. Liniyaning vektor diagrammasi.

Aniq hisoblar uchun (4.3.9) va (4.3.10) dan kuchlanish qiymati har bir ko'rilayotgan nuqtadagi kuchlanishga teng bo'lishi kerak. Ammo ko'p hollarda iste'molchilarning kuchlanishlari noma'lum bo'lganda, hisoblarini kerakli aniqlikda haqiqiy kuchlanish bilan emas, balki nominal kuchlanishda olib borish mumkin.

(4.3.4) ifodadan ikkinchi bU_{KTF} kvadratga ko'tarib qo'shilganligi uchun, bU_{KTF} kattaligi U_{IF} ni absolyut qiymatiga uncha ta'sir etmaydi, shuning uchun (4.3.5) ni kesma DS^1 ni hisobga olmasdan yozish mumkin

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

ya'ni

$$\Delta U \approx \Delta U_{\text{el}}$$

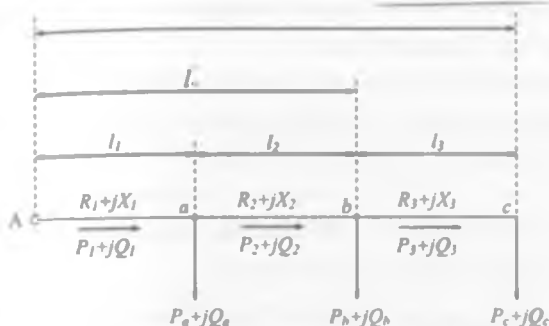
Shunday qilib, kuchlanish yo'qotilishini, bo'ylamasiga kuchlanish pasayishini tashkil etuvchisiga tenglashtirish mumkin

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} \quad (4.3.10)$$

Bir necha yuklamalar bo'lganda kuchlanish yo'qotilishi

$$\Delta U = \frac{\sum P_x R_x + Q_x X_x}{U_x} \quad (4.3.11)$$

Hisoblar yuklama quvvatlari yoki liniya quvvatlari bilan olib boriladi.



4.3.3 rasm. Uzunligi davomida uchta yuklama bo'lgan liniya.

Birinchi holatda R_0 va X_0 yelkalari har bir yuklamadan ta'minlash punktigacha bo'lgan to'liq qarshiliklar, ikkinchisida liniyani har bir uchastkasidagi qarshilik. 4.3.3- rasmdan ko'rinadiki

$$R_0' = R_0 + R_1; \quad R_1' = R_1 \quad (4.3.12)$$

va shunga tegishli

$$X_0' = X_0 + X_2 + X_3; \quad X_2' = X_2 + X_1; \quad X_1' = X_1.$$

Yuklamalar quvvati bilan hisoblashganda

$$\Delta U = \frac{P_1 R_1' + P_a R_2' + P_b R_3' + Q_1 X_1' + Q_a X_2' + Q_b X_3'}{U_0} \quad (4.3.13)$$

Liniya quvvatlari bilan hisoblanganda

$$\Delta U = \frac{P_1 R_0 + P_2 R_0 + P_3 R_0 + Q_1 X_0 + Q_2 X_0 + Q_3 X_0}{U_0} \quad (4.3.14)$$

Kesim yuzasi bir xil bo'lganda hamda liniyaning butun uzunligi bo'yicha simlar tayanchlarda bir xil joylashsa R_{qr0} , X_{qx0} , unda r_0 va x_0 qarshiliklarni yig'ish belgisidan chiqarsak, hisoblash faqat uzunlik bo'yicha olib boriladi, bu amaliy hisoblar uchun juda qulaydir.

Yuklama quvvatlari bo'yicha

$$\Delta U = \frac{r_0(P_1 l_1' + P_2 l_2' + P_3 l_3') + X_0(Q_1 l_1' + Q_2 l_2' + Q_3 l_3')}{U_0}$$

Liniya quvvatlari bo'yicha

$$\Delta U = \frac{r_0(P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3) + X_0(Q_1 l_1 + Q_2 l_2 + Q_3 l_3)}{U_0}$$

Bu yerda

$$l_0' = l_1 + l_2 + l_3; \quad l_2' = l_1 + l_2; \quad l_1' = l_1.$$

Birinci bosqichda quvvat isrofini hisobga olmasak, ikkala usul bilan qilingan hisob, bir xil natijani beradi.

Liniyaning uzunligi bo'yicha ko'p yuklama bo'lganda hamma hisoblar shunday tartibda bajariladi. Liniyaning oxirida berilgan kuchlanishdan boshlab, yuklamadan yuklamaga ketma-ket o'tilib, (4.3.4a-rasm) kuchlanish U_1 ma'lum bo'lib, uzatishning oxiridagi kuchlanishni topish talab qilinsa, unda uzatishning oxiridagi kuchlanishning absolyut qiymati (4.3.4b-rasm) topish quyidagi ko'rinishni oladi.

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U)^2 + 6U^2} \quad (4.3.15)$$

(4.3.15) dan ko'rinadiki ΔU kattaligi U_1 dan ayiriladi (4.3.4b-rasm)

Agarda liniyaning oxiridagi kuchlanish U_2 berilgan bo'lsa, vektor diagrammasi 4.3.4v- rasmdagi ko'rinishni oladi. Yana shu narsaga ahamiyat berish kerakki, liniyaning oxiridagi yoki boshidagi kuchlanishni aniqlashda

$$\Delta U \neq \Delta U' \text{ va } 6U \neq 6U'.$$

Ko'p hollarda uzatayotgan tomonning U_1 kuchlanishi berilgan bo'ladi. Shuning uchun hisoblash (4.3.15) ga asosan tarmoqning uzatayotgan tomonidan qabul qiluvchi tomoniga qarab bajariladi.

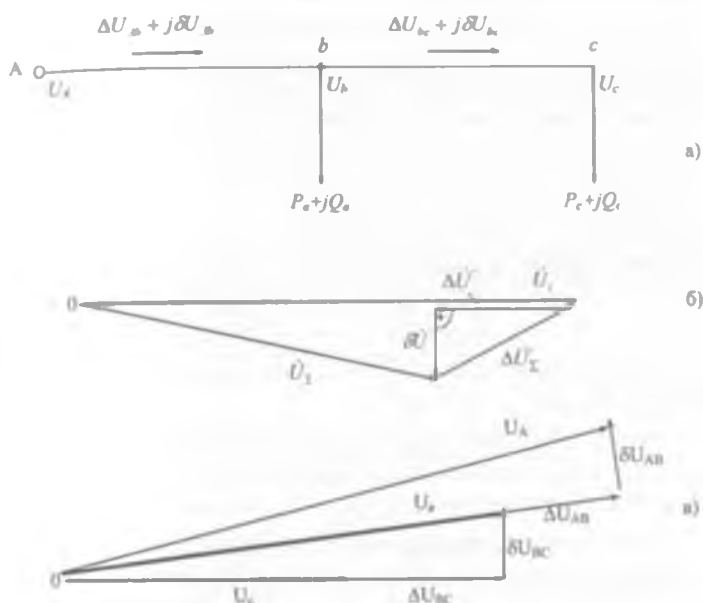
Berilgan U_1 kuchlanishga asosan U_2 kuchlanishni topish uchun zarur:

1. Sxemaning har bir shoxobchasidan (oldingi yuklamadan keyingi yuklamaga) ketma-ket o'ta turib (4.3.15) bilan kuchlanishni keyingi qiymati yoki (3.3.11) bilan kuchlanish yo'qolishini topish kerak.

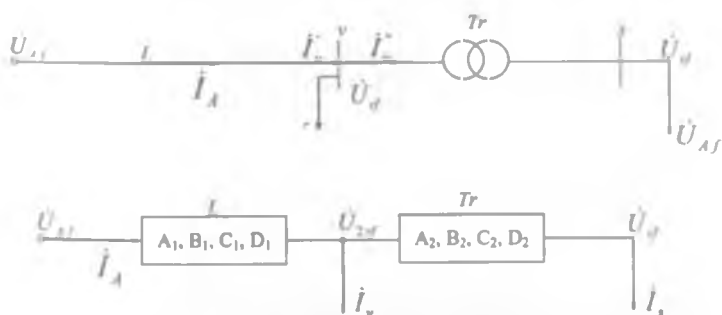
2. Bu aniqlangan yo'qolishni (pasayishi) shoxobchanning uzatayotgan tomonidagi kuchlanishdan ayirib, shoxobchanning keyingi tugunidagi kuchlanish aniqlanadi, bu keyingi shoxobcha uchun uzatayotgan tomon bo'lib qoladi va hokazo.

110 kV va undan past kuchlanishli tarmoqlarda kuchlanish pasayishini ko'ndalangiga tashkil etuvchisi ΔU ifoda (4.3.5) va (4.3.15) ga uncha ta'sir qilmagani uchun ko'pincha hisobga olinmaydi.

EUL sini to'rt qutblilarni ishlatib, ko'ndalangiga o'tkazuvchanlikni hisobga olib hisoblash.



4.3.4 rasm. Uzunligi davomida ikkita yuklama bo'lgan liniyaning Ko'rinishi va kuchlanishning vektor diagrammasi.



4.3.5-rasm. Ko'ndalangiga o'tkazuvchanlik hisobga olingan uzatish sxemasi a va b uzatish elementlarini almashtiruvchi to'rt qutbliklar

Ko'ndalangiga o'tkazuvchanlik hisobga olinishi zarur bo'lgan murakkab elektr tarmoqlarida tarmoqni hamma elementlarini to'rt qutblik bilan almashtirib, hamma toklar va kuchlanishlar bu to'rt qutbliklarning parametrlarini hisobga olgan holda topiladi. 4.3.5a rasmda ko'rsatilgan, berilgan tok va kuchlanishli uzatishni hisoblash uchun bu uzatishning har bir elementi to'rt qutblik bilan almashtiriladi. Liniya umumlashtirilgan to'rt qutblikni doimiyliklari A, V, S, va D bilan (4.3.5b-rasm) almashtiriladi.

Shuningdek D nuqtadagi yuklama $I_L = I'_L - I''_L$ bo'lganda to'rt qutbliklar tenglamasi quyidagicha bo'ladi.

$$\dot{U}_V = A_2 \dot{U}_V + B_2 I_L; \quad I_0 = C_2 \dot{U}_V + D_2 I_L; \quad (4.3.16)$$

$$\dot{U}_V = A_1 \dot{U}_V + B_1 I_L; \quad I_L = C_1 \dot{U}_V + D_1 I_L; \quad (4.3.17)$$

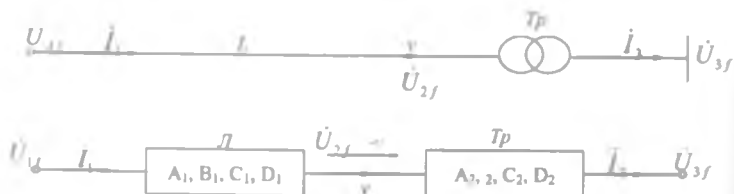
To'rt qutbliklar yordamida hisoblash kuchlanishning faza qiymatlari uchun qulaydir.

Shunday qilib, berilgan I_L va $\dot{U}_V$ qiymatlari bilan v nuqtadagi I_3 va $\dot{U}_{3f}$ ni (4.3.16) yordamida aniqlanadi. Shunga o'xshash (4.3.17) yordamida I_V va $\dot{U}_{Vf}$ ni bilib liniyaning boshidagi I_1 va $\dot{U}_1$ aniqlanadi.

Agarda oraliqda yuklama bo'lmasa ($I_L=0$), unda berilgan va bilan liniyaning boshidagi va I ni liniya va transformator uchun bo'lgan ikkala to'rt qutblikni ketma-ket qo'shib topish mumkin, ya'ni hisoblash umumlashtirilgan doimiylik A, V, S, D li ekvivalent to'rt qutbliklar bilan bajariladi. (4.3.6-rasm)



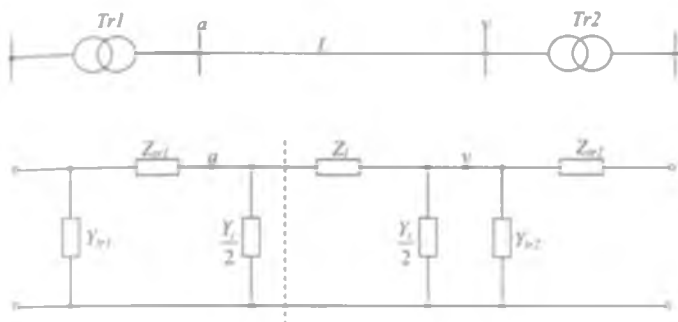
4.3.6 rasm. To'rt qutblikni ketma-ket qo'shish sxemasi.



To'rt qutbliklarni parallel qo'shish ham mumkin. ammo imkoniyat bo'lsa, to'rt qutbliklar sonini kamaytirishga harakat qilish kerak. Masalan

«P» va «T» ko'rinishli qutblarni ikkita simmetrik bo'lmagan «P» va «T» ko'rinishliklari bilan almashtirish kerak:

Shtrixli chiziqli liniyaning o'ng va chap qismi

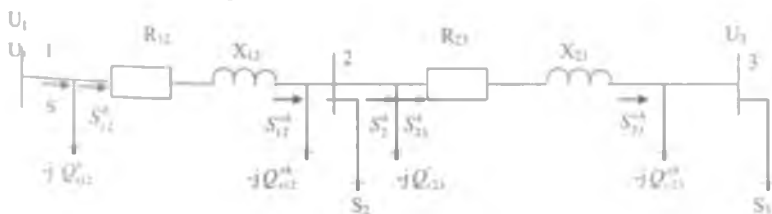


4.3.7 rasm. To'rt qutbliklarni mumkin bo'lgan qisqartirilishi.

4.3.1. Mavzuga doir misollar

1-Misol. $S_2=15+j10$ MVA quvvat elektr stansiya shinasidan 110 kV li bir sistemali 80 km uzunlikdagi liniya orqali ta'minlanadi. Liniyaning almashtiruv sxemasi rasmda ko'rsatilgan, uning parametrlari $r_{12}=24,48$ Ohm; $x_{12}=34,72$ Ohm; $v_{12}=208,8 \cdot 10^{-6}$ sm. Elektr stansiya shinasidagi kuchlanish 116 kV. Elektr stansiyasi ishlab chiqarayotgan quvvat S_1 va liniya oxiridagi kuchlanish U_2 ni toping:

Hisoblash uch bosqichda amalga oshiramiz:



1-bosqich. Liniyani sig'im quvvati, undagi quvvat isrofi va quvvat oqimini (3.3.7), (4.1.6), (4.1.7) orqali aniqlaymiz.

$$Q_{12} = \frac{1}{2} 110^2 \cdot 208,8 \cdot 10^{-6} = 1,26 \text{ MVar}$$

Liniyaning oxiridagi quvvat

$$S_{12}^* = S_2 - Q_{12}^* = 15 + j10 - j1,26 = 15 + j8,74 \text{ MVA}$$

Liniyadagi quvvat isrofi

$$\Delta P_{12} = \frac{15^2 + 8,74^2}{110^2} \cdot 24,48 = 0,61 \text{ MW}$$

$$\Delta Q_{12} = \frac{15^2 + 8,74^2}{110^2} \cdot 34,72 = 0,86 \text{ MVar}$$

Liniyaning boshidagi quvvat

$$S_{12}^* = S_{12}^* + \Delta P_{12} + j\Delta Q_{12} = 15 + j8,74 + 0,61 + j0,86 = (15,61 + j9,6) \text{ MVA}$$

Elektr stansiyasi shinasidagi quvvat

$$S_1 = S_{12}^* + jQ_{12}^* = 15,61 + j9,6 - j1,26 = (15,61 + j8,34) \text{ MVA}$$

2-bosqich. Liniya oxiridagi kuchlanishni (4.3.3), (4.3.8), (4.3.9) ifodalarni qo'llab aniqlaymiz.

$$U_2 = 116 - \frac{15,61 - j9,6}{116} \cdot (24,48 + j34,72) = 109,8 - j2,65 \text{ kV}$$

Kuchlanish moduli

$$U_2 = \sqrt{109,8^2 + 2,65^2} = 109,8 \text{ kV}$$

3-bosqich. Liniya parametrlarini ishlatib bo'ylamasiga va ko'ndalangiga kuchlanish pasayishini aniqlaymiz.

$$\Delta U_{12}^* = \frac{15,61 \cdot 24,48 + 9,6 \cdot 34,72}{115,9} = 6,17 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{12}^* = \frac{15,61 \cdot 34,72 - 9,6 \cdot 24,48}{115,9} = 2,85 \text{ kV}$$

Liniya oxiridagi kuchlanish

$$U_2 = 115,9 + j0,15 - 6,17 - j2,65 = 109,7 - j2,5 \text{ kV}$$

Liniya oxiridagi kuchlanish moduli

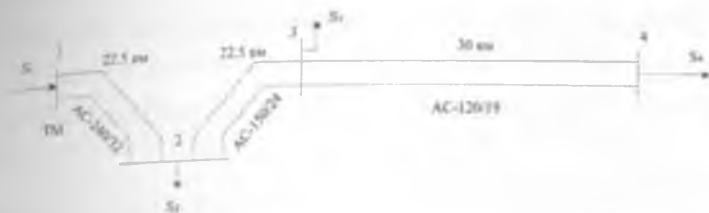
$$U_2 = \sqrt{109,7^2 + 2,5^2} = 109,7 \text{ kV}$$

Liniyada kuchlanish yo'qotilishi

$$U_1 - U_2 = 115,9 - 109,7 = 6,2 \text{ kV}$$

2-Misol. 4.3.2-rasmda ko'rsatilgan ta'minlash tarmog'ini ish tartibini hisoblang. Yuklama quvvatlari transformatorlarni yu.k tomonidan ko'rsatilgan.

$$S_2 = 22,13 + j18,35 \text{ MVA}; S_3 = 17,11 + j14,45 \text{ MVA}; S_4 = 41,21 + j34,72 \text{ MVA}$$



4.3.8-rasm. Ochiq elektr ta'minotining ish tartibini hisoblash

Liniyalar uzunligi va ishlatilgan simlar markasi rasmda ko'rsatilgan. TM kuchlanish 117,7 kV da ushlab turiladi. Jadvaldan AS-240/32, AS-150/24, AS-120/19 simlar uchun 1 km uzunlikni solishtirma qarshiliklarini o'lkazuvchanlikni ikki sistemali liniya uchun aniqlaymiz.

Almashtiruv sxemasini tuzamiz. Yuklamalar ulangan nuqta kuchlanishlari noma'lum, liniyaning boshidagi kuchlanish esa ma'lum. Hisoblashni ikki bosqichda olib boramiz.

I-bosqich. Sig'im quvvati, isroflar va quvvat oqimini nominal kuchlanish bo'yicha aniqlaymiz, ya'ni 34 liniyadagi generatsiya qiladigan quvvat.

$$Q_{da} = \frac{1}{2} \cdot U_L^2 \cdot b_{da} = \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} = 0,97 \text{ MVar}$$

34 liniya oxiridagi quvvat

$$S_{34} = S_4 - jQ_{da} = 41,21 + j34,72 + j0,97 = 41,21 + j33,75 \text{ MVA}$$

34 liniyadagi quvvat isrofini aniqlaymiz

$$\Delta S_{34} = \frac{(P_{34}^2 + Q_{34}^2)}{U_N^2} \cdot (x_{34} + jx_{34}) = \frac{41,21^2 + 33,75^2}{110^2} (3,74 + j6,4) = 0,88 + j1,5 \text{ MVA}$$

34 liniya boshidagi quvvat

$$S_{34} = S_4 - jQ_{da} = 41,21 + j33,75 + j0,88 + j1,5 = 42,09 + j35,26 \text{ MVA}$$

Shunga o'xshab 23 va 12 liniyalar uchun hisoblaymiz

$$Q_{23} = \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 1,22 \cdot 10^{-4} = 0,74 \text{ MVar}$$

$$S_{23}^m = S_{34}^b - jQ_{23}^b + S_2 - jQ_{23}^m = 42,09 + j35,25 - j0,97 + j17,11 + j14,45 - j0,74 = 59,2 + j48 \text{ MVA}$$

$$\Delta S_{23} = \frac{(P_{23}^m)^2 + (Q_{23}^m)^2}{U_{23}^2} \cdot (r_{23} + jx_{23}) = \frac{59,2^2 + 48^2}{110^2} \cdot (2,23 + j4,72) = 1,07 + j2,27 \text{ MVA}$$

$$S_{23}^m = S_{23}^m + \Delta S_{23} = 59,2 + j48 + 1,07 + j2,27 = 60,27 + j50,27 \text{ MVA}$$

$$Q_{212} = \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 1,264 \cdot 10^{-4} = 0,76 \text{ MVar}$$

$$S_{12}^m = S_{23}^b - jQ_{12}^b + S_2 - jQ_{12}^m = 60,27 + j50,27 - j0,74 + j22,13 + j18,35 - j0,76 = 82,4 + j67,12 \text{ MVA}$$

$$\Delta S_{12} = \frac{(P_{12}^m)^2 + (Q_{12}^m)^2}{U_{12}^2} \cdot (r_{12} + jx_{12}) = \frac{82,4^2 + 67,12^2}{110^2} \cdot (1,35 + j4,56) = 1,26 + j4,26 \text{ MVA}$$

$$S_{12}^m = S_{12}^m + \Delta S_{12} = 82,4 + j67,12 + 1,26 + j4,23 = 83,66 + j71,37 \text{ MVA}$$

TM shinasidan 12 liniyaga oquvchi quvvat

$$S_1 = S_{12}^b - jQ_{12}^b = 83,66 + j71,37 - j0,76 = 83,66 + j70,61 \text{ MVA}$$

2-bosqich. U2 kuchlanishni aniqlaymiz

$$\Delta U_{12}^b = \frac{P_{12}^b \cdot r_{12} + Q_{12}^b \cdot x_{12}}{U_1} = \frac{83,66 \cdot 1,35 + 71,37 \cdot 4,56}{117,7} = 3,72 \text{ kV}$$

$$\delta U_{12}^b = \frac{P_{12}^b \cdot x_{12} - Q_{12}^b \cdot r_{12}}{U_1} = \frac{83,66 \cdot 4,56 - 71,37 \cdot 1,35}{117,7} = 2,42 \text{ kV}$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}^b - j\delta U_{12}^b = 117,7 - 3,72 - j2,42 = 114 - j2,42 \text{ kV}$$

Kuchlanish modulini aniqlaymiz

$$U_2 = \sqrt{114^2 + 2,42^2} = 114 \text{ kV}$$

110 kV va undan past kuchlanishli elektr tarmoqlarida kuchlanish pasayishini ko'ndalalangiga tarkibiy qismi hisoblarga uncha ta'sir etmaydi. Shuning uchun ko'rilayotgan tarmoq uchun bo'yلامas tarkibiy qismini hisobga olsak, unda ikkinchi nuqta uchun

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}^b = 117,7 - 3,72 = 114 \text{ kV}$$

3, 4 tugundagi kuchlanishni aniqlaymiz

$$\Delta U_{23}^b = \frac{P_{23}^b \cdot r_{23} + Q_{23}^b \cdot x_{23}}{U_1} = \frac{63,27 \cdot 2,23 + 50,27 \cdot 4,72}{114} = 3,26 \text{ kV}$$

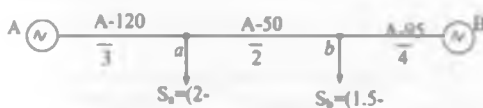
$$\Delta U_{34}^b = \frac{P_{34}^b \cdot r_{34} + Q_{34}^b \cdot x_{34}}{U_3} = \frac{42,09 \cdot 3,74 + 35,25 \cdot 6,4}{110,7} = 3,45 \text{ kV}$$

$$U_4 = 110,7 - 3,45 = 107,2 \text{ kV}$$

4.3.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar

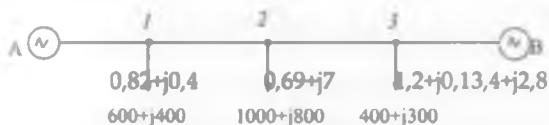
1-misol. 6.3.1-rasmda ko'rsatilgan iste'molchilar kuchlanishlari $U_A=11$ kV, $U_V=10,5$ kV bo'lgan ikki manbadan ta'minlanadi. Uchastkalar uzunligi (km)da, yuklamalar (MVA)da simlar markasi rasmda ko'rsatilgan.

Tok bo'linish nuqtasini va 6.3.1-rasmda ko'rsatilgan uchastkalardagi quvvat taqsimotini aniqlang:



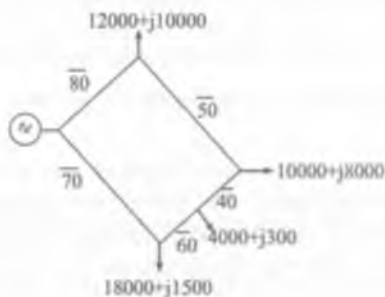
6.3.1-rasm

2-misol. 6.3.2-rasmda tasvirlangan ikki tarafdin ta'minlangan tarmoqda, ta'minlash manbalarining kuchlanishlari bir xil, 6 kVga teng bo'lganda quvvat taqsimlanishini aniqlang. Sxemada yuklama (kVA)da tarmoq uchastkalarini qarshiliklari (Om)da ko'rsatilgan.



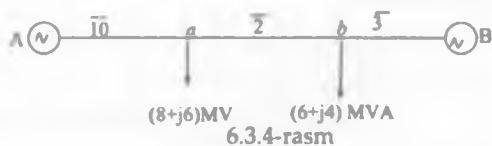
6.3.2-rasm

3-misol. 220 kVli berk zanjirli elektr tarmog'i bir xil kesim yuzali simdan tayyorlangan. 6.3.3-rasmda yuklamalar (kVA)da uchastkalar uzunligi (km)da ko'rsatilgan. Tarmoqdagi quvvat taqsimotini aniqlang.



6.3.3-rasm

4-misol. 6.3.4-rasmda ko'rsatilgan a va b hududlarda joylashgan korxonalar 35 kV kuchlanishda A va B rayon podstantsiyalardan ta'minlanadi. A va B podstantsiyalar kuchlanishlari o'zaro teng va fazalari ustma-ust tushadi. Liniya faza simlari gorizantal joylashgan, ular orasidagi masofa 4 km bo'lgan po'lat-alumin simdan tayyorlangan. Tarmoqdagi quvvat isrofini hamda a va b nuqtagacha bo'lgan kuchlanish yo'qotilishini aniqlang.



Nazorat savollari:

1. Uch chulg'amli transformatorlar chulg'amlarida energiya isrofi qanday?
2. Kuchlanishni yo'qotilishi kuchlanishni pasayishdan nima bilan farq qiladi?
3. Kuchlanish pasayishini bo'ylamasiga va ko'ndalangiga tarkibiy qisml quvvatlar orqali qanday ifodalanadi?
4. Qachon kuchlanish pasayishni bo'ylamasiga tarkibiy qismini kuchlanish yo'qotilishiga tenlashtirish mumkin?
5. Liniyal quvvatlar va yuklama quvvatlari (toklari) bilan hisoblash nima bilan farq qiladi?
6. Hisoblarni qaysi holatlarda qarshiliklar orqali emas, uzunliklarda bajarish mumkin?

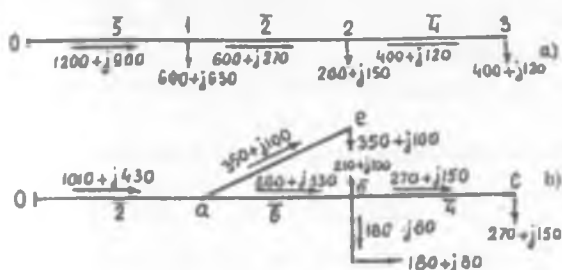
V. Taqsimlovchi sho'lasimon elektr tarmoqlari

5.1. Taqsimlovchi ochiq elektr tarmoqlarini hisoblash

Sho'lasimon tarmoqlar deb shunday tarmoqlarga aytiladiki, ulardan energiya iste'molchilarga bir tomondan uzatiladi. Ko'pincha bunday tarmoqlarga 110 kV kuchlanishgacha taqsimlovchi energiyani 20-30 km dan oshmagan masofadagi iste'molchilarga yetkazib beradigan tarmoqlar kiradi.

10 kV kuchlanishli bunday tarmoqlarning mumkin bo'lgan shoxobchasiz va shoxobchali sxemalari 5.1.1-a,b rasmlarda ko'rsatilgan. Rasmlarda

quvvatlar kilovatt va kilovolt–amper reaktiv, uzunlik kilometrlarda (ustiga chizilgan sonlarni qarang) ko'rsatilgan. Agarda hisoblashni birinchi bosqichida quvvat isrofi hisobga olinmasa, unda yuklamalarni to'liq quvvatini hamda har bir uchastkaldagi liniya quvvatlarini (toklarini) topish mumkin. Demak, 01 uchastkada (5.1.1a rasm) liniya quvvati $1200+j900$, 1-2 uchastkada $600+j270$ kVt va hokazo. Shunday qilib sho'lasimon tarmoqlarda quvvat taqsimlanishi majburiydir hamda yuklamalar va tugunlardagi quvvat tenglik muvozanati sharti bilan aniqlanadi.



5.1.1-rasm. 10 kV li sho'lasimon tarmoq

Sho'lasimon elektr tarmog'i har bir shoxobchalarining to'liq quvvati tarmoqning shu uchastka orqali ta'minlanayotgan hamma yuklamalar quvvatining yig'indisidan hosil bo'ladi.

Har bir uchastkadagi ish toki quyidagi formula orqali topiladi.

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U_n} \quad (5.1.1)$$

Maksimal yuklamada ishlash vaqti bilan yoki uni quyida keltirilgan ifoda orqali topib (liniyaning uzunligi bo'yicha juda ko'p iste'molchilar bo'lganda)

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n P_{maks} \cdot T_{maks}}{K_n \sum_{i=1}^n P_{maks}} \quad (5.1.2)$$

qizdirishga tekshirilishi kerak bo'lgan simning iqtisodiy kesim yuzasi F_{iq} aniqlanadi.

So'ngra esa qarshiliklar har bir uchastka uchun jadvaldan topiladi:

$$R = r_l \cdot \varphi \varphi X = x_l l$$

Quvvat isrofi ΔS ni aniqlash uchun eng avval uzatayotgan uchastkaning oxiridan ketma-ket birinchi uzatayotgan uchastkaning boshigacha

siljishni tavsiya etiladi. Quvvat isrofiga uchastkalardagi topilgan quvvatni qo'shib, uzatayotgan uchastkaning oxiridagi to'liq quvvatni quvvat isrofini hisobga olgan holda topish mumkin.

$$P_i = P_i + \Delta P_i \quad (5.1.3)$$

$$Q_i = Q_i + \Delta Q_i \quad (5.1.4)$$

5.1.1a-rasmda keltirilgan sxema uchun birinchi bosqichdagi hisoblashlardan keyin aktiv va reaktiv quvvatlarining taqsimlanishi topilgan. Bu quvvatlar har bir shoxobcha uchun rasmda ko'rsatilgan. Ikkinchi bosqichdagi hisobda, ya'ni quvvat isrofini hisobga olib to'liq quvvat quyidagicha aniqlanadi:

1) (4.1.6, 4.1.7) orqali (2-3) uchastkadagi quvvat isrofi topiladi.

$$\Delta S_{2-3} = \Delta P_{2-3} + j \Delta Q_{2-3}$$

2) (2-3) uchastkadagi to'liq quvvat topiladi. Buning uchun kattaliklar qo'shiladi.

$$P_{2-3} = 400 + \Delta P_{2-3}, \quad Q_{2-3} = 120 + \Delta Q_{2-3}$$

3) (2-3) uchastkaning ma'lum bo'lgan quvvatidan so'ng (1-2) uchastkaga o'tiladi. Bu uchastkadagi quvvat $P_{1-2} = 600 + \Delta P_{1-2}$ va $Q_{1-2} = 270 + \Delta Q_{1-2}$ quvvatlar orqali bu uchastkadagi quvvat isrofi aniqlanadi.

4) 0-1 uchastkadagi quvvat $P_{0-1} = 1200 + \Delta P_{1-2} + \Delta P_{2-3}$ kattalikni tashkil etadi va hokazo. Shunday qilib bu uchastkadagi aniqlangan quvvat taqsimlanishi birinchi bosqichda hisoblab topilgandan keyin uchastkalardagi quvvat isroflarini qo'shib aniqlanadi. Bu aniqlangan quvvat taqsimotidagi 0-1 uchastkadagi quvvat isrofi topiladi. Bu bosh uchastkadagi quvvat taqsimotiga undagi quvvat isrofni qo'shib oxiri 0 dan uzatayotgan to'liq quvvat aniqlanadi.

$$5) \Delta U = \sum \frac{P_i R_i + Q_i X_i}{U} \text{ formula yordamida tarmoqning eng uzoq}$$

lashgan nuqtasigacha bo'lgan kuchlanish yo'qotilishi topiladi. Agarda uning qiymati ΔU_{max} dan katta bo'lsa unda simlarni kesim yuzasini katta-lashtirish zarur.

110 kV va undan yuqori tarmoqlarini ishlash tartibi liniya generatsiya qiladigan quvvat hisobiga o'zining maxsus xususiyatiga egadir.

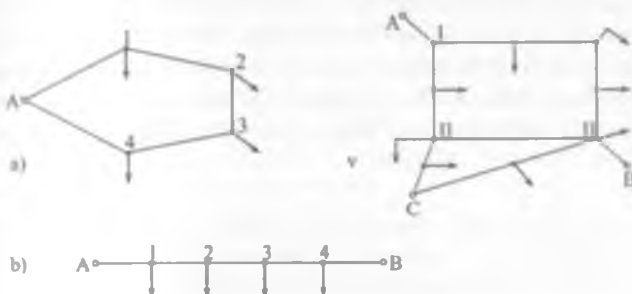
Nazorat savollari:

1. Taqsimlovchi ochiq tarmoqlar deb qanday tarmoqlarga aytiladi?
2. Ochiq tarmoqlarda quvvat taqsimlanishi qanday hisoblanadi?

3. Berk zanjirli tarmoqlarga nisbatan taqsimlovchi ochiq tarmoqlarning kamchiliklari nimalardan iborat?

5.2. Berk zanjirli taqsimlovchi elektr tarmoqlari. Ikki tarafdan ta'minlanadigan liniyalar.

Asosiy tushunchalar va qo'llanish doirasi. Ochiq elektr tarmoqlarining jiddiy kamchiligi bu tarmoqlarning biror uchastkasi ishdan chiqsa iste'molchilarning katta qismi elektr energiya ta'minotidan mahrum bo'ladi.



5.2.1-rasm. Berk zanjirli tarmoqlarning sxemasi.

Shuning uchun mas'uliyatli, elektr ta'minoti uzilib qolishi mumkin bo'lmagan iste'molchilarni ishonchli elektr energiya bilan ta'minlash uchun berk zanjirli elektr tarmoqlari qo'llaniladi. Berk zanjirli elektr tarmoqlari deb shunday tarmoqlarga aytiladiki ularda elektr energiya iste'molchilarga kamida ikki tomondan yetkazib beriladi. Bular yuklamalar ikki va undan ko'p bo'lmagan tomondan ta'minlaydigan oddiy berk zanjirli tarmoqlarga va tugun nuqtalariga ega elektr energiya esa kamida uchta tomondan berilishi kerak bo'lgan murakkab berk zanjirli tarmoqlarga bo'linadi.

a- xalqasimon tarmoq; b- ikki tarafdan ta'minlangan tarmoq; v- murakkab berk zanjirli tarmoqning sxemasi.⁹

Oddiy berk zanjirli tarmoq bir ta'minlash manbaiga ega bo'lib xalqasimon ko'rinishda bo'lishi mumkin, unda uni berk zanjirli tarmoq deb aytiladi; yoki liniya ikkita ta'minlash manbaiga ega bo'lishi mumkin,

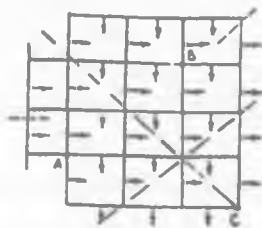
⁹ Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley - Interscience A John Wiley & Sons, INC Publication, 2007, 260 p.

bunda uni ikki tarafdin ta'minlovchi liniya deb aytiladi. Berk zanjirli tarmoqni ta'minlovchi manbadan bo'lib ikki tarafdin ta'minlanuvchi tarmoqqa keltirish mumkin.

5.2.1v-rasmda murakkab berk zanjirli tarmoqning sxemasi ko'rsatilgan. Bunday tarmoqni ikki tarafdin ta'minlanadigan tarmoqqa keltirish mumkin emas chunki bu murakkab o'zgarishlarni talab etadi.

Taqsimlovchi tarmoqlarda ko'pincha oddiy berk zanjirli xalqasimon, yoki ikki tarafdin ta'minlangan tarmoqlar va yana xalqasimon ta'minlanadigan bir turi bo'lgan ikki sistemali liniyalar qo'llaniladi.

Taqsimlovchi tarmoqlardagi past kuchlanishning murakkab berk sxemalari berk setka (to'r) deb ataladigan ko'rinishda bo'lishi mumkin, bunday ko'rinishli tarmoqlar katta shaharlarda 400/230 V bo'lgan shahar xo'jalik yuklamalarini ta'minlashda qo'llaniladi. Bunday tarmoqning sxemasi (5.2.2-rasm) shahar ko'chalarida o'tkazilgan, kesishgan joylarni



5.2.2-rasm. Berk setkaning sxemasi.

birlashtiruvchi va parallel bir necha manbadan ta'minlanuvchi liniyalarni ifoda etadi.

Amaliy hisoblarda berk setkani ochiq tarmoqlarga aylantirish uchun shartli ravishda tugun nuqtalaridan (shtrixli liniyalar) kesamiz va so'ngra ma'lum usullarda metallni minimal sarfi va ruxsatlangan kuchlanishning yo'qotilishi bo'yicha hisoblaymiz. Bunday kesish juda aniq natijalarni beradi chunki tarmoqni bo'linish joyi ko'pincha yuklamalar bo'lingan nuqtalar bilan yaqin ustma-ust tushadi.

Berk zanjirli tarmoqlarning asosiy afzalliklari:

Ishonchlilik. Manbaning birortasi ishdan chiqqanida (A yoki V) hamma iste'mol qiladigan yuklamalar shikastlangan uskunani ajratish uchun kerak bo'lgan vaqtlil uzilishdan so'ng boshqa manbalardan energiyani qabul qilishi mumkin. shuningdek bu yana liniyaning qandaydir uchastkasidagi shikastga ham tegishlidir. Masalan A-1 uchastka shikastlanganda hamma iste'molchilarni ta'minlash V manбайдan davom etishi

mumkin. Shuningdek boshqa, masalan 2-3 uchastkasida shikastlanish bo'lsa, u o'chirilgandan so'ng bir qism iste'molchilar birinchi manbadan, qolganlari ikkinchisidan ta'minlanishi davom etadi.

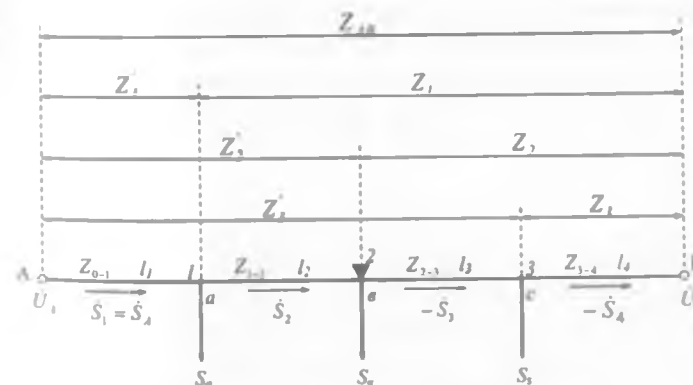
Moslanuvchanlik. Berk zanjirli tarmoqlarda qisqa vaqtlil iste'molchilarda yuklamani tebranishi yoki uzoq vaqtlil uni o'zgarishi, ochiq tarmoqlarga nisbatan kuchlanishni kam tebranishi va yo'qotilishini yuzaga keltiradi.

Kuchlanishning yo'qotilishi. Quvvatlarni tabiiy ravishda qaytadan taqsimlanishi tufayli ta'minlovchi punktlarning kuchlanishlari bir xil UAqUV bo'lganda kuchlanishning yo'qotilishi minimal bo'ladi. Yuklamalarni o'zgarishi jarayonida quvvatlarni ixtiyoriy o'zgarishi va ularni berk zanjirli tarmoq uchastkalarida eng maqbul quvvatlarni (toklarni) taqsimlanishini ta'minlaydi. Bo'lish nuqtasi deb atalgan nuqtalar berk zanjirli tarmoqlarda erkin harakatlanadiki, bu holatda berk zanjirli tarmoqlarda toklarni (quvvatlarni) taqsimlanishi bo'linish nuqtasiga asosan majburiydir.

Ta'minlovchi punktlarning har xil $U_A \neq U_B$ kuchlanishda bo'lishi potensiallarning har xilligidan tenglashtiruvchi deb ataladigan tokni yuzaga keltiradi. Bu toklar ko'pincha qo'shimcha quvvat isrofini beradi.

Qaytadan chuqur tuzatishsiz tarmoqlarni rivojlantirish.

Berk zanjirli tarmoqlarda quvvatlarni ixtiyoriy taqsimlanishi tufayli o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish imkoniyati bo'ladi, ya'ni yuklamalar oshishi bilan tarmoqni esa qaytadan o'zgartirish shart emas. Bularning



5.2.3 -rasm. Ikki tarafdin ta'minlanadigan tarmoqning sxemasi.

barchasi yuklamalarni ma'lum bir qiymatlarida to'g'ridir.

Ikki tarafdin ta'minlangan liniyalarni hisoblash.

Modomiki yuqorida ko'rsatilganidek berk zanjirli tarmoqlarni osonlik bilan ikki tarafdin ta'minlanadigan liniyalarga keltirish mumkin ekan, oddiy berk zanjirli tarmoqlarni hisoblashda umumiy hol bo'lgan ikki tarafdin ta'minlanadigan liniyalarni (5.2.3-rasm) hisoblash usulini ko'rib chiqamiz.

Bu yerda: S_a, S_b va S_3 - 1, 2 va 3 nuqtalardagi yuklamalar.

S_1, S_2 va S_3 - uchastkalardagi to'liq quvvatlar:

$Z_{01}, Z_{12}, Z_{23}, Z_{34}$ va l_1, l_2, l_3, l_4 - tegishli bo'lgan uchastkalarining to'liq qarshiliklari va uzunliklari: A va V - ta'minlash manbalari: U_A va U_B - ta'minlash manbalarining kuchlanishlari.

Har bir uchastkalar oralig'idagi liniya kuchlanishining pasayishi teng bo'ladi:

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

Bu yerda I_i berilgan i uchastkadagi tok:

Z_i - shu uchastkaning qarshiligi.

Modomiki

$$\dot{S}_i = \sqrt{3} I_i \dot{U}_{i-1} \text{ unda } \Delta \dot{U}_i = \frac{\dot{S}_i}{U_i} Z_i$$

Liniyalardagi quvvat isrofini hisobga olmasdan, ya'ni har bir uchastka uzunligi bo'yicha kuchlanishlarni o'zgarimas deb faraz qilib ($\dot{U}_1 = \dot{U}_2 = \dot{U}_N$ mahalliy elektr tarmoqlari uchun mumkin bo'lgan holat). Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan A va V nuqtalar orasidagi kuchlanishning pasayishi uchun quyidagi tenglikni yozishimiz mumkin.

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

yoki

$$\dot{S}_1 Z_{01} + \dot{S}_2 Z_{12} + \dot{S}_3 Z_{23} + \dot{S}_4 Z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{U}_N \quad (5.2.1)$$

Bu yerda U_N - tarmoqning nominal kuchlanishi.

Endi Kirxgofning birinchi qonunini 1 2 3 nuqtalar uchun qo'llab va tarmoqda quvvat isrofi bo'lmaydi deb qabul qilib, quyidagi tenglikni tuzamiz:

$$\dot{S}_1 Z_{01} + \dot{S}_2 Z_{12} + \dot{S}_3 Z_{23} + \dot{S}_4 Z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{U}_N \quad (5.2.2)$$

Bu ifodani (5.2.1) tenglamaga qo'ysak hosil bo'ladi.

$$\dot{S}_1 z_{01} + (\dot{S}_1 - \dot{S}_2) z_{12} + (\dot{S}_1 - \dot{S}_2 - \dot{S}_3) z_{13} + (\dot{S}_1 - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4) z_{14} = (\dot{U}_1 - \dot{U}_2) \dot{U}_1$$

yoki

$$\dot{S}_1 (z_{01} + z_{12} + z_{23} + z_{34}) - \dot{S}_2 (z_{12} + z_{23} + z_{34}) - \dot{S}_3 (z_{23} + z_{34}) - \dot{S}_4 z_{34} = (\dot{U}_1 - \dot{U}_2) \dot{U}_1$$

Bundan punkt A dan liniyaga chiquvchi izlanayotgan quvvat teng bo'ladi:

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_A = \frac{\dot{S}_2 (z_{12} + z_{23} + z_{34}) + \dot{S}_3 (z_{23} + z_{34}) + \dot{S}_4 z_{34} + (\dot{U}_1 - \dot{U}_2) \dot{U}_1}{z_{01} + z_{12} + z_{23} + z_{34}} \quad (5.2.3)$$

Belgilaymiz

$$z_1^1 = z_{01}; \quad z_1 = z_{12} + z_{23} + z_{34}; \quad z_2^1 = z_{01} + z_{12}; \quad z_2 = z_{23} + z_{34};$$

$$z_3^1 = z_{01} + z_{12} + z_{23}; \quad z_3 = z_{34}; \quad z_{AB} = z_{01} + z_{12} + z_{23} + z_{34}$$

va bu kattaliklarni (5.2.3) formulaga qo'ysak hosil bo'ladi.

$$\dot{S}_A = \frac{\dot{S}_2 z_1 + \dot{S}_3 z_2 + \dot{S}_4 z_3 + (\dot{U}_1 - \dot{U}_2) \dot{U}_1}{z_{AB}} \quad (5.2.4)$$

yoki ko'p yuklamalar uchun umumiy ko'rinishda:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum \dot{S}_i z_i}{z_{AB}} + \frac{(\dot{U}_1 - \dot{U}_2) \dot{U}_1}{z_{AB}} \quad (5.2.5)$$

Xuddi shunday formulani V nuqtadan chiquvchi quvvat uchun chiqarish mumkin

$$\dot{S}_V = \dot{S}_B = \frac{\sum \dot{S}_i z_i^1}{z_{AB}} + \frac{\dot{U}_A}{z_{AB}} \dot{U}_B \dot{U}_V \quad (5.2.6)$$

Bu yerda z_i^1 A punktdan har bir yuklamagacha bo'lgan qarshilik.

$\dot{S}_i$ ni bilib (5.2.2) ifoda yordamida uchastkalar bo'yicha taqsimlangan qolgan yuklamalar oson topiladi. Chunki 5.2.3-rasmda quvvatni musbat yo'nalishi qilib shartli ravishda A dan V gacha bo'lgan yo'nalish qabul qilingan, unda V ta'minot manbasiga yaqin uchastkalardagi yuklamalarning bir qismi manfiy belgida bo'ladi, bu esa ularni teskari yo'nalishdaligini ko'rsatadi. Qandaydir nuqtaga quvvat ikki tarafdin oqadi. Ko'rilayotgan holat uchun shunday nuqta 2-chi nuqtadir. Bu nuqta bo'lish nuqtasi deb ataladi va ko'pincha ∇ -ishora bilan belgilanadi. Tenglama (5.2.5) da ikkinchi a'zo kuchlanishlar farqi tufayli potentsiali ancha yuqori nuqtadan past potentsiilli nuqtaga yo'nalgan A-V liniyadan oquvchi tenglashtiruvchi quvvatni ifodalaydi. Bu juda ham keragi yo'q bo'lgan quvvat yuklamalarga (ya'ni S_u, S_v, S_s, S_n larga) bog'liq emas, kuchlanishlarni farqi tufayli quvvat isrofi ortadi. Shuning uchun imkoniyatga qarab tarmoqni ta'minlaydigan punktlarning kuchlanishlarini tenglashtirishga harakat qilinadi. Ta'minlash nuqtasida kuchlanishlarni tengligi yoki berk zanjirli sxemada (A va V nuqtalar

ustma-ust tushganda $\dot{U}_A = \dot{U}_B$ (5.2.5) dan tenglikning o'ng tomonidagi ikkinchi a'zo yo'qoladi va A punktdan chiquvchi quvvatni topish formulani quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i Z_i}{Z_{AB}} \quad (5.2.6a)$$

Shunday qilib bir ta'minlash manbaidan chiqadigan quvvatni aniqlash uchun yuklamalar momenti yig'indisini boshqa manbaga nisbatan aniqlash va uni to'liq qarshilik Z_{AB} ga bo'lish kerak. $\dot{U}_A = \dot{U}_B$ bo'lganda yoki xalqasimon sxemalarni hisoblaganda ikkala ta'minlash manbaidan bo'lish nuqtasigacha kuchlanish bir xil. Shuning uchun bu nuqtada tarmoq shartli kesiladi va kuchlanish yo'qotilishi xohlagan yarmi uchun bir tomondan ta'minlanadigan tarmoqlarga o'xshab aniqlanadi.

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

$$\dot{S}_A = P_A - jQ_A = \frac{\sum_{i=1}^n \{ (P_i - jQ_i) \cdot (R_i + jX_i) \}}{R_{AB} + jX_{AB}} \quad (5.2.7)$$

Agarda aktiv (R_A) va reaktiv (Q_A) quvvatlarni taqsimlanishi ayrim-ayrim aniqlansa hamda (5.2.7) formuladagi qarshiliklarni o'tkazuvchanliklar bilan almashtirilsa ko'p hollarda hisoblashni osonlashtirish mumkin.

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

Bu yerda

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

Bu kattaliklarni (5.2.6a) formulaga qo'ysak:

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

hamma amallarni qo'llab haqiqiy va mavhum qiymatlarga ajratib olamiz:

$$\begin{aligned} P_A &= G_{AB} \sum_{i=1}^n (P_i R_i + Q_i X_i) - B_{AB} \sum_{i=1}^n (R_i X_i - Q_i R_i) \\ Q_A &= G_{AB} \sum_{i=1}^n (R_i X_i - Q_i R_i) + B_{AB} \sum_{i=1}^n (P_i R_i + Q_i X_i) \end{aligned} \quad (5.2.8)$$

(5.2.8) formulasi aktiv va reaktiv quvvatlarni taqsimlanishini yuklamani mutloq haqiqiy va mavhum qiymatlari va qarshiliklari yordamida hisoblashga imkon beradi. Bu formulalardagi quvvat taqsimlanishi

qiymatlariga ikki tarafdan ta'minlanadigan tarmoqlarda bo'lganida tenglashtirish quvvatini qo'shish kerak.

Ikki tomonlama ta'minlanadigan liniyalarda quvvat taqsimlanishi aniqlanib odatdagi usul bilan kuchlanish yo'qotilishini aniqlashga o'tiladi.

Nazorat savollari:

1. Ikki tarafdan ta'minlanadigan liniyalarni afzalliklari nimadan iborat?
2. Fazali quvvatni kompleks kattaligi nimaga teng?
3. Qaysi shartga asosan ikki tarafdan ta'minlanadigan liniyalarda quvvat taqsimlanishi aniqlanadi? Ifodani umumiy ko'rinishda yozing.
4. Bo'linish nuqtasi nima?
5. Ikki tarafdan ta'minlanadigan liniyalarda ta'minlash punkti kuchlanishlari bir xil va har xil bo'lganda quvvat taqsimlanishi qanday bo'ladi?
6. Tenglashtiruvchi quvvat qanday aniqlanadi? U foydalimi?

5.3. Ikki tarafdan ta'minlangan liniyalarni hisoblashning ayrim hollari

Yuqorida chiqarilgan ifodalarni soddalashtirish va hisoblashni osonlashtirish uchun ayrim hollarni ko'rib chiqamiz.

1. Agarda liniyaning butun uzunligi bo'yicha tayanchlarda simlar bir xil osilgan va nazariy jihatdan reaktiv va aktiv qarshiliklarni o'zaro nisbati (bir turdagi) o'zgarmas bo'lsa

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

unda (5.2.5) formulani quyidagicha o'zgartirish mumkin.

$$\dot{S}_A = \frac{\sum \dot{S}_i Z_i}{Z_{AB}} = \frac{\sum \dot{S}_i (R_i + jX_i)}{R_{AB} + jX_{AB}}$$

va $x=mR$ va $X_{AB}=mR_{AB}$ qo'yib olamiz

$$\dot{S}_A = \frac{\sum \dot{S}_i (1+jm)R_i}{(1+jm)R_{AB}} = \frac{\sum \dot{S}_i R_i}{R_{AB}} = \frac{\sum P_i R_i}{R_{AB}} + j \frac{\sum Q_i R_i}{R_{AB}} \quad (5.3.1)$$

ya'ni bu hisoblashni aktiv qarshilik bo'yicha quvvatni haqiqiy va mavhum qismlarga ayrim holda ajratib olib borish mumkin. Kompleks holatda tenglama quyidagi ko'rinishda bo'lishi mumkin.

$$\dot{S}_A = \frac{\sum \dot{S}_i R_i}{R_{AB}} = \frac{\sum P_i R_i}{R_{AB}} + j \frac{\sum Q_i R_i}{R_{AB}} \quad (5.3.2)$$

2. Ko'ndalang kesim yuzasi bir xil, butun uzunlik bo'yicha liniya bir turli, ya'ni ko'pincha amaliy uchraydigan $r_0=\text{const}$ bo'lsa biz (5.3.2) dan

$R_{\text{L}} = r_{\text{L}}$ va $R_{\text{L}} = r_{\text{L}}$ bilan almashtirishimiz mumkin, Bu yerda L – tegishli yuklamadan V punktigacha bo'lgan masofa,

L_{L} – liniyaning butun uzunligi, unda bo'ladi:

$$S_{\text{L}} = \frac{\sum p_i r_i L_i}{r_{\text{L}} L_{\text{L}}} + j \frac{\sum q_i r_i L_i}{r_{\text{L}} L_{\text{L}}} \quad (5.3.3)$$

yoki

$$P_{\text{L}} = \frac{\sum p_i L_i}{L_{\text{L}}} \quad Q_{\text{L}} = \frac{\sum q_i L_i}{L_{\text{L}}} \quad (5.3.4)$$

Bu holda hisoblashni liniyaning uzunligi bo'yicha ayrim aktiv va ayrim reaktiv yuklamalarni taqsimlanishini aniqlab, olib borish mumkin.

3. **Bir xil quvvat koeffitsiyentiga ega bo'lgan yuklamali liniyalarda** hamma yuklamalarning $\cos \varphi$ bir xil va liniyalar bir turda bo'lsa, unda hisoblashni (5.3.2) formulaga asosan to'liq quvvatlarning qiymatlarini qo'yib olib borish mumkin, yuklamaning reaktiv qismi bo'lmasa ($\cos \varphi = 1$) bu formulaga faqat aktiv quvvatlar qo'yiladi.

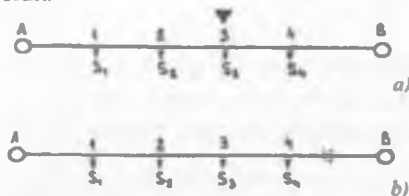
Nazorat savollari:

1. Ikki tarafdin ta'minlanadigan liniyalarni qanday soddalashtirish mumkin?

2. Ikki tarafdin ta'minlanadigan liniyalarda simlarni kesim yuzali har xil bo'lganda quvvat taqsimlanishi qanday aniqlanadi?

5.4. Oddiy berk zanjirli tarmoqlar hisobi

Oddiy berk zanjirli tarmoqlarni hisoblashning sho'lasimon liniyalarda farqi ularda tarmoqni tekshirishni ikki: normal – qachonki iste'molchilar bir vaqtni o'zida har ikki manba A va B orqali ta'minlangan (5.4.1a-rasm) va shikastlangan – qachonki ta'minlash manbalardan bittasi masalan, manba B yoki unga ulangan liniya ishdan chiqqan (5.4.1b-rasm) holat uchun olib borish kerak.



5.4.1-rasm. Ikki tarafdin ta'minlanuvchi tarmoqlar sxemasi.

a) normal holat b) shikastlangan holat

Birinchi holatda uchastkalar bo'yicha olingan yuklamalarning taqsimlanishi tarmoq ta'minlash punktlaridan bo'lish nuqtasigacha bo'lgan ruxsatlangan kuchlanishning yo'qotilishi sharti bo'yicha qoniqtirishi kerak.

Ikkinchi holatda shikastlangan holat uchun eng uzoqlashgan nuqtagacha ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishi shartiga rioya qilmoq kerak (4-nuqta 5.4.1b-rasm). Shikastlangan holat uzoq davom etmaydi, shuning uchun bu hollarda simlarning ko'ndalang kesim yuzasi iqtisodiy zichligi talablarni qondirmasligi mumkin ammo qizdiradigan tokning ruxsatlangan maksimal qiymatiga tekshirilishi kerak.

Ikki tarafdin ta'minlanadigan berk zanjirli tarmoqlarni hisoblashda ikki xususiyatli holat uchrashi mumkin:

a) liniya butun uzunligi bo'yicha kesim yuzasi bir xil bo'lgan simdan tayyorlangan;

b) ta'minlash manbalariga yaqin joylashgan uchastkalar uchun kesim yuzasi katta bo'lgan simlar, bo'linish nuqtasiga tutashgan uchastkalarda esa kesim yuzasi kichik simlar ishlatilgan.

Birinchi holat ko'proq uchraydi, chunki liniyaning butun uzunligi bo'yicha simni bir xil kesim yuzasi amaliy jihatdan qulaydir. Iqtisodiy nuqtai-nazardan bunday yechim juda ko'p yuklamalar liniyaga bir-biriga yaqin masofada ulansa va yana liniyaning uzunligi bo'yicha yuklamalar bir xil taqsimlansa, o'zini oqlaydi. Hisoblash tartibi quyidagicha olib boriladi: liniyaning normal ish holati uchun formula asosida uchastkalar bo'yicha quvvat taqsimlanishi topiladi. Magistr al uchastkalardagi toklarni topib, ular orqali, yuklamalar bir xil taqsimlangan liniyalar uchun iqtisodiy kesim yuzasi topiladi. Olingan iqtisodiy kesim yuzalarni yaqin standartga yaxlitlashtirilgan o'rtachasi qabul qilinadi.

Yuklamalar bir xil taqsimlangan liniyalarda iqtisodiy kesim yuzasini aniqlashdagi xatolik amaldagi ruxsat etilgan oraliqda bo'ladi va yana yuklamalar soni qancha katta bo'lsa va liniyaning uzunligi bo'yicha qancha ko'p joylashsa, shuncha kichik bo'ladi.

Liniya simlarining kesim yuzasi formula orqali topilgandan so'ng, bo'lish nuqtasigacha bo'lgan kuchlanishni yo'qotilishi topiladi va agar normal holatda ruxsatlangan qiymatdan katta bo'lsa, tanlangan kesim yuzasi o'zgartiriladi.

So'ngra esa shikastlangan holat ko'riladi. Shikastlangan – juda og'ir, ta'minlanish manbalaridan birini o'chirilgandagi holatdir. Bunda, iste'molchilarning hammasini ta'minlanishi bir tarafdin amalga oshiriladi.

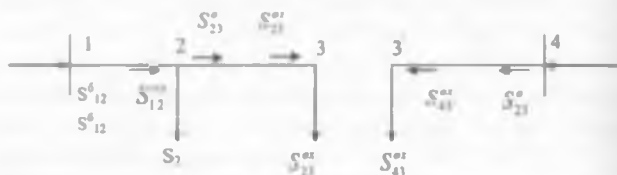
3-tugun aktiv va reaktiv quvvat taqsimlanishini bo'linish nuqtasi. Quvvat isrofini hisobga olmagan holda elektr stansiya shinasidagi kelayotgan quvvat teng.

$$S_1 = S_{12} - S_{43} = 75,38 + j62,06 \text{ mVA}$$

Misolni liniyalarda bo'ladigan quvvat isrofini hisobga olib davom etamiz.

S_{12} , S_{23} , S_{43} quvvatlar isrofini hisobga olmasdan aniqlangan. Ikki tarmadan ta'minlangan liniyani bo'linish nuqtasi 3 da qirqamiz. 3 va 3' nuqtalardagi yuklama teng.

$$S_{23}^* = 8,64 + j7,58 \text{ mVA} = S_{12}; \quad S_{43}^* = 30,56 + j25,31 \text{ mVA} = S_{43}$$



23, 12 liniyalarda quvvat oqimini aniqlaymiz.

23-liniya oxiridagi quvvat $S_{23}^* = S_{23} = 8,64 + j7,58 \text{ mVA}$ 23-liniyadagi quvvat isrofi

$$\Delta S_{23} = \frac{8,64^2 + 7,58^2}{110^2} \cdot (9,84 + j10,21) = 0,11 + j0,11 \text{ mVA}$$

12-liniya oxiridagi quvvat

$$S_{12}^* = S_{23}^* + \Delta S_{23} + S_2 = 8,64 + j7,58 + 0,11 + j0,11 + 36,18 + j29,17 = 44,93 + j36,86 \text{ mVA}$$

12-liniyadagi quvvat isrofi

$$\Delta S_{12} = \frac{44,93^2 + 36,86^2}{110^2} \cdot (3,6 + j12,15) = 1 + j3,39 \text{ mVA}$$

12-liniya boshidagi quvvat

$$S_{12}^* = S_{12}^* + \Delta S_{12} = 44,93 + j36,86 + 1 + j3,39 = 45,93 + j40,25 \text{ mVA}$$

43-liniyadagi quvvatni hisoblaymiz. $S_{43}^* = 30,56 + j25,31 \text{ mVA}$ 43-liniya oxiridagi quvvat

$$S_{43}^* = 30,56 + j25,31 \text{ mVA} \quad \text{43-liniyadagi quvvat isrofi}$$

$$\Delta S_{43} = \frac{30,56^2 + 25,31^2}{110^2} \cdot (8,1 + j20,65) = 1,05 + j2,69 \text{ mVA}$$

43-liniya boshidagi quvvat

$$S_1 = S_{12}^* + \Delta S_{43} = 45,93 + j40,25 + 1,05 + j2,69 = 46,98 + j42,94 \text{ mVA}$$

Yuqorida keltirilgan berk elektr tarmog'ida quvvat taqsimlanishini hisobga olib 2, 3 tugunlardagi kuchlanish va kuchlanish yo'qotilishini aniqlaymiz.

Quvvat isrofini hisobga olgan holda kuchlanish yo'qotilishi ΔU_{ek} (eng katta) hamda ko'ndalangiga quvvat isrofini hisobga olmay amalga oshiramiz.

$U_1 = U = 117,7$ kV teng holda kuchlanish yo'qotilishi quyidagicha

$$\Delta U_{43} = \frac{30,56^2 \cdot 8,1 + 25,31 \cdot 20,65}{117,7} = 6,54 \text{ kV}$$

$$U_3 = 117,7 - 6,54 \approx 111,2 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{44,82 \cdot 3,6 + 36,15 \cdot 12,15}{117,7} = 5,16 \text{ kV}$$

$$U_2 = 117,7 - 5,16 \approx 112,5 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{23} = \frac{8,64 \cdot 9,84 + 7,58 \cdot 10,21}{112,5} = 1,44 \text{ kV}$$

$$U_3 = 112,5 - 1,44 \approx 111,1 \text{ kV}$$

Quvvat isrofini hisobga olinmagan holda me'yoriy tartibda eng katta kuchlanish yo'qotilishi

$$U_{ek} = \Delta U_{12} + \Delta U_{23} = 5,16 + 1,44 \text{ kV}$$

Quvvat isrofini hisobga olib eng katta kuchlanish yo'qotilishi ΔU_{ek} ni aniqlaymiz:

$$\Delta U_{43} = \frac{3,56^2 \cdot 8,1 + 28 \cdot 20,65}{117,7} = 7,1 \text{ kV}$$

$$U_3 = 117,7 - 7,1 \approx 110,6 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{45,93 \cdot 3,6 + 40,25 \cdot 12,15}{117,7} = 5,56 \text{ kV}$$

$$U_2 = 117,7 - 5,56 \approx 112,1 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{23} = \frac{8,75 \cdot 9,84 + 7,69 \cdot 10,21}{112,1} = 1,47 \text{ kV}$$

$$U_3 = 112,1 - 1,47 \approx 110,6 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{12} = 5,56 + 1,47 = 7,03 \text{ kV}$$

Eng katta quvvat isrofi bo'yicha xatolik

$$\Delta U_{43} - \Delta U_{12} = 0,07 \text{ kV}$$

Avariya holatini ko'ramiz



43-liniya uzilganda 12 liniyadagi quvvat

$$S_{12} = S_3 + S_2 = 39,2 + j32,89 + 36,18 + j29,17 = 75,38 + j62,06 \text{ MVA}$$

23-liniyadagi quvvat $S_{23} = S_3 = 39,2 + j32,89 \text{ MVA}$

12, 23- liniyalardagi kuchlanish yo'qotilishi, 1 va 2-tugunlardagi kuchlanish va eng katta kuchlanish yo'qotilishi ΔU_{ek} ni aniqlaymiz:

$$\Delta U_{12av} = \frac{75,38 \cdot 3,6 + 62,06 \cdot 12,15}{117,7} = 8,71 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{23av} = \frac{39,2 \cdot 9,84 + 32,89 \cdot 10,21}{109} = 6,62 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{123av} = 8,71 + 6,62 = 15,33 \text{ kV}$$

12-liniya uzilgan holatida

$$S_{d1} = S_1 + S_2 = 39,2 + j32,89 + 36,18 + j29,17 = 75,38 + j62,06 \text{ mVA}$$

$$S_{d2} = S_3 = 36,18 + j29,17 \text{ mVA}$$

$$\Delta U_{d1av} = \frac{75,38 \cdot 8,1 + 62,06 \cdot 20,65}{117,7} = 16,08 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{d2av} = 117,7 - 16,08 = 101,6 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{36,18 \cdot 9,84 + 29,17 \cdot 10,21}{101,6} = 6,44 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{23} = 101,6 - 6,44 = 95,2 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{d1av} = 16,08 - 6,44 = 9,64 \text{ kV}$$

Avariya holatida eng katta kuchlanish yo'qotilishi 12 liniya uzilganda bo'ladi, ya'ni $\Delta U_{av ek} = \Delta U_{d2 av} = 22,5 \text{ kV}$, $\Delta U_{av ek} \% = 20,5\%$.

VI. Ta'minlovchi elektr tarmoqlarni hisoblash xususiyatlari

6.1. Liniyaning zaryad toki va zaryad quvvati

110, 220, 330 kV li kuchlanishlar energetika sistemasining elektr stansiyalari ishlab chiqqan quvvatlarni iste'molchilar markaziga uzatish va quvvatni yirik iste'molchilar o'rtasida taqsimlashga xizmat qiladi.

500, 750, (400-750) kV kuchlanishlar katta miqdordagi elektr energiyani ta'minlash manbaidan ancha uzoqlarda joylashgan katta sanoat markazlariga uzatishga hamda energetika sistemalari o'rtasida aloqa uchun xizmat qiladi.

Elektr energiya uzatishda kuchlanishni ko'tarish bilan liniyaning o'tkazuvchanlik qobiliyati oshadi hamda xuddi shunday quvvat uzatilsa uzatish masofasi kattalashadi.

Elektr energetika ta'minotida kuchlanish texnik-iqtisodiy hisoblarga asosan tanlanadi. Agarda taqqoslangan variantlar iqtisodiy jihatdan bir xil bo'lsa, kelajakda elektr energiya iste'moli ko'payishini hisobga olib yuqori kuchlanishli variant tanlanadi.

Bunda shunga ahamiyat berish kerakki, ish kuchlanishini UN dan uzoq vaqt oshirish, izolyatsiyani ishlash sharoitiga qarab 110-220 kV kuchlanishlarda 15% dan, 330 kV kuchlanishda 10% dan va 500 kV va undan yuqori kuchlanishlarda 5% dan oshmasligi kerak. Bu esa ma'lum darajada liniyaning uzunligini chegaralaydi.

Nominal kuchlanish, kV	110	220	330	500	750	(Q750)
Liniyaning uzunligi, km	160	240	300	1100	2000	(2000-2500)

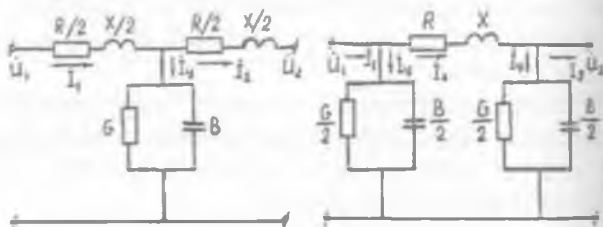
Hamma yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlar aktiv va sig'im o'tkazuvchanliklariga egadir. O'tkazuvchanliklarning bo'lishi liniyalarda siqish va sig'im toklarini yuzaga keltiradi, uning qiymati yuklamaga bog'liq bo'lmay, balki liniyaning tuzilishi, uzunligi va ish kuchlanishi U_n bilan aniqlanadi.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlarida o'tkazuvchanlik hisobga olinmaydi, chunki bu liniyalar nisbatan kichik uzunlik ℓ , kuchlanish U ga egadir va o'tkazuvchanlik toklari yuklama toklariga nisbatan ancha kichikdir.

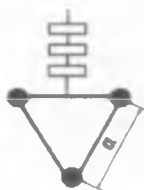
Katta ℓ va U kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmoqlarida o'tkazuvchanlik toklari yuklama toklariga nisbatan yetarli darajada katta o'lchamga

egadir, shuning uchun elektr hisoblarida ularni hisobga olish shart. Shunday qilib, taqsimlovchi elektr tarmoqlarini taqsimlovchi elektr tarmoqlaridan farqi: elektr uzatish liniyalarini hisoblashda faqat R va X emas, balki o'tkazuvchanlik G va B ham hisobga olinadi.

Aktiv o'tkazuvchanlik G va reaktiv o'tkazuvchanlik B ham, R va X ga o'xshab elektr uzatuv liniya uzunligi bo'yicha bir xil taqsimlangandir. Ammo hisoblashda soddalashtirilgan usullardan foydalanib ko'rilayotgan liniyani yig'ilgan parametrlardan iborat deb qarash mumkin. 300 km uzunlikdagi bo'lgan liniyalarda o'tkazuvchanlik liniyaning o'rtasida, qarshiliklar esa chetlarida yoki teskarisi – qarshiliklar o'rtasida, o'tkazuvchanliklar esa chetlarida joylashgan deb qarash mumkin; bunda – «T» - ko'rinishli yoki «P» - ko'rinishli almashtiruv sxemasi hosil bo'ladi.



6.1.1-rasm. Liniyaning «T» va «P» - ko'rinishli almashtiruv sxemasi



6.1.2- rasm. Fazani uch sigma bo'lish

Elektr hisoblar uchun «P» - ko'rinishli almashtiruv sxemasi qulay bo'lganligi uchun keyingi hisoblarda uni ko'ramiz.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlari uchun ko'rilgan R va X ni aniqlash usulini fazadagi simlar joylashuvi bir xil bo'lgani uchun taqsimlovchi elektr tarmoqlarida ham qo'llanilishi mumkin.

Liniyaning o'tkazish qobiliyatini oshirish (X -ni kamaytirish) va uch fazali tok liniyasini tojlanishdagi elektr energiya isrofni kamaytirish uchun 330, 500, 750 kV kuchlanishli liniyalar bo'lingan fazali qilib bajariladi. Faza simlarining kesim yuzasi bir simlardagiga o'xshab aniqlanadi. n - sigma

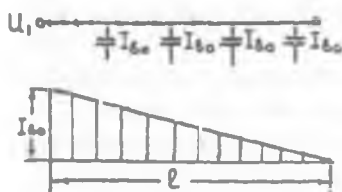
bo'lish, bu bo'lish qadami a-ga bog'liq bo'lgan katta radiusli simga o'tish deb qarash mumkin va a ni kattalashtirish bilan induktiv qarshilik kamayadi, o'tkazuvchanlik V esa kattalashadi.

Liniyaning zaryad toki. Liniyaga ulangan o'zgaruvchan kuchlanish ostida liniyaning sig'irlarida o'zgaruvchan elektr maydoni paydo bo'lib elektr zaryadlarini harakati yuzaga keladi, ya'ni reaktiv o'zgaruvchan tok hosil bo'ladi. Bu tok liniyani sig'im yoki zaryad toki deb ataladi. Uzunligi bo'yicha sig'im ($B=\text{const}$) bir xil taqsimlangan liniyaning uzunlik birligidagi sig'im tokining qiymati liniyaning har bir nuqtasidagi kuchlanishlarga bog'liqdir. Chunki yuklamaga bog'liq bo'lgan liniyadagi kuchlanishning pasayishi doim o'zgarib turadi va shunga asosan liniyaning uzunligi bo'yichagi kuchlanish ham kattalik va faza jihatdan o'zgarganligi uchun sig'im toki ham o'zgaradi. Ammo amaliyotda esa bular hisobga olinmaydi va uzunlik birligidagi sig'im tokini (A/km) aniqlashda haqiqiy kuchlanish o'rniga o'rtacha yoki nominal kuchlanishning qiymati qo'yiladi:

$$I_{\sigma} = U_{\sigma} v_{\sigma} = \frac{U_{\sigma}}{\sqrt{3}} v_{\sigma} \quad (6.1.1)$$

Sig'im toki liniyaning uzunligiga mutanosib ravishda o'zgaradi. Liniyaning boshidagi sig'im toki liniyaning hamma sig'im toklarining yig'indisidan iborat bo'lib, teng bo'ladi:

$$I_{\sigma} = B l_{\sigma} \cdot l = \frac{U_{\sigma}}{\sqrt{3}} v_{\sigma} \cdot l = \frac{U_{\sigma}}{\sqrt{3}} \cdot B \quad (6.1.2)$$



6.1.2. rasm. Liniyaning uzunligi bo'yicha sig'im toklarining o'zgarishi.

Liniyaning haqiqiy tokining yig'indisi har bir nuqtadagi yuklama toki va I_{σ_0} ni geometrik yig'indisidan topiladi, hamda liniyaning uzunligi bo'yicha kattalik va faza jihatidan o'zgarib turadi. Ammo «P» ko'rinishli almashtiruv sxemasida liniyaning hamma o'tkazuvchanliklari sxemaning

oxirida shartli yig'ilgan deb, R va X orqali oqayotgan toklar yig'indisi kattalik va faza jihatidan o'zgarmas deb qaraladi.

Almashtiruv sxemadagi $V/2$ tufayli hosil bo'lgan butun liniyaning zaryad (sig'im) toki ikki tokning yig'indisidan topiladi.

$$I_z = I_{z1} + I_{z2} = \frac{U_H}{\sqrt{3}} \cdot \frac{B}{2} + \frac{U_H}{\sqrt{3}} \cdot \frac{B}{2} \quad (6.1.3)$$

yoki taxminan nominal kuchlanishda

$$I_z = 2 \frac{U_H}{\sqrt{3}} \frac{B}{2} = \frac{U_H}{\sqrt{3}} B \quad (6.1.4)$$

bu holatda

$$I_{B1} = I_{B2} = \frac{I_z}{2}$$

Keltirilgan formuladan ko'rinadiki sig'im toki U , b_0 va ℓ ga to'g'ri mutanosibdadir. B_0 ko'pincha har xil kuchlanishli liniyalar uchun juda kam miqdorda o'zgaradi, ya'ni amaliy jihatdan o'zgarmas deb qabul qilinadi. Shuning uchun sig'im toki I_B asosan kuchlanish U va liniyaning uzunligi orqali aniqlanadi.

Taqsimlovchi elektr tarmoq liniyalari (35 kV va undan past kuchlanishli) uncha katta bo'lmagan uzunlikka ega, shuning uchun ularning zaryad toki juda kichik va tarmoqni hisoblashda hisobga olinmaydi.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlari (110 kV va undan yuqori kuchlanishli) asosan katta uzunlik ℓ ga egadir, ularni zaryad toklari yuklama toklari bilan birgalikda katta miqdorga ega, shuning uchun hisoblarda inobatga olinadi.

6-35 kVli kabel liniyalarda solishtirma o'tkazuvchanlik havo liniyalarinikiga qaraganda 10 martalab kattadir, lekin kabel liniyalarining uzunligi uncha katta bo'lmagani uchun, ularni zaryad toklari ham kichik va kabelni umumiy tokiga uncha ta'sir etmaydi.

Ammo 110-220 kVli kabel liniyalarda zaryad toklari kattadir. Shuning uchun ular ta'sirini hisobga olish kerak.

Zaryad quvvati. Sig'im o'tkazuvchanligi B ni bo'lishi tufayli liniyaning reaktiv sig'im quvvat ishlab chiquvchi, deb qarash mumkin. Sig'im quvvati (mVAr/km) quyidagi formuladan aniqlanadi va liniyaning zaryad quvvati deb ataladi.

$$Q_{\text{re}} = \sqrt{3} U I_{\text{re}} = \sqrt{3} U \frac{U}{\sqrt{3}} B_0 = U^2 B_0 \quad (6.1.5)$$

Zaryad quvvati teskari ishoraga ega bo'lib, liniyadan iste'molchigacha uzatilayotgan quvvatning induktiv tashkil etuvchisini kamaytiradi, «P»

ko'rinishli almashtiruv sxemasi bo'yicha hisoblashda, zaryad quvvati haqiqiy U_1 va U_2 ga asosan aniqlanadi:

$$Q_{B1} = U_1^2 B / 2, \quad Q_{B2} = U_2^2 B / 2 \quad (6.1.6)$$

yoki U_H ga asosan:

$$Q_{B1} = Q_{B2} = U_H^2 \cdot B / 2 \quad (6.1.7)$$

Ko'pincha 35 kV va undan past kuchlanishli liniyalar kam zaryad quvvatiga ega bo'lgani uchun, ularda bu quvvat hisobga olinmaydi. 110 kV va undan yuqori kuchlanishli liniyalarda zaryad quvvatini hisobga olish zarur.

Nazorat savollari:

1. Ta'minlovchi tarmoqlarni qanday tasavvur etasiz? Uning xususiyatlari nimadan iborat?

2. Liniyaning zaryad toki va zaryad quvvati nimaga bog'liq?

3. Liniyaning ish tartibiga zaryad quvvati qanday ta'sir etadi?

6.1.1. Mavzuga doir misollar

Misol 1. 330 kVli 350 km uzunlikdagi havo liniyasining zaryad quvvatini aniqlang. Liniya ASO-600/12 simidan tayyorlangan bo'lib, faza simlari orasidagi o'rtacha masofa $D_{or} = 11,2$ m.

Yechish: Fazasi bir simli liniyaning solishtirma reaktiv o'tkazuvchanligi.

$$b_s = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{or}}{r}} \cdot 10^{-4} = \frac{7,58 \cdot 10^{-4}}{11200} = 2,68 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{Om} \cdot \text{km}}$$

Liniyaning zaryad toki

$$I_b = \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot b_s \cdot l = \frac{330 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 2,68 \cdot 10^{-4} \cdot 350 = 178 \text{ A}$$

Liniyaning zaryad quvvati

$$Q_b = U^2 \cdot b_s \cdot l = 330 \cdot 2,68 \cdot 10^{-4} \cdot 350 = 102 \text{ mVAr}$$

2-Misol. Agarda liniya fazalari 2xASO-240 simidan tayyorlangan bo'lib, ekvivalent radius $req6,55$ sm bo'lsa, zaryad quvvati qanday bo'ladi?

Yechish:

$$b_s = \frac{7,58}{\lg \frac{1120}{6,55}} \cdot 10^{-4} = 3,28 \cdot 10^{-4} \text{ sm} / \text{km}$$

Hisoblar shuni ko'rsatadiki faza simlari bo'lganda liniyaning o'tkazuvchanligi 22% ga ko'payadi.

Zaryad quvvati

$$Q_b = 330^2 \cdot 3,28 \cdot 10^{-4} \cdot 350 = 125 \text{ mVAr}$$

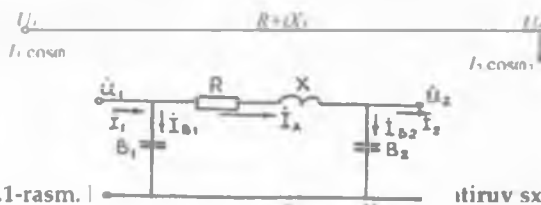
Zaryad toki

$$I_L = \frac{125}{\sqrt{3} \cdot 330} = 218 \text{ A}$$

6.2. Elektr uzatuv liniyasining vektor diagrammasi

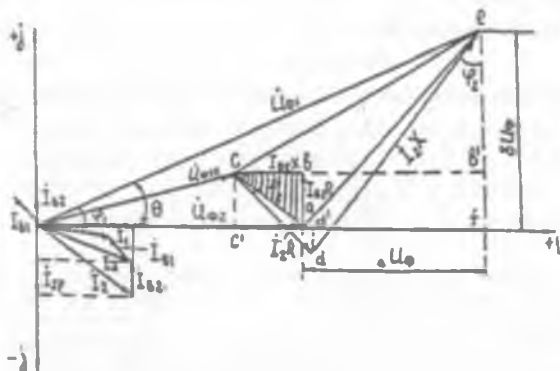
Taqsimlovchi elektr uzatish liniyasining (6.2.1-rasm) vektor diagrammasini tuzishda tojlanishda bo'lgan quvvat isrofi yo'q deb faraz qilamiz. Berilgan: liniyaning oxiridagi tok I_2 quvvat koeffitsiyenti $\cos \phi_2$ va kuchlanish U_2 . Aniqlash kerak: liniyaning boshidagi U_1 , I_1 , $\cos \phi$. Masalani grafik usulda yechamiz. Vektor U_2 haqiqiy o'q bilan ustma-ust tushadi.

Vektor diagrammadan (6.2.2-rasm) ko'rinadiki: sig'im toki liniyadagi kuchlanish pasayishini bo'y-lamasiga tarkibiy qismini a^1 kattalikka kamaytiradi va ko'ndalangiga tarkibiy qismini esa b^1 kattalikka ko'paytiradi. Shunday qilib, liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi kamayadi, U_{f} va U_{r} orasidagi fazalar burilishi esa kattalashadi.



6.2.1-rasm. |  | **qitiruv sxemasi.**

Birinchi natija - kuchlanish yo'qotilishining kamayishi ayniqsa o'rtacha va katta yuklamalarda liniyani ishlash holatiga ijobiy ta'sir ko'rsatib, liniyaning oxiridagi kuchlanishni normal darajada ushlashga

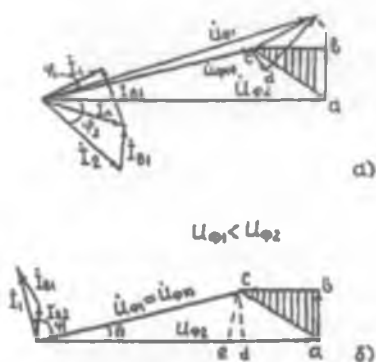


6.2.2-rasm. Ta'minlovchi elektr uzatish liniyasining vektor diagrammasi.

imkon beradi. Bir necha katta bo'lmagan yuklamalarda toki tufayli I_1 bo'lgan kuchlanish yo'qotilishi va sig'im $\bar{I}_{a2}$ toki tufayli bo'lgan kuchlanish yo'qotilishi bir-birini o'rmini to'ldiradi (6.2.3 a-rasm). Bu holatda liniyaning boshi va oxiridagi kuchlanishlarning tengligida quvvat uzatilishi amalga oshiriladi.

Birinchi natija – kuchlanish yo'qotilishining kamayishi ayniqsa o'rtacha va katta yuklamalarda liniyani ishlash holatiga ijobiy ta'sir ko'rsatib, liniyaning oxiridagi kuchlanishni normal darajada ushlashga imkon beradi. Bir necha katta bo'lmagan yuklamalarda toki tufayli I_1 bo'lgan kuchlanish yo'qotilishi va sig'im $\bar{I}_{a2}$ toki tufayli bo'lgan kuchlanish yo'qotilishi bir-birini o'rmini to'ldiradi (6.2.3 a-rasm). Bu holatda liniyaning boshi va oxiridagi kuchlanishlarning tengligida quvvat uzatilishi amalga oshiriladi.

Keyingi yuklamaning kamayishidan $\bar{I}_{a2}$ toki tufayli kuchlanish yo'qotilishi yuklama tokiga asoslangan kuchlanish yo'qotilishidan katta bo'ladi (6.2.3 b-rasm); shunday ekan bu holat uchun liniyaning boshidagi kuchlanish liniyaning oxiridagi kuchlanishga nisbatan kichik bo'ladi. ($U_{a1} < U_{a2}$)



6.2.3 rasm. a) kam yuklama b'lganida; b) salt yurish holatida elektr uzatish liniyasining vektor diagrammalari.

Liniyaning salt ishlash holatida ($I_1 = 0$) $\bar{I}_{a2}$ sig'im tokidan faqat manfiy kuchlanishning yo'qotilishi yuzaga kelib, liniyaning oxiridagi kuchlanish boshidagidan $ad \approx ae$ kattalikka (6.2.3b-rasm), ya'ni I_{a2} -toki sababli

liniyaning induktiv qarshiligidagi kuchlanishni yo'qotilishi hisobiga katta bo'ladi. Liniyaning sig'im tufayli generatsiya qilinadigan sig'im quvvati stansiyalarning generatorlari tomoniga yo'nalgan bo'lib, ularning magnit sistemasiga magnitlovchi ta'sir qilib, elektr stansiya shinalariga ulangan generator va tarmoqni kuchlanishini oshiradi.

Bundan ko'rinadiki, sig'im toki o'rta va katta yuklamalarda ijobiy natija beradi, kichik yuklamalarda va salt yurish holatida esa liniyaga yomon ta'sir qiladi. Masalan, yuqori kuchlanishli, uzunligi katta bo'lgan liniyalarda yuklamani to'satdan uzilib qolishidan, liniyaning oxiridagi kuchlanish shunday me'yorga yetishi mumkinki, bu kuchlanishga qabul qiluvchi podstansiya apparatlarining izolyatsiyasi hisoblanmagan bo'lishi mumkin. Shuning uchun uzoq masofaga uzatuvchi liniyalarda bu noqulay holatni qutulish uchun uzatish liniyasining bir qator punktlariga parallel reaktorlar ulanib, ko'ndalangiga sig'im kompensatsiya qilinadi.

Ikkinchi natija. I_0 toki tufayli kuchlanish pasayishini ko'ndalangiga tarkibiy qismini kattalashishi sababli, liniyaning boshi va oxiridagi kuchlanishlar orasidagi faza siljishi kattalashadi, bu elektr stansiyalarni parallel ishlashini turg'unligi bilan bog'langan bo'lib, ichki va sistemalararo aloqadagi uzunligi katta liniyalarning holatlarini hisoblashda ahamiyatga ega.

6.2.2-rasmda keltirilgan diagrammadan liniyadagi zaryad tokini hisobga olgan holda liniya boshidagi kuchlanishning formulasini keltirib chiqarish mumkin:

$$U_0 = U_1 + \Delta U_1 + j6U_1$$

yoki quvvatlar orqali:

$$U_0 = U_1 + \frac{P_1 R + (Q_1 - Q_0) X}{U_1} + j \frac{P_1 X + (Q_0 - Q_1) R}{U_1}$$

va liniya kuchlanishlariga o'tgan holda:

$$U_0 = U_1 + \frac{P_1 R + (Q_1 - Q_0) X}{U_1} + j \frac{P_1 X + (Q_0 - Q_1) R}{U_1}$$

Bu yerda: R va X qarshiliklari orqali oqadigan quvvat.

$$P_1 + j(Q_1 - Q_0) = P_2 + jQ_0$$

Liniyaning salt yurish holatida

$$U_0 = U_1 + \frac{Q_0 X}{U_1} + j \frac{Q_0 R}{U_1}$$

Bu formulalar va uzatish liniyasining vektor diagrammasi liniyaga ulangan har xil yuklamalarda, liniyaning sig'im toki va zaryad quvvatini liniyaning boshidagi kuchlanish va quvvat koeffitsiyentini o'zgarishiga ta'sirini ko'rsatadi.

1-Misol. 110 kV kuchlanishli uzunligi 140 km bo'lgan liniya orqali elektr stansiyasining yuqori kuchlanishli shinasidan energetika sistemasiga $S_1=50-30$ MVA quvvat 120 kV li ishchi kuchlanishida uzatilmoqda. Liniyani energetika sistemasiga ulanish nuqtasida kuchlanish 108 kVga teng bo'lganda U_2 kuchlanishni va liniya oxirida transformatori transformatsiya koeffitsiyentini aniqlang.

Liniya temir-beton tayanchlarda AS-240 simdan tayyorlangan bo'lib, faza simlari orasidagi masofa 4,4 m.

Yechish: Jadvaldan AS-240 sim uchun ma'lumotlarni olamiz $r_0=0,132$ Om/km; $x_0=0,39$ Om/km; $d=21,6$ mm; $b_0=2,84 \cdot 10^{-6}$ sm/km

Liniyaning parametrlarini aniqlaymiz

$$R=r_0 l=0,132 \cdot 140=18,5 \text{ Om}; B=b_0 l=2,84 \cdot 140 \cdot 10^{-6} \approx 400 \cdot 10^{-6} \text{ sm},$$

$$x=x_0 l=0,39 \cdot 140=54,5 \text{ Om}$$

Liniyaning boshidagi zaryad quvvati

$$Q_{B1} = U^2 \frac{B}{2} = 120^2 \cdot \frac{400 \cdot 10^{-6}}{2} \approx 2,9 \text{ MVar}$$

Uzatishning boshidagi quvvat

$$S_1 = 50 - j(30 + 2,9) = 50 - j32,9 \text{ MVA}$$

Yuklama holatida liniyaning oxiridagi kuchlanish

$$U_2 = U_1 - \frac{PR + Qx}{U_1} = 120 + \frac{50 \cdot 18,5 + 32,9 \cdot 54,5}{120} - j \frac{50 \cdot 54,5 - 32,9 \cdot 18,5}{120} = (120 - 22,7) - j17,6 = 99 \text{ kV}$$

Agarda liniyani energetika sistemasiga ulanish nuqtasida kuchlanish 108 kV ga teng bo'lsa, unda uzatish liniyasining oxiriga quyidagi $K_1=108/99=1,09$ li rostlanadigan avtotransformator (volt qo'shuvchi transformator) o'rnatish talab etiladi.

Liniya qarshiliklaridagi quvvat isrofi va uzatish zvenosini oxiridagi quvvat quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi.

Masalan, Konakovo-Leningrad liniyasining har bir fazasi kesim yuzasi 240 mm² li 5 ta bo'lingan simdan tashkil topgan. Shunday qilib, $F=1200$ mm². F ni katta qiymatlarida $R \ll X$ hamda bu liniyalarda $g \ll b_0$, chunki tokni sirqib ketishi va tojlanishda isrofi (faza simlari bo'lingan va katta kesim yuzasiga egadir) katta emas.

Z_c va λ - liniyaning asosiy xarakteristikalarini hisoblanadi. Formuladan ko'rinadiki, Z_c uzunlik ℓ ga bog'liq emas va liniyaning parametrlari bir xil bo'lganida zanjirning har qanday nuqtasi uchun o'zgarmasdir. Yakka simli havo liniyalarida $Z_c = 400 \text{ Om}$, fazasi ikkita simdan iborat bo'lganida $Z_c = 320 \text{ Om}$, fazasida uchta sim bo'lsa $Z_c = 275 \text{ Om}$ kabel liniyalari uchun yakka Z_c simli havo liniyasiga nisbatan 6-8 marta kamayadi.

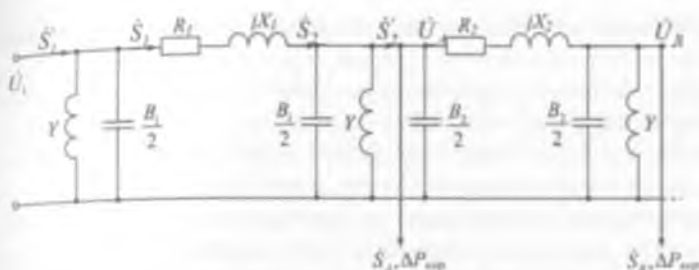
Energiyani tarqalish tezligi $v = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ va to'lqinsimon va to'lqin uzunligi $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{50} = 6000 \text{ km}$. Unda liniyaning to'lqinsimon uzunligi bo'ladi:

$$\lambda_n = \omega L_0 \sqrt{L_0 C_0} = \frac{\omega L}{M} = \frac{2\pi}{\lambda} \ell$$

Har qanday uzunlikdagi liniyaning qarshiliklari $Z=R+jX$ va chetlaridagi o'tkazuvchanlik $y/2=G/2+jB/2$ bo'lgan «P» ko'rinishdagi to'plangan parametrlri ekvivalent almashtiruv sxema sifatida tasavvur qilsa bo'ladi. Liniyani «P» ko'rinishli almashtiruv sxemasi yordamida (6.3.1) ifodaga o'xshagan U_1 uchun tenglama tuzish mumkin:

$$U_1 = U_2 + (U_2/2 + I_2) \sqrt{3} Z = U_2 (1 + ZU/2) + \sqrt{3} I_2 Z \quad (6.3.3)$$

Bu yerda $U_2=U/2$ - liniyaning oxiridagi o'tkazuvchanlik toki. Shunday qilib, uzunligi katta liniyalar uchun ifodalarda ko'rsatilgan liniyaning parametrlarini liniyaning uzunligiga taqsimlanishini hisobga oluvchi qandaydir tuzatish koeffitsiyentlari K_z , K_u yordamida bog'lab, so'ngra oddiy almashtiruv sxemasidagi (6.3.3) ga o'xshagan ifodalar yordamida hisoblash mumkin.



6.3.1-rasm. Uzunligi katta bo'lgan liniyalarni himoyalash sxemasi

300 km uzunlikkacha bo'lgan havo elektr uzatish liniyalari va 50 km gacha bo'lgan kabel liniyalarda tuzatish koeffitsiyentlari 1 ga yaqindir, shuning uchun taqsimlangan parametrlari liniyalarni hisoblashda hisobga olinmaydi. Uzunligi katta bo'lgan liniyalarni shunday uzunlikdagi qator uchastkalarga bo'lib, parametrlari taqsimlanish xususiyatidan voz kechish, hisoblarda katta xatoliklarni yuzaga keltirmaydi. Har bir 280-320 km. uzunlikdagi havo EUL uchastkalari «P» ko'rinishli almashtiruv sxemasi sifatida ko'rsatiladi, natijada katta liniyalarni zanjirli ketma-ket ulangan «P» ko'rinishli almashtiruv sxemasi hosil bo'ladi. Bunday sxemaga o'tish liniya oxiridagi kuchlanish va toklar orasidagi munosabatni aniqlashga imkon beribgina qolmay, balki uzunligi katta bo'lgan liniyalarda ularni qiymatlarini oraliq nuqtalarida ham ko'rsatadi, bu esa amaliy maqsadlar uchun juda zarurdir. Zanjir sxemali liniyalarni hisoblash ketma-ket bir uchastkadan ikkinchisiga o'tib amalga oshiriladi.

Nazorat savollari:

1. Isrofsiz liniya deb nimaga aytiladi?
2. Liniyaning to'liqinsimon qarshiligi nimaga bog'liq?
3. Katta uzunlikka ega liniyalar hisobini qanday soddalashtirish mumkin?

6.4. Elektr uzatuv liniyasining o'tkazuvchanlik qobiliyati to'g'risida tushuncha

Kuchlanish U_H ni oshishi bilan EULni o'tkazuvchanlik qobiliyati keskin oshadi. Berilgan U_H kuchlanishda u uchta shart bo'yicha aniqlanadi.

1. Liniyadagi ΔP ga bog'liq iqtisodiy uzatish bilan.

2. Liniyadagi kuchlanish pasayishiga bog'liq liniya boshi va oxiridagi (EUL) kuchlanish darajasi bilan.

3. Elektr sistemasida ta'minlaydigan elektr stansiyalar generatorlarini parallel ishlashdagi turg'unligi bilan.

Uzunlik L ni kattalashishi bilan liniya o'tkazuvchanligining pasayishi, uning boshi va oxiridagi kuchlanish o'zgarish darajasini farqi yoki uzatuvchi va qabul qiluvchi tomonlar kuchlanishlari U_1 va U_2 orasidagi chegaraviy burchak δ bilan belgilanadi. Katta miqdordagi quvvatni uzoq L masofaga sanoat o'zlashtirgan nominal kuchlanishda uzatishga maxsus usullar bilan, masalan: liniya parametrlarining kompensatsiyalash (reaktiv quvvatni) ta'minlovchi elektr stansiya generatorlarini parallel ishlash turg'unligini sun'iy oshirish va boshqa yo'llar bilan erishiladi.

Elektr qabul qiluvchilarni aktiv R quvvat iste'mol qilishi shuningdek reaktiv quvvat Q iste'moli bilan bog'langan.

Kerakli Q yoki uning bir qismi aktiv quvvat R iste'mol qilinayotgan joyning o'zida yoki EUL ni qabul qiluvchi podstansiyalari sinxron kompensatorlari va kondensator batareyalari yordamida ishlab chiqariladi yoki u ta'minlovchi elektr stansiyalar generatorlaridan liniyalar orqali uzatiladi.

Q ni liniyadan uzatishda to'liq quvvat S kattalashadi va unda isrof ΔU hamda ΔP kattalashishi yuzaga keladi. Q ning qaysi qismini liniyalar orqali uzatish, qaysisini joyida generatsiya qilish, iqtisodiy mulohazalardan, shuningdek liniya boshi va oxiridagi ruxsat etilgan, U_1 va U_2 qiymatlariga qarab hal qilinadi. 110-330 kVli liniyalar uchun qoidaga asosan liniyani boshi va oxirida kuchlanishlar, kuchlanishni ruxsat etilgan darajasi bo'yicha qabul qiluvchi sistema va liniyani uzatish oxiridagi farqqa ega bo'lishi, ushbu holatlarda EUL o'tkazish qobiliyatini to'la quvvat S bo'yicha baholash maqsadga muvofiqdir.

Elektr uzatishda Q ni qiymatiga zaryad quvvati Q_n ta'sir qiladi. 110-220 kV liniyalarda nisbatan kichik Q_n . Katta L uzunlikdagi 500-750 kVli liniyalarda u katta qiymatga yetadi, buning natijasida ta'minlovchi stansiya generatorlaridan uni uzatish kerak bo'lmaydi, liniyadagi ortiqcha reaktiv quvvat reaktorlar bilan kompensatsiya qilinadi.

Zaryad quvvat Q_n liniyani yuklamasiga bog'liq bo'lmaydi. Liniyani reaktiv qarshiligi X dagi reaktiv quvvat isrofi esa, liniya orqali uzatilayotgan quvvatni kvadratiga proporsionaldir. Shunday qilib, liniya orqali uzatilayotgan quvvatni qandaydir qiymatida shunday holat bo'ladiki,

qachonki liniya X dagi reaktiv quvvat isrofi va liniyaning zaryad quvvati Q_n to'liq bir-birini kompensatsiya qiladi, ya'ni

$$3 I^2 x_0 = 3 U^2 B_{\infty} \quad (6.4.1).$$

Ushbu holatda liniya orqali faqat aktiv quvvat uzatilganda ($\cos(q_1)$), uzatish eng kam quvvat isrofida amalga oshiriladi. Liniyani ushbu ishlash tartibi tabiiy quvvat tartibi deb ataladi. (6.4.1) da keltirilgan tenglikka $x_0 = \omega L_0$ va $B_{\infty} = \omega C_0$ qiymatlarni quyib $\cos\varphi = 1$ deb, liniyaning tabiiy quvvatini aniqlaymiz:

$$P_s = \frac{U^2}{\sqrt{\frac{L_0}{C_0}}} = \frac{U^2}{z_s} \quad (6.4.2)$$

Har xil kuchlanishda uch fazali liniyadan uzatiladigan tabiiy quvvat 6.4-jadvalda keltirilgan.

Tabiiy quvvat qiymatlari (MVT)

6.4.1-jadval

Kuchlanish, kV	110	220	330	500	750
Tabiiy quvvat, mVT	30	120	340	900	2200
Eng katta uzatiladigan quvvat, mVT	20-50	90-200	300-650	700-900	180-220
Eng kata uzunlik, km	160-100	240-130	300-120	1200-800	2000-1200

Liniyadan tabiiy quvvat qiymatidan katta quvvatni uzatish aktiv va reaktiv quvvat isrofini oshishiga, qabul qiluvchi sistemada kuchlanish darajasining pasayishiga olib keladi. Ammo iqtisodiy mulohazalarga ko'ra ko'pgina 110-220 kV EUL va ko'pincha 330 kVli liniyalar tabiiy quvvatdan katta quvvat uzatishga loyihalanadi. Yanada yuqori kuchlanishli EUL lari ko'pincha tabiiy quvvatni uzatishga hisoblanadi.

Nazorat savollari:

1. Liniyaning o'tkazuvchanlik qobiliyati qanday faktorlarga bog'liq?
2. Tabiiy quvvat tartibi qanday xarakterlanadi?

VII. Energetika sistemaSining berk tarmoqlarida quvvat taqsimlanishini hisoblash

7.1. Dastlabki ma'lumotlar

Elektr sistemalari quvvatlari va uzunliklarining kattalashishi bilan elektr hisoblar murakkablashdi. Bu hisoblarni yengillashtirish uchun energetika sistemasi tarmoqlari nazariyasi va hisoblash usullarini yaxshi bilish kerak.

Elektr sistemasi elektr tarmoqlari hisoblarida sistemani ko'rilayotgan tugunidagi generatsiya va iste'mol qilinayotgan aktiv va reaktiv quvvatlar - ifodlangan hisoblash sxemasi va yuklamalarga ega bo'linadi. Quyidagi mulohazalarga asosan hisoblarni quvvatlarda olib borish maqsadga muvofiqdir. Elektr sistemasi yuklamalari ko'p hollarda quvvatlarda beriladi; yuklamalar o'rnatilgan nuqtalarda kuchlanish noma'lum bo'lganligi uchun, bu yuklamalarni toklarga qayta hisoblashni amalaga oshirib bo'lmaydi. Nominal kuchlanish bo'yicha dastlabki hisoblar mumkin bo'lmagan xatoliklar va qo'shimcha vaqtni talab etadi. Yuklamalarni toklarda hisoblash, tarmoq tokini taqsimlanishida xatolikka olib keladi, bu dastlabki xatolik Kirxgofning birinchi qonuniga asosan har xil koordinat sistemalarida tok yig'ilganda yuzaga keladi. Bunday yig'ish, tarmoqni har xil nuqtalarida kuchlanishlar orasidagi faza siljishi katta bo'lmagan taqsimlovchi tarmoqlarda mumkin.

Elektr tarmoqlar tartibini quvvatlarda hisoblashda toklar taqsimlanishini aniqlash oson bo'lib, toklarda hisoblashda moslangan xatoliklarni to'g'rilash osonlashadi.

Ko'p sonli elektrostansiyalarga ega bo'lgan energetika sistemasini hisoblashda bir dona elektr stansiyasidan tashqari hamma elektr stansiyalari berilgan grafikda ishlayli deb, ularning quvvati manfiy yuklamada olinadi. Bitta elektr stansiya erkin grafikda ishlaydi va energetika sistemasida to'satdan bo'ladigan yuklamalar va quvvat isrofi o'mini to'ldiradi. Elektr sistemasi yuklamalari ko'pincha podstansiyani past va o'rta kuchlanish tomonlarida beriladi.

Hisoblash sxemalari tuzilayotganda yuklamalar dastlab yuqori kuchlanish tomoniga keltiriladi. Keltirilgan yuklamalar podstansiyaning o'rta va past kuchlanish shinalarida berilgan yuklamalar va transformator qarshiligi va o'tkazuvchanliklaridagi quvvat isrofi yig'indisidan iborat bo'ladi. Elektr stansiya yuqori kuchlanish tomoniga keltirilgan quvvat, generator quvvatidan kuchaytiruvchi transformator qarshiligi va o'tkazuvchanliklaridagi quvvatni ayirib aniqlanadi.

Keltirilgan reaktiv quvvatni aniqlashda reaktiv quvvat isrofidan tashqari tegishli belgidagi podstansiya tutashgan uzatuv liniyasidagi sig'im quvvatini hisobga olish kerak.

Elektr tarmoqlari turg'unlik tartibini tadqiqot qilish va hisoblardan maqsad, iste'molchilarga yetkazib berilayotgan elektr energiyani sifati sharti; rostlovchi va kompensatsiyalovchi qurilmalarni kerakligi; bunda ko'p jihatdan elektr sistemasini iqtisodiyligi va ishonchli ishlashidir.

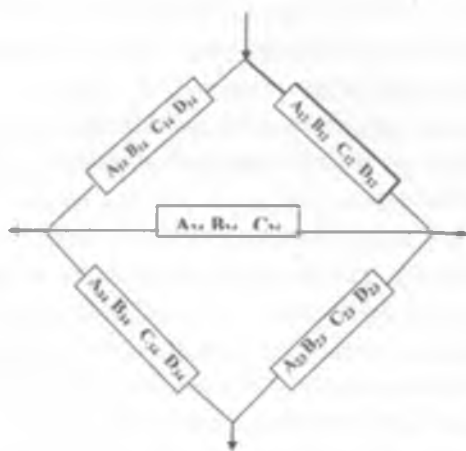
Ushbu qismda energetika sistemasi berk tarmoqlarda quvvat taqsimlanishi va kuchlanishni hisoblashning bir nechta usullari ko'rib chiqiladi. Bunda berilgan parametrlarda elektr sistemasi tugunlaridagi kuchlanish uning ishlashini belgilaganligi uchun tugun kuchlanishlari usuliga katta ahamiyat berildi.

Nazorat savollari:

1. Berk tarmoqlarda quvvat taqsimlanishni hisoblash nima uchun maqsadga muvofiqdir?
2. Ko'p sonli elektr stansiyalarga ega bo'lgan energetika sistemasining hisoblashda nima uchun bir elektr stansiya erkin grafikda ishlaydi deb olinadi?
3. Hisoblash sxemalarida oldindan yuklamalar nima uchun yuqori kuchlanish tomonga keltiriladi?
4. Hisoblarda nima uchun liniyaning sig'im quvvati hisobga olinadi?

7.2. Tugun kuchlanishlari tenglamalari

7.2.1-rasmda ko'rsatilgan elektr tarmog'i shoxobchalarini to'rt qutbli deb, tugun kuchlanishlari tenglamasini tuzamiz



7.2.1-rasm. To'rt qutbli ko'rinishdagi elektr tarmog'i sxemasi.

$$\vec{U}_1 = \vec{A}_{12} \vec{U}_2 + \vec{B}_{12} \vec{I}_{2(1)}$$

Bundan tokni aniqlaymiz

$$\vec{I}_{2(1)} = \frac{\vec{U}_1 - \vec{A}_{12} \vec{U}_2}{\vec{B}_{12}}$$

2-3 shoxobcha uchun

$$\vec{U}_3 = \vec{A}_{32} \vec{U}_2 + \vec{B}_{32} \vec{I}_{2(1)}$$

$$\vec{I}_{2(1)} = \frac{\vec{U}_3 - \vec{A}_{32} \vec{U}_2}{\vec{B}_{32}}$$

Xuddi shuningdek ifodalarni boshqa shoxobchalar uchun olishi mumkin. Ushbu toklar ifodasidan foydalanib, yuklamalarning quvvat o'zgarishi va quvvat isrofini qoplovchi muvozanatlovchi 1-tugundan tashqari hamma tugunlar uchun Kirxgofning birinchi qonuniga asosan muvozanat shartini yozamiz.

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{U_1 - A_{12}U_2}{B_{12}} + \frac{U_3 - A_{32}U_2}{B_{32}} + \frac{U_4 - A_{42}U_2}{B_{42}} &= I_2 \\
 \frac{U_2 - A_{23}U_3}{B_{23}} + \frac{U_4 - A_{43}U_3}{B_{43}} &= I_1 \\
 \frac{U_1 - A_{14}U_4}{B_{14}} + \frac{U_2 - A_{24}U_4}{B_{24}} + \frac{U_3 - A_{34}U_4}{B_{34}} &= I_4
 \end{aligned} \right\} \quad (7.2.1)$$

7.2.1-tenglamani yozishda yuklamadan tashqari barcha toklar tugunga oqadi deb qabul qilamiz. 7.2.1.-tenglamani quyidagi ko'rinishda ifodalaymiz:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{1}{B_{12}}U_1 - \left(\frac{A_{12}}{B_{12}} + \frac{A_{32}}{B_{32}} + \frac{A_{42}}{B_{42}}\right)U_2 + \frac{1}{B_{42}}U_4 &= I_2 \\
 \frac{1}{B_{23}}U_2 - \left(\frac{A_{23}}{B_{23}} + \frac{A_{43}}{B_{43}}\right)U_3 + \frac{1}{B_{43}}U_4 &= I_1 \\
 \frac{1}{B_{14}}U_1 + \frac{1}{B_{24}}U_2 + \frac{1}{B_{34}}U_3 - \left(\frac{A_{14}}{B_{14}} + \frac{A_{24}}{B_{24}} + \frac{A_{34}}{B_{34}}\right)U_4 &= I_4
 \end{aligned} \right\} \quad (7.2.2)$$

7.2.2-tenglamani tarmoq liniyasini umumlashtirilgan o'zgarmas tarqaluvchi parametrlari sababli hisobga olishimiz mumkin.

Belgilaymiz $\frac{1}{B_{12}} = Y_{12}$, $\frac{A_{12}}{B_{12}} + \frac{A_{32}}{B_{32}} + \frac{A_{42}}{B_{42}} = Y_{22}$ va shunga o'xshash hosil qilamiz.

$$\left. \begin{aligned}
 Y_{12}U_1 - Y_{22}U_2 + Y_{32}U_3 + Y_{42}U_4 &= I_2; \\
 0 + Y_{23}U_2 - Y_{33}U_3 + Y_{43}U_4 &= I_1; \\
 Y_{14}U_1 + Y_{24}U_2 + Y_{34}U_3 - Y_{44}U_4 &= I_4
 \end{aligned} \right\} \quad (7.2.3)$$

yoki matritsa ko'rinishida

$$[Y][U] = [I] \quad (7.2.4)$$

Ushbu tenglamalarda kuchlanish va tok bitta koordinat sistemasida moslanishi kerak.

Ko'pincha tayanch tugun kuchlanishi haqiqiy o'qda yo'nalgan hisoblanadi. Ushbu holatda tenglamani yozishda qulaylik uchun muvozanatlovchi tugunni tayanch deb qabul qilamiz. Umumiy holatda tayanch uchun sxemadagi har qanday tugunni tanlash mumkin.

Yuklamalar quvvatlarda ifodalanganligini hisobga olib, 7.2.3. tenglamada toklarni quvvatlarga $i = \frac{\dot{S}}{\dot{U}_2}$ almashtirib, quyidagicha ko'rsatamiz.

$$\begin{aligned} Y_{12}\dot{U}_1 - Y_{22}\dot{U}_2 + Y_{32}\dot{U}_3 + Y_{42}\dot{U}_4 &= \frac{\dot{S}_1}{\dot{U}_2} \\ 0 + Y_{32}\dot{U}_2 - Y_{13}\dot{U}_3 + Y_{43}\dot{U}_4 &= \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_3} \\ Y_{14}\dot{U}_1 + Y_{24}\dot{U}_2 + Y_{34}\dot{U}_3 - Y_{44}\dot{U}_4 &= \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} \end{aligned} \quad (7.2.5)$$

Yoki matritsa ko'rinishida

$$[Y][U] = [U]^{-1} [\dot{S}] \quad (7.2.6)$$

(7.2.5)-tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{aligned} -Y_{22}\dot{U}_2 - Y_{32}\dot{U}_3 + Y_{42}\dot{U}_4 &= \frac{\dot{S}_1}{\dot{U}_2} - Y_{12}\dot{U}_1 \\ Y_{32}\dot{U}_2 - Y_{13}\dot{U}_3 + Y_{43}\dot{U}_4 &= \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_3} \\ Y_{24}\dot{U}_2 + Y_{34}\dot{U}_3 - Y_{44}\dot{U}_4 &= \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} - Y_{14}\dot{U}_1 \end{aligned} \quad (7.2.7)$$

(7.2.6) ko'rinishidagi noxiziqli tugun kuchlanishlari tenglamalar sistemasini asosan algebraik aniq usullar bilan yechish mumkin. Ammo bu murakkab, chunki tenglama noma'lum kompleks va tutashgan qiymatlarga ega. Eng avval noma'lum tugun kuchlanishlarining mavhumligini yo'qotish uchun o'zgartirish zarur. So'ngra tenglamalar sistemani bir noma'lumli yuqori darajali tenglamaga keltirish kerak. Ko'rilyotgan tenglamalar yechimini aniq usuli amaliy jihatdan qiziq emasligini ko'rsatadi. Shuning uchun ko'pincha ushbu holatda (iteratsiya) ketma-ket yaqinlashish usulidan foydalaniladi. Tugun kuchlanishlari tenglamalarni yechish uchun iteratsiya usuli keng qo'llaniladi.

(7.2.7) sistemani birinchi tenglamasidan ushbu tenglama tuguni kuchlanishini aniqlaymiz

$$\dot{U}_2 = \frac{Y_{32}\dot{U}_1 + Y_{42}\dot{U}_3 + Y_{12}\dot{U}_1 - \frac{\dot{S}_1}{\dot{U}_2}}{Y_{22}}$$

Yoki umumiy ko'rinishda

$$\dot{U}_r = \frac{\sum_q Y_{rq} \dot{U}_q - \frac{S_r}{\dot{U}_r}}{Y_{rr}}$$

Bu yerda P - kuchlanish hisoblayotgan tugun nomeri;

q - P tugun bilan shoxobcha orqali to'g'ri ulangan tugun nomeri;

Y_{rr} - P tugunga kirgan shoxobcha o'tkazuvchanligi;

Y_{rp} - o'zining o'tkazuvchanligi.

Oddiy iteratsiyaning o'xshashligi, quyidagini teng emasligidadir

$$[Y_{pp}] > \sum [Y_{pq}]$$

Ammo (7.2.7) dan ushbu ko'rinishli sistemani ko'pgina tenglamalari uchun ushbu shart bajarilmaydi. Shuning uchun 7.2.7-tugun kuchlanishlari tenglamasini oddiy iteratsiya usulida yechish umumiy holatda bajarilmasligi mumkin, jarayon Zeydel usulida asta-sekin moslikka erishiladi.

Nazorat savollari:

1. Bitta ta'minlash punktiga ega bo'lgan murakkab berk tarmoqlarni tugun kuchlanishlari usulida hisoblash qanday olib boriladi?

2. Muvozanatlovchi (tayanch) tuguni deb qanday tugunga aytiladi?

3. Tenglamalarda tugun kuchlanishni mavhumligini yo'qotish uchun qanday o'zgartiriladi?

4. Tenglamalarni yechishda nima uchun ketma-ket yaqinlashish (iteratsiya) usulidan foydalanadi?

7.3. Tugun kuchlanishlari tenglamasini foydalaniladigan ko'rinishi

Tugun kuchlanishlari tenglamasini foydalaniladigan 7.2.4-shaklini quyidagi ko'rinishda tugun kuchlanishiga nisbatan yozamiz

$$[U] = [Y] [U] \quad (7.3.1)$$

7.3.1.-ko'rinishdagi tenglama, tugun kuchlanishlari tenglamasini foydalaniladigan shakli deb aytiladi.

7.2.1-sxema uchun 7.2.7-tenglamalar sistemasini o'ng qismi ma'lum deb, noma'lum tugun kuchlanishlarini belgilaymiz va bu sistemani yechamiz.

$$\begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{c} \frac{\dot{S}_1}{U_1} - \gamma_{12} \frac{\dot{S}_2}{U_2} - \gamma_{13} \frac{\dot{S}_3}{U_3} \\ \frac{\dot{S}_2}{U_2} - \gamma_{21} \frac{\dot{S}_1}{U_1} - \gamma_{23} \frac{\dot{S}_3}{U_3} \\ \frac{\dot{S}_3}{U_3} - \gamma_{31} \frac{\dot{S}_1}{U_1} - \gamma_{32} \frac{\dot{S}_2}{U_2} \end{array} \\ \hline \end{array} \quad ; \quad \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{c} -\gamma_{12} \frac{\dot{S}_1}{U_1} - \gamma_{13} \frac{\dot{S}_3}{U_3} \\ \frac{\dot{S}_2}{U_2} - \gamma_{21} \frac{\dot{S}_1}{U_1} - \gamma_{23} \frac{\dot{S}_3}{U_3} \\ \gamma_{31} \frac{\dot{S}_1}{U_1} + \gamma_{32} \frac{\dot{S}_2}{U_2} - \gamma_{33} \frac{\dot{S}_3}{U_3} \end{array} \\ \hline \end{array} \quad ; \quad \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{c} -\gamma_{12} \frac{\dot{S}_1}{U_1} - \gamma_{13} \frac{\dot{S}_3}{U_3} \\ \gamma_{21} \frac{\dot{S}_1}{U_1} - \gamma_{22} \frac{\dot{S}_2}{U_2} - \gamma_{23} \frac{\dot{S}_3}{U_3} \\ \gamma_{31} \frac{\dot{S}_1}{U_1} + \gamma_{32} \frac{\dot{S}_2}{U_2} - \gamma_{33} \frac{\dot{S}_3}{U_3} \end{array} \\ \hline \end{array}$$

Aniqlagichlarni ochib va bo'lish amalini bajarib foydalaniladigan tugun kuchlanishlari tenglamalar sistemasini olamiz:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= a_{11} \dot{U}_1 + b_{12} \frac{\dot{S}_2}{U_2} + b_{13} \frac{\dot{S}_3}{U_3} + b_{14} \frac{\dot{S}_4}{U_4} \\ \dot{U}_2 &= a_{21} \dot{U}_1 + b_{22} \frac{\dot{S}_2}{U_2} + b_{23} \frac{\dot{S}_3}{U_3} + b_{24} \frac{\dot{S}_4}{U_4} \\ \dot{U}_3 &= a_{31} \dot{U}_1 + b_{32} \frac{\dot{S}_2}{U_2} + b_{33} \frac{\dot{S}_3}{U_3} + b_{34} \frac{\dot{S}_4}{U_4} \end{aligned} \quad (7.3.2)$$

Sxema n tugunga ega bo'lsa shuncha o'xshash ko'rinishdagi tenglamalar sistemasini olamiz

$$\dot{U}_n = a_{n1} \dot{U}_1 + b_{n2} \frac{\dot{S}_2}{U_2} + b_{n3} \frac{\dot{S}_3}{U_3} + \dots + b_{nn} \frac{\dot{S}_n}{U_n} \quad (7.3.3)$$

Bu yerda UK-tayanch kuchlanishi.

Olingan tenglamalardan ko'rinadiki b koeffitsiyenti qarshilik o'lchamiga ega.

a – koeffitsiyentini fizik mazmunini aniqlash uchun

$\dot{S}_2 = \dot{S}_3 = \dot{S}_4 = 0$ deb, tarmoqni salt yurish holatini ko'ramiz. Unda (7.3.2) tenglamalar sistemasidan $\dot{U}_2 = a_{21} \dot{U}_1$; $\dot{U}_3 = a_{31} \dot{U}_1$; $\dot{U}_4 = a_{41} \dot{U}_1$ bo'ladi.

Bundan ko'rinadiki a koeffitsiyenti umumiy son bo'lib, sistema yuklanmagan holatda tugun kuchlanishini tayanch kuchlanishiga nisbatining tengligidir. Bu koeffitsiyentlar (U_n va U_1) kuchlanishlarning transformatsiyali bog'liqligini, hamda parallel o'tkazuvchanlik elementlari toklaridan kuchlanishning pasayishi, tarmoq konturidagi tenglashtiruvchi toklarning, hisobga oladi agarda ular bo'lsa.

Ko'pincha elektr sistemasi tartiblari hisoblari parametrlarni bitta pog'ona kuchlanishga keltirib, hamma parallel o'tkazuvchanliklarni tugun yuklamalarida hisobga olib amalga oshiriladi. Bu shartda a-koeffitsiyenti 1ga teng bo'ladi. Unda b_{nk} -koeffitsienlari faqat n tugunda birgina tok bo'lib, qolgan tugunlarda yuklama bo'lmaganda tugunlar n va k orasidagi

kuchlanishlar farqi bilan aniqlanuvchi qarshilikni belgilaydi. Ushbu usulni aniq ko'rib chiqamiz.

b -koeffitsiyentlarini shuningdek elektr sistemasini statik modulida tajriba asosida, tugunlarga ketma-ket tok birligini o'rnatib va sxema tugunlari orasidagi kuchlanish va shoxobcha toklarini o'lchash bilan aniqlash mumkin.

7.2.3. tenglamalar sistemasi asosida b -koeffitsiyentlarini iterativ yo'l bilan aniqlash mumkin. buning uchun quyidagi tartibni ketma-ket ko'rish kerak:

a) $I_2=1, I_3=I_4=0$; b) $I_3=1, I_2=I_4=0$; v) $I_4=1, I_2=I_3=0$ va har biri uchun tugun kuchlanishlari, kuchlanishning pasayishi va b -koeffitsiyentini tegishli qiymatini aniqlash kerak. Bu yo'l bilan b -koeffitsiyentining aniqlashdagi iteratsiyani moslashuvga asta-sekin olib kelishdagi qiyinchiliklar uchrashi mumkin.

Murakkab berk tarmoqlarda b -koeffitsiyentlarini har qanday usullar bilan aniqlash katta mehnat talab etadi. Ammo bir marta tugun kuchlanishlari tenglamasidan foydalanish, ko'p marta berilgan elektr sistemasini amaliy zarur hisoblarini aniqlashni beradi.

Kuchlanishni iteratsion jarayonga moslab hisoblash tez bo'ladi: moslanish kriteriyasi

$$\left| \frac{\Delta U_n}{U_n} \right| < 1$$

Ko'rilayotgan tartibdagi hisoblarda, foydalaniladigan shakldagi tugun kuchlanishlari tenglamalari har doim bajariladi.

Nazorat savollari:

1. Tugun kuchlanishlari tenglamasining foydalaniladigan umumiy shakli qanday yoziladi?
2. Agar sxema n tugunga ega bo'lsa, tenglama qanday yoziladi?
3. Murakkab berk tarmoqlarda v -koeffitsiyentini bir marta aniqlash qanday natija beradi?
4. Moslanish kriteriyasi sharti qanday?

7.4. Tugun kuchlanishlari tenglamasi koeffitsiyentlarini aniqlash

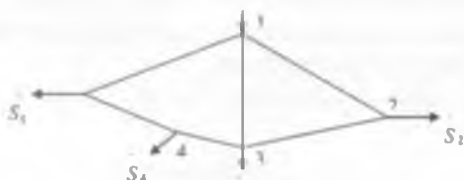
7.4.1-rasmda ko'rsatilgan ikki konturli berk tarmoqning tugun kuchlanishlari koeffitsiyentlarining umumlashtirilgan shaklda aniqlash usulini ko'rib chiqamiz.

Tugun kuchlanishlar tenglamalari umumiy ko'rinishda ifodalarda berilishi mumkin

$$\dot{U}_i = a_i \dot{U}_k + \sum_{n=1}^k b_{in} \frac{\dot{S}_n}{\dot{U}_n}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, k, \dots, n.$$

7.4.1-rasmdagi sxema uchun tayanch kuchlanishida tugun kuchlanishlari tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:



7.4.1-rasm. Elektr tarmog'i sxemasi.

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= a_{11} \dot{U}_1 + b_{12} \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} + b_{13} \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} + b_{14} \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} + b_{15} \frac{\dot{S}_5}{\dot{U}_5} \\ \dot{U}_2 &= a_{21} \dot{U}_1 + b_{22} \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} + b_{23} \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} + b_{24} \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} + b_{25} \frac{\dot{S}_5}{\dot{U}_5} \\ \dot{U}_3 &= \dot{U}_3 \\ \dot{U}_4 &= a_{41} \dot{U}_1 + b_{42} \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} + b_{43} \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} + b_{44} \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} + b_{45} \frac{\dot{S}_5}{\dot{U}_5} \\ \dot{U}_5 &= a_{51} \dot{U}_1 + b_{52} \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} + b_{53} \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} + b_{54} \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} + b_{55} \frac{\dot{S}_5}{\dot{U}_5} \end{aligned} \right\} \quad (7.4.1)$$

Ko'rilayotgan tarmoq uchun

$$a_{11} = a_{21} = a_{41} = a_{51} = 1$$

Tayanch tuguni uchun elektr stansiyadan eng uzoqdagi kuchlanishi U_3 bo'lgan, 3-yuklamali tugun qabul qilindi.

Koeffitsiyent b_m ni aniqlash uchun i-qator, m-ustunda bu qatordagi, m-tugundan tashqari barcha tugun quvvatlari nolga teng; tugun m dagi yuklama birlamchi tok bilan aniqlanadi deb faraz qilamiz. Ko'riylotgan

sxema uchun boshlanish $\dot{S}_1 = \dot{S}_2 = \dot{S}_3 = 0$, $I_1 = \frac{\dot{S}_1}{U_1} = 1$, tartib uchun (7.4.1)

tenglamalar sistemasi quyidagi ko'rinish oladi.

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_1 + b_{12}; & \dot{U}_2 &= \dot{U}_1 + b_{22}; \\ \dot{U}_3 &= \dot{U}_1 + b_{32}; & \dot{U}_4 &= \dot{U}_1 + b_{42}; \end{aligned}$$

Bundan kuchlanishning pasayishini ko'rsatuvchi b_{12} -koeffitsiyentlarini aniqlash mumkin. O'z navbatida kuchlanish pasayishini tarqatish koeffitsiyenti $C_{12}^{(2)}$ orqali ifodalash mumkin.

$$\begin{aligned} b_{12} &= \dot{U}_1 - U_1 = C_{12}^{(2)} Z_{12}; & b_{42} &= \dot{U}_4 - U_1 = C_{42}^{(2)} Z_{42}; \\ b_{22} &= \dot{U}_2 - U_1 = C_{22}^{(2)} Z_{22}; & b_{32} &= \dot{U}_3 - U_1 = C_{32}^{(2)} Z_{32}; \end{aligned}$$

Bu yerda -2-tugundagi birlamchi tokdan 1-3 uchastkadagi tarqalish koeffitsiyenti: shunga o'xshash $C_{23}^{(2)}$, $C_{43}^{(2)}$ va $C_{33}^{(2)}$ -tegishli tarqalish koeffitsiyentlari. Keyingi ustun tugun kuchlanishlari tenglamasi b_{12} -koeffitsiyentlarini aniqlash uchun, tartibini ko'ramiz. Shunga o'xshash (7.4.1.) tenglamalar sistemasidan topamiz:

$$\left. \begin{aligned} b_{13} &= \dot{U}_1 - U_1 = C_{13}^{(3)} Z_{13}; \\ b_{23} &= \dot{U}_2 - U_1 = C_{23}^{(3)} Z_{23}; \\ b_{43} &= \dot{U}_4 - U_1 = C_{43}^{(3)} Z_{43}; \\ b_{33} &= \dot{U}_3 - U_1 = C_{33}^{(3)} Z_{33}; \end{aligned} \right\} \quad (7.4.2)$$

7.4.2-ifoda bo'yicha b_m -koeffitsiyentlarni hisoblash o'rniga vaqtini iqtisod qilish uchun bu ifodani (7.4.1)-tugun kuchlanishlari tenglamasiga, uchastka qarshiliklari tarqalish koeffitsiyentini sonli qiymatlarini va tugun yuklamalarini o'rniga qo'yib, kerakli hisoblarni amalga oshirish mumkin. Hisoblashni shunday ketma-ketligiga amal qilamiz.

Keyingi tartibni ko'ramiz $\dot{S}_2 = \dot{S}_3 = \dot{S}_4 = 0$ va $\dot{I}_4 = \frac{\dot{S}_4}{U_4} = 1$. Bu tartib va tugun

kuchlanishlari tenglamasidan, (7.4.1) dan aniqlaymiz:

$$\begin{aligned}\dot{b}_{14} &= \dot{U}_1 - U_3 = \dot{C}_{13}^{(4)} Z_{13}; \\ \dot{b}_{24} &= \dot{U}_2 - U_3 = \dot{C}_{23}^{(4)} Z_{23}; \\ \dot{b}_{44} &= \dot{U}_4 - U_3 = \dot{C}_{34}^{(4)} Z_{43}; \\ \dot{b}_{44} &= \dot{U}_3 - \dot{U}_1 = \dot{U}_3 - \dot{U}_4 + \dot{U}_4 - \dot{U}_1 = \dot{C}_{34}^{(4)} Z_{34} - \dot{C}_{34}^{(4)} Z_{34}\end{aligned}$$

$\dot{S}_2 = \dot{S}_3 = \dot{S}_4 = 0$ va $\dot{I}_3 = \frac{\dot{S}_3}{U_3}$ tartib uchun (7.4.1) tenglamalar sistemasi asosida topamiz.

$$\begin{aligned}\dot{b}_{13} &= \dot{U}_1 - U_3 = \dot{C}_{13}^{(3)} Z_{13}; \\ \dot{b}_{23} &= \dot{U}_2 - U_3 = \dot{C}_{23}^{(3)} Z_{23}; \\ \dot{b}_{43} &= \dot{U}_4 - U_3 = \dot{C}_{43}^{(3)} Z_{34}; \\ \dot{b}_{33} &= \dot{U}_3 - U_3 = \dot{C}_{43}^{(3)} Z_{43}\end{aligned}$$

Nazorat savollari:

1. Kuchlanish pasayishini ko'rsatuvchi koeffitsiyent qanday aniqlanadi?
2. Tayanch tuguni ko'rilayotgan sxema uchun qanday aniqlanadi?
3. Kuchlanishning pasayishini ko'rsatuvchi koeffitsiyent orqali qanday aniqlanadi?

7.5. Tugun kuchlanishlari tenglamalarini iteratsiya (ketma-ketlik) usulida yechish. Quvvat oqimi taqsimlanishini aniqlash

Tugun kuchlanishlari tenglamalari holati va imkoniyati foydalaniladigan shaklda adabiyotlarda mukammal keltirilgan. Shuning uchun 7.4.1-rasmda keltirilgan tarmoq uchastkalarida tugun kuchlanishlari va quvvat oqimini aniqlash uchun tugun kuchlanishlari tenglamalarini iteratsiya usulida yechishni misolda ko'rib chiqamiz.

Tugun kuchlanishlari tenglamasini iteratsiya usulida yechishda birinchi yaqinlashish hamma tugunlar kuchlanishga tayanch tuguni kuchlanishi qabul qilinadi. Qabul qilingan misolda

$$U_1^{(1)} = U_2^{(2)} = U_3 = U_4^{(1)} = U_4^{(1)} = \dots \quad (7.5.1)$$

(yuqori qavsdagi daraja yaqinlashish tartibini bildiradi). Birinchi yaqinlashishdagi qiymatlar olingan (7.5.1) tugun kuchlanishlari tenglamalar sistemasiga qo'yib, tugun kuchlanishlarini ikkinchi yaqinlashishini olamiz.

Yaqinlikni olish uchun tezlashtirilgan iteratsiya usuli qo'llaniladi, bunda hisoblangan yaqinroq noma'lum qiymat, keyingi noma'lum qiymatni aniqlashda ishlatiladi. Tezlashtirilgan iteratsiya jarayoni quyidagi formulaga asosan olib boriladi.

$$U_1^{(n)} = U_1 + b_{11} \frac{\dot{S}_1}{U_2^{(n-1)}} + \dots + b_{1n} \frac{\dot{S}_n}{U_1^{(n-1)}} + \dots + b_{1n} \frac{\dot{S}_n}{U_n^{(n-1)}}$$

Ko'rilayotgan (7.5.1)-tenglamalar sistemasi uchun misolda yaqinlashishni yozamiz.

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1^{(n)} &= U_1 + b_{12} \frac{\dot{S}_2}{U_2^{(n-1)}} + b_{13} \frac{\dot{S}_3}{U_3} + b_{14} \frac{\dot{S}_4}{U_4^{(n-1)}} + b_{15} \frac{\dot{S}_5}{U_5^{(n-1)}}; \\ \dot{U}_2^{(n)} &= U_2 + b_{21} \frac{\dot{S}_1}{U_1^{(n-1)}} + b_{23} \frac{\dot{S}_3}{U_3} + b_{24} \frac{\dot{S}_4}{U_4^{(n-1)}} + b_{25} \frac{\dot{S}_5}{U_5^{(n-1)}}; \\ \dot{U}_3 &= \dot{U}_3; \\ \dot{U}_4^{(n)} &= U_4 + b_{42} \frac{\dot{S}_2}{U_2^{(n-1)}} + b_{43} \frac{\dot{S}_3}{U_3} + b_{44} \frac{\dot{S}_4}{U_4^{(n-1)}} + b_{45} \frac{\dot{S}_5}{U_5^{(n-1)}}; \\ \dot{U}_5^{(n)} &= U_5 + b_{52} \frac{\dot{S}_2}{U_2^{(n-1)}} + b_{53} \frac{\dot{S}_3}{U_3} + b_{54} \frac{\dot{S}_4}{U_4^{(n-1)}} + b_{55} \frac{\dot{S}_5}{U_5^{(n-1)}} \end{aligned} \right\}$$

Tugun kuchlanishlari tenglamalari usulida iterativ yo'l bilan olingan kuchlanish tarmoq uchastkalarida quvvat isrofini hisobga olib oqim taqsimlanishini hisoblashga imkon beradi. 7.4.1-sxema misolida quvvat oqimi taqsimlanishini aniqlashni ko'ramiz.

Tugunlar bo'yicha quvvat oqimi, ya'ni umumiy tugunga tutashgan uchastkalardagi quvvatni ketma-ket metodik aniqlash maqsadga muvofiqdir.

3-tayanch tugun uchastkalaridan boshlaymiz 1-3 uchastka oxiridagi to'liq quvvat kompleksi

$$\dot{S}_{13} = \frac{\Delta U_{13}}{Z_{13}} U_3$$

(qavsdagi daraja quvvatni uchastka orqali 3-tugunga oqishini ko'rsatadi);

Keyingi tartibni ko'ramiz $\dot{S}_2 = \dot{S}_3 = \dot{S}_4 = 0$ va $\dot{I}_4 = \frac{\dot{S}_4}{U_4} = 1$. Bu tartib va tugun

kuchlanishlari tenglamasidan, (7.4.1)dan aniqlaymiz:

$$\begin{aligned}\dot{b}_{14} &= \dot{U}_1 - U_3 = \dot{C}_{13}^{(4)} Z_{13}; \\ \dot{b}_{24} &= \dot{U}_2 - U_3 = \dot{C}_{23}^{(4)} Z_{23}; \\ \dot{b}_{44} &= \dot{U}_4 - U_3 = \dot{C}_{34}^{(4)} Z_{43}; \\ \dot{b}_{34} &= \dot{U}_3 - \dot{U}_1 = \dot{U}_3 - \dot{U}_4 + \dot{U}_4 - \dot{U}_3 = \dot{C}_{34}^{(4)} Z_{34} - \dot{C}_{34}^{(4)} Z_{34}\end{aligned}$$

$\dot{S}_2 = \dot{S}_3 = \dot{S}_4 = 0$ va $\dot{I}_3 = \frac{\dot{S}_3}{U_3}$ tartib uchun (7.4.1) tenglamalar sistemasi asosida topamiz.

$$\begin{aligned}\dot{b}_{13} &= \dot{U}_1 - U_3 = \dot{C}_{13}^{(3)} Z_{13}; \\ \dot{b}_{23} &= \dot{U}_2 - U_3 = \dot{C}_{23}^{(3)} Z_{23}; \\ \dot{b}_{43} &= \dot{U}_4 - U_3 = \dot{C}_{43}^{(3)} Z_{34}; \\ \dot{b}_{33} &= \dot{U}_3 - U_3 = \dot{C}_{43}^{(3)} Z_{43}\end{aligned}$$

Nazorat savollari:

1. Kuchlanish pasayishini ko'rsatuvchi koeffitsiyent qanday aniqlanadi?
2. Tayanch tuguni ko'rilayotgan sxema uchun qanday aniqlanadi?
3. Kuchlanishning pasayishini ko'rsatuvchi koeffitsiyent orqali qanday aniqlanadi?

7.5. Tugun kuchlanishlari tenglamalarini iteratsiya (ketma-ketlik) usulida yechish. Quvvat oqimi taqsimlanishini aniqlash

Tugun kuchlanishlari tenglamalari holati va imkoniyati foydalaniladigan shaklda adabiyotlarda mukammal keltirilgan. Shuning uchun 7.4.1-rasmda keltirilgan tarmoq uchastkalarida tugun kuchlanishlari va quvvat oqimini aniqlash uchun tugun kuchlanishlari tenglamalarini iteratsiya usulida yechishni misolda ko'rib chiqamiz.

Tugun kuchlanishlari tenglamasini iteratsiya usulida yechishda birinchi yaqinlashish hamma tugunlar kuchlanishga tayanch tuguni kuchlanishi qabul qilinadi. Qabul qilingan misolda

$$U_1^{(1)} = U_2^{(2)} = U_3^{(1)} = U_4^{(1)} = U_5^{(1)} = \dots \quad (7.5.1)$$

(yuqori qavsdagi daraja yaqinlashish tartibini bildiradi). Birinchi yaqinlashishdagi qiymatlar olingan (7.5.1) tugun kuchlanishlari tenglamalar sistemasiga qo'yib, tugun kuchlanishlarini ikkinchi yaqinlashishini olamiz.

Yaqinlikni olish uchun tezlashtirilgan iteratsiya usuli qo'llaniladi, bunda hisoblangan yaqinroq noma'lum qiymat, keyingi noma'lum qiymatni aniqlashda ishlatiladi. Tezlashtirilgan iteratsiya jarayoni quyidagi formulaga asosan olib boriladi.

$$U_1^{(n)} = U_1 + b_{11} \frac{\bar{S}_1}{\bar{A}_{(1n)}} + \dots + b_{1n} \frac{\bar{S}_n}{\bar{A}_{(1n-1)}} + \dots + b_{1n} \frac{\bar{S}_n}{\bar{A}_{(n-1)}}$$

Ko'rilayotgan (7.5.1)-tenglamalar sistemasi uchun misolda yaqinlashishni yozamiz.

$$\left. \begin{aligned} U_1^{(n)} &= U_1 + b_{12} \frac{\bar{S}_2}{\bar{A}_{(12)}} + b_{13} \frac{\bar{S}_3}{\bar{A}_{(13)}} + b_{14} \frac{\bar{S}_4}{\bar{A}_{(14)}} + b_{15} \frac{\bar{S}_5}{\bar{A}_{(15)}}; \\ U_2^{(n)} &= U_2 + b_{22} \frac{\bar{S}_2}{\bar{A}_{(22)}} + b_{23} \frac{\bar{S}_3}{\bar{A}_{(23)}} + b_{24} \frac{\bar{S}_4}{\bar{A}_{(24)}} + b_{25} \frac{\bar{S}_5}{\bar{A}_{(25)}}; \\ U_3 &= U_3; \\ U_4^{(n)} &= U_4 + b_{42} \frac{\bar{S}_2}{\bar{A}_{(42)}} + b_{43} \frac{\bar{S}_3}{\bar{A}_{(43)}} + b_{44} \frac{\bar{S}_4}{\bar{A}_{(44)}} + b_{45} \frac{\bar{S}_5}{\bar{A}_{(45)}}; \\ U_5^{(n)} &= U_5 + b_{52} \frac{\bar{S}_2}{\bar{A}_{(52)}} + b_{53} \frac{\bar{S}_3}{\bar{A}_{(53)}} + b_{54} \frac{\bar{S}_4}{\bar{A}_{(54)}} + b_{55} \frac{\bar{S}_5}{\bar{A}_{(55)}} \end{aligned} \right\}$$

Tugun kuchlanishlari tenglamalari usulida iterativ yo'l bilan olingan kuchlanish tarmoq uchastkalarida quvvat isrofini hisobga olib oqim taqsimlanishini hisoblashga imkon beradi. 7.4.1-sxema misolida quvvat oqimi taqsimlanishini aniqlashni ko'ramiz.

Tugunlar bo'yicha quvvat oqimi, ya'ni umumiy tugunga tutashgan uchastkalardagi quvvatni ketma-ket metodik aniqlash maqsadga muvofiqdir.

3-tayanch tugun uchastkalaridan boshlaymiz 1-3 uchastka oxiridagi to'liq quvvat kompleksi

$$S_{13} = \frac{\Delta U_{13}}{Z_{13}} U_3$$

(qavsdagi daraja quvvatni uchastka orqali 3-tugunga oqishini ko'rsatadi);

$$\dot{S}_{21}^{(2)} = \frac{\Delta \dot{U}_{21}}{Z_{21}} \dot{U}_1; \quad \dot{S}_{14}^{(2)} = \frac{\Delta \dot{U}_{12}}{Z_{12}} \dot{U}_1$$

1-tugun uchastkalaridagi quvvat

$$\dot{S}_{13}^{(1)} = \frac{\Delta \dot{U}_{13}}{Z_{13}} \dot{U}_1; \quad \dot{S}_{12}^{(1)} = \frac{\Delta \dot{U}_{12}}{Z_{12}} \dot{U}_1; \quad \dot{S}_{15}^{(1)} = \frac{\Delta \dot{U}_{15}}{Z_{15}} \dot{U}_1;$$

2-tugun uchastkalaridagi quvvat

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \frac{\Delta \dot{U}_{12}}{Z_{12}} \dot{U}_2; \quad \dot{S}_{21}^{(2)} = \frac{\Delta \dot{U}_{21}}{Z_{21}} \dot{U}_2;$$

4-tugun uchastkalaridagi quvvat

$$\dot{S}_{34}^{(4)} = \frac{\Delta \dot{U}_{34}}{Z_{34}} \dot{U}_4; \quad \dot{S}_{43}^{(4)} = \frac{\Delta \dot{U}_{43}}{Z_{43}} \dot{U}_4;$$

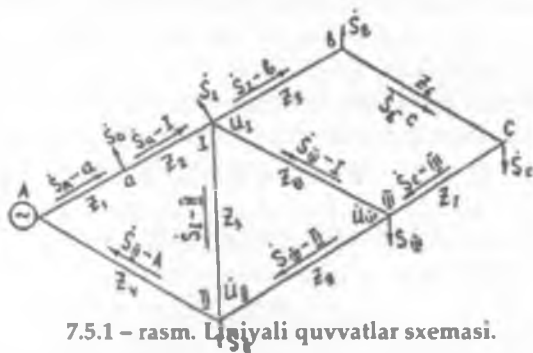
5-tugun uchastkalaridagi quvvat

$$\dot{S}_{15}^{(5)} = \frac{\Delta \dot{U}_{15}}{Z_{15}} \dot{U}_{15}; \quad \dot{S}_{25}^{(5)} = \frac{\Delta \dot{U}_{25}}{Z_{25}} \dot{U}_{15};$$

Bir ta'minlovchi punkt bo'lgan tarmoqni tugun kuchlanishlari usulida hisoblash. Bu usulni 7.5.1 – rasmdagi misol uchun ko'rib chiqamiz.

Agarda, birinchi bosqichda uchastkalardagi o'tkazuvchanlik va quvvat isrofini hisobga olmasak, unda hisoblash bir qancha ketma-ket bandlardan iborat bo'ladi:

1. Hamma tugunlardagi noma'lum kuchlanishlarni (7.5.1-rasm) kuchlanishlar $\dot{U}_I$, $\dot{U}_{II}$, $\dot{U}_{III}$ orqali belgilaymiz.



7.5.1 – rasm. Liniyalı quvvatlar sxemasi.

2. Ikki tarafdin ta'minlanuvchi liniyalar kabi har bir uchastkalar uchun quvvatlarni (toklarni) aniqlaymiz. Buning uchun har bir liniyaning boshi va oxirini belgilaymiz: A, I (S_a yuklama bilan), I, III (S_b , S_c yuklamalari

bilan); III-I; III-II; I-II; II-A (yuklamalarsiz). Yuklamalarsiz liniyalarda faqat tenglashtiruvchi quvvat (tok) aniqlanadi. Masalan, tenglashtiruvchi tok (I-II liniya uchun):

$$I_{\text{teng}} = (\dot{U}_I - \dot{U}_{II}) / Z_I$$

va tenglashtiruvchi quvvat

$$\dot{S}_{\text{teng}} = 3\dot{U}_{\text{qo}} I_{\text{teng}} \quad (7.5.1)$$

Bunda, quvvatlarni va kuchlanishlarni ko'rilayotgan faza qiymatlari uchun hisoblash qulaydir.

Yuklamaning mavjudligida ko'rilayotgan liniya uchun (liniya I-v-s-II)

$$\dot{S}_{I-v} = \frac{\dot{S}_I(Z_I + Z_I) + \dot{S}_I Z_I}{Z_I + Z_I + Z_I} + U_{\text{qo}} \dot{I}_{\text{teng}} \quad (7.5.2)$$

Bu yerda

$$I_{\text{teng}} = (\dot{U}_I - \dot{U}_{II}) / (Z_I + Z_I + Z_I) \quad (7.5.3)$$

(7.5.2) va (7.5.3) dan, ifodaga kiruvchi noma'lum kattaliklar – bu faqat tugun kuchlanishlari $\dot{U}_I, \dot{U}_{II}, \dot{U}_{III}$. Hamma boshqa qiymatlar berilgan.

Shunga o'xshash

$$\dot{S}_{I-v} = [\dot{S}_I Z_I + \dot{S}_I (Z_I + Z_I)] / (Z_I + Z_I + Z_I) + U_{\text{qo}} \dot{I}_{\text{teng}} \quad (7.5.4)$$

Yuklama bo'lmaganida (7.5.2) va (7.5.4) da birinchi a'zo bo'lmaydi.

3. Tugunga oquvchi va undan chiquvchi quvvatlarni (toklarni) bilib, Kirxgofning birinchi qonuniga asosan tugun tenglamalarini tuzamiz (har bir tugundagi toklar va quvvatlarning yig'indisi, ularni yo'nalishini hisobga olganda nolga tengdir). Tenglamalar soni, noma'lumlar soniga o'xshab, tugunlar soniga teng bo'lishi kerak (ta'minlovchi punkt A tugun deb hisoblanmaydi). 10.2.2- rasmda keltirilgan sxema uchun I, II va III tugunlar uchun tegishli tenglama quyidagicha yoziladi.

$$\begin{aligned} \dot{S}_{A1} - \dot{S}_{I-A} + \dot{S}_{II-I} - \dot{S}_{I-II} - \dot{S}_I &= 0 \\ \dot{S}_{I-A} - \dot{S}_{II-A} - \dot{S}_{II-I} - \dot{S}_{II} &= 0 \\ \dot{S}_{I-A} - \dot{S}_{II-I} - \dot{S}_{II-II} - \dot{S}_{II} &= 0 \end{aligned} \quad (7.5.5)$$

Bu yerda va 7.5.1- rasmda liniya quvvatlari yozilgan (fazalarniki emas).

Shunday qilib, liniya quvvatlari $\dot{S}_{I-I}, \dot{S}_{II-II}$ va boshqalar hisobida faqat tugun kuchlanishlari noma'lum bo'lganligi uchun, tenglama (7.5.5) ham faqat shu $\dot{U}_I, \dot{U}_{II}, \dot{U}_{III}$ noma'lumlarga ega bo'ladi.

4. (7.5.5) tenglamalardan noma'lum $\dot{U}_I, \dot{U}_{II}$ va $\dot{U}_{III}$ lar aniqlanadi.

5. Har bir uchastkalardagi quvvatlar (7.5.2), (7.5.3) ga o'xshab topiladi
Keyin bosqichlar kontur toklar usulini qaytaradi.

Nazorat savollari:

1. Iteratsiya usulida tugun kuchlanishi nima uchun tayanch kuchlanishiga teng deb qabul qilinadi?

2. Tugun kuchlanishlari tenglamalar usuli quvvat isrofini hisobga olib qanday hisoblashga imkon beradi?

7.6. Murakkab berk zanjirli elektr tarmoqlarni kontur toklari usulida hisoblash

Murakkab berk zanjirli elektr tarmog'i-bu tugun nuqtalariga ega bo'lgan tarmoqdir. Tugun nuqtalari shunday nuqtalarki, ularga yuklamalardan tashqari kamida uchta shoxobcha birlashadi. 7.6.1-rasmda I, II va III tugun nuqtalari bo'lgan murakkab berk zanjirli tarmoq sxemasi ko'rsatilgan. Berk zanjirli tarmoqlarni hisoblash ancha murakkab va ochiq tarmoqlarni yoki ikki tarafdan ta'minlanadigan tarmoqlarni hisoblashga qaraganda ancha farq qiladi. Murakkab zanjirlarni hisoblash kontur toklari (quvvatlari), tugun kuchlanishlari, tarmoqni o'zgartirish usullari yordamida amalga oshirilishi mumkin. Oxirgi usul programmalashtirish uchun ancha murakkab bo'lib, u EHM dan foydalanishda noqulaydir. Tugun kuchlanishlari usuli tarmoqlar holatini EHM da hisoblashda asosiy deb olinadi.

Bu hisoblardagi vazifa, ikki tarafdan ta'minlanuvchi tarmoqlardagi kabi, berilgan yuklamalar va qarshiliklarni inobatga olib, liniya uchastkalaridagi quvvatlarni (yoki toklarni) aniqlashdan iboratdir.

Murakkab zanjirli tarmoqlarni hisoblashdagi maqsadga muvofiq usullardan biri kontur toklari usulidir. Bu usulni bir ta'minlovchi punkt bo'lgan tarmoqlar uchun ko'rib chiqamiz.

Murakkab berk zanjirli tarmoqni hisoblashning birinchi bosqichida tarmoqdagi quvvatlar taqsimlanishi o'tkazuvchanliklarni va quvvat isrofini, ya'ni Y_0 va ΔS ni hisobga olmasdan aniqlanadi.

Hisoblash bandlari quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

1. Mustaqil konturlar soni liniyalar sonidan tugunlar sonini ayirib aniqlanadi (mustaqil deb shunday konturga aytiladiki, qachonki uni bitta ham shoxobchasi boshqa konturga kirmaydi).

$$S_1 Z_1 - (S_1 - S_2 - S_3 - S_4 - S_5 - S_6 - S_7 - S_8) Z_2 - (S_1 - S_2 - S_3 - S_4 - S_5 - S_6 - S_7) Z_3 = 0$$

5. Tuzilgan uchta (7.6.1) tenglamadan uchta noma'lumlar (S_1, S_2, S_3) ni har qanday mavjud usullarni qo'llab qo'lda yoki EHM yordamida topamiz.

6. Har bir uchastkadagi quvvatlarni, avvaligiga o'xshab tugun va yuklama nuqtalari uchun Kirxgofning birinchi qonuniga asoslanib topamiz.

7. Yechimning to'g'riligini Kirxgofning birinchi qonuniga asoslanib, sonlar orqali tekshiramiz va tok bo'linish nuqtasini aniqlaymiz.

Nazorat savollari:

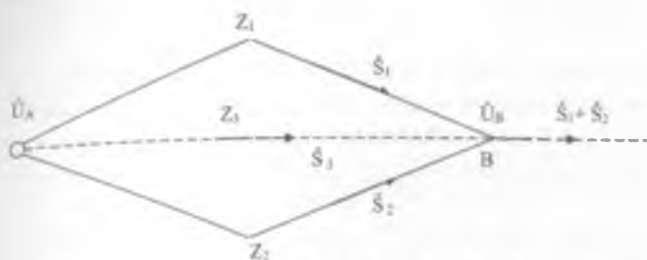
1. Murakkab berk konturlarni hisoblashdan birinchi bosqichida nima uchun Y_0 va ΔS ni hisobga olmasdan amalga oshiriladi?
2. Kontur toklari usulida mustaqil deb qanday konturga aytiladi?
3. Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan kontur tenglamalari qanday tuziladi?

7.7. Murakkab berk tarmoqlarni o'zgartirish

Tugun nuqtalariga ega berk tarmoqlarda quvvat taqsimlanishi uchun «Nazariy elektr texnika» kursidan ma'lum kontur tenglamalari tugun nuqtalari kuchlanishi va tarmoqni o'zgarish usullaridan foydalaniladi. Tarmoqni o'zgartirish usuli eng sodda va ishlatilishi umumiy usul bo'lib, uni qisqa tutashuv toki hamda elektr sistemasining barqarorligini hisoblashda ham ishlatish mumkin.

Tarmoqni o'zgartirish usulining mohiyati berilgan murakkab tarmoq ketma-ket o'zgartirishlar orqali oldin ko'rilgan ikki tarafdin ta'minlovchi tarmoq usuliga keltiriladi. So'ngra o'zgartirilgan tarmoqni har bir uchastkasidagi liniyal quvvat aniqlangandan so'ng, ketma-ket tarmoqni teskari o'zgartirishlarini amalga oshirib, haqiqiy quvvat taqsimlanishi aniqlanadi.

Tarmoqning o'zgartirish usulini nazariy ko'rib chiqamiz. Yuklamaga bo'lmagan ekvivalent parallel liniyalar. Liniyal quvvatlari S_1 va S_2 qarshiliklari Z_1 va Z_2 bo'lgan (7.7.1-rasm) ikki (yoki undan ko'p) parallel liniya berilgan. V tugundagi kuchlanish o'zgartirilgan va asosiy sxemada bir xil bo'lish sharti bilan ushbu liniyalarni Z_0 qarshilikli, S_0 yuklamali bir ekvivalent liniya bilan almashtirish talab etiladi.



7.7.1-rasm. Yuklamosiz ekvivalent parallel liniyalar.

Elektr texnikaning ma'lum qonunlariga asosan ikki parallel liniyalar uchun:

$$S_d = S_1 + S_2$$

$$Z_d = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (7.7.1)$$

Uchta parallel liniyalar uchun

$$S_d = S_1 + S_2 + S_3$$

$$Z_d = \frac{Z_1 \cdot Z_2 \cdot Z_3}{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}$$

Keltirilgan sxemaning dastlabki holatga keltirishda S_e ni dastlabki sxemasi bo'yicha shoxobchalarda taqsimlanishni aniqlash zarur. Chunki qo'yilgan masalaga asosan V nuqtadagi kuchlanish o'zgarmasdan qolishi kerak, parallel liniyalarda (ularning soniga qaramasdan) A va V nuqtalar orasidagi kuchlanishning pasayishi bir xil bo'lishi shart.

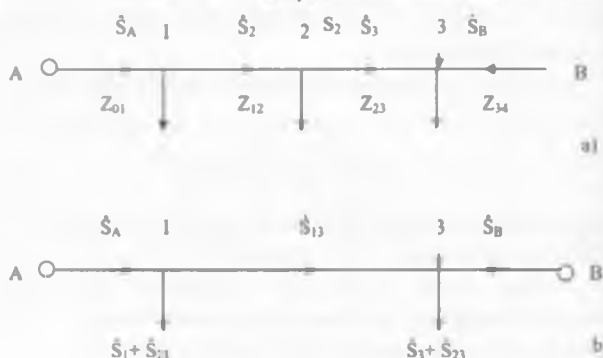
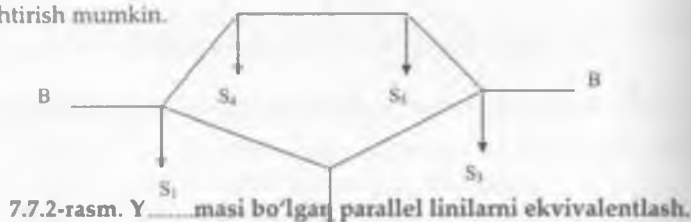
$$\frac{S_1}{U_N} Z_1 = \frac{S_2}{U_N} Z_2 = \frac{S_3}{U_N} Z_3 = \frac{S_d}{U_N} Z_d \quad (7.7.2)$$

(10.1.2) tenglikdan aniqlaymiz:

$$S_1 = S_d \cdot \frac{Z_d}{Z_1}; S_2 = S_d \cdot \frac{Z_d}{Z_2}; S_3 = S_d \cdot \frac{Z_d}{Z_3}; \quad (7.7.3)$$

Yuklamaning tarmoqni boshqa nuqtasiga ko'chirish. Berk tarmoqlarning har qanday uchastkalari parallel liniyalarini, agarda ushbu liniyalarga ulangan yuklama bo'lmasa, ekvivalent qilish mumkin, buning aksi liniyada kuchlanishning pasayishi har xil bo'lib qoladi. Yig'ilgan yuklamalarga ega parallel liniyalarni ekvivalentiga almashtirish uchun ushbu yuklamalarni boshqa nuqtaga, masalan, o'zgartiriladigan uchastka chegaralariga (7.7.2-rasm 1 va 3) ko'chirishga harakat qilinadi.

Faraz qilaylik, 1-3 liniyani (7.7.3-rasm, a) va boshqa unga parallel liniyani bitta unga ekvivalent liniya bilan almashtirish talab etiladi. 1-3 liniyaning 2-nuqtasida joylashgan yuklama S_2 ni, 1 va 3 nuqtalarda joylashgan ekvivalent yuklama S_{21} va S_{23} , qo'shni uchastkalardagi liniyalik quvvatlar S_A va S_B , 1 va 3 nuqtalardagi kuchlanishlar dastlabki va o'zgartirilgan sxemalarda (7.7.3-rasm, b) o'zgarishsiz qolish sharti bilan almashtirish mumkin.



7.7.3-rasm. Yuklamani ko'chirish.
a-dastlabki sxema; b-o'zgartirilgan sxema.

Quvvatlarning bo'linishi 3-nuqtada bo'lsin. Masalani shartiga ko'ra 1-3 uchastkalardagi kuchlanishning pasayishi dastlabki va o'zgartirilgan sxemalar uchun bir xil. Tarmoqning nominal kuchlanishiga asosan toklarni topishda, oldindan keltirilgan shartga asosan quvvat isrofsiz liniyalarni hisoblashdan topamiz:

$$\frac{\dot{S}_1}{U_N} Z_{12} + \frac{\dot{S}_2}{U_N} Z_{23} = \frac{\dot{S}_{12}}{U_N} (Z_{12} + Z_{23}) \quad (7.7.4)$$

1 va 2 nuqtalardagi yuklamalar balansini qabul qilingan cheklanishlar (ya'ni quvvat isrofni hisobga olmay) yozishimiz mumkin:

$$S_2 = S_A - S_1; \quad S_3 = S_B - (S_1 + S_2)$$

$$S_{11} = \dot{S}_4 - (\dot{S}_1 + \dot{S}_2) \quad (7.7.5)$$

Liniyalı quvvat qiymatlarini yig'ilgan yuklamalı ifodadan (7.7.5) formulaga asosan 7.7.4 ga qo'yib va soddalashtirib olamiz:

$$\frac{\dot{S}_2}{U_N} Z_{21} = \frac{\dot{S}_{21}}{U_N} (Z_{12} + Z_{21})$$

bundan

$$\dot{S}_{12} = \dot{S}_2 \frac{Z_{21}}{Z_{12} + Z_{21}} \quad (7.7.6-a)$$

Shunga o'xshab, liniyani quvvatlar $\dot{S}_2$, $\dot{S}_3$ va $\dot{S}_{13}$ liniyani boshqa tomonidagi S_N quvvat orqali ifodalab va ularning qiymatlarini 7.7.4 tenglamaga qo'yib topamiz:

$$\dot{S}_{21} = \dot{S}_2 \frac{Z_{12}}{Z_{12} + Z_{21}} \quad (7.7.6-b)$$

(7.7.6-a) formulalar orqali topilgan $\dot{S}_{12}$ va $\dot{S}_{21}$ yuklamalarni qo'shib, aniqlaymiz:

$$\dot{S}_{21} + \dot{S}_{12} = \dot{S}_2$$

Ya'ni o'zgartirilgan tarmoqdagi ikkala ko'chirilgan yuklamalarni geometrik yig'indisi dastlabki yuklama $\dot{S}_2$ ga tengdir.

(7.7.6) ifodadan ko'rinadiki, ko'rsatilgan yuklamalarni aniqlash, kuchlanishlari teng bo'lgan ikki tarafdin ta'minlanadigan liniyalarda ta'minlash manbai yuklamalar ko'chirilgan nuqta deb qabul qilinsa, manbadan chiqayotgan quvvatlarni aniqlashga o'xshab aniqlanadi. Bu qoida har qanday yuklamalar bo'lganda, A va B nuqtalari kuchlanishlari har xil bo'lganda ham to'g'ridir.

O'zgartirilgan sxema dastlabki holatga keltirilganda dastlabki sxemadagi liniyalı quvvatlarni qanday aniqlanishini ko'rib chiqamiz.

O'zgartirilgan sxemada (7.7.2 b-rasmga asosan quvvat taqsimoti 1-3 uchastkaga teng.

$$\dot{S}_{13} = \dot{S}_4 - (\dot{S}_1 + \dot{S}_{21})$$

Dastlabki sxemada $\dot{S}_{21}$ ni 2-nuqtdaga qaytarganimizda sxemada 1-2 uchastkadagi belgilangan quvvat yuklanishda $\dot{S}_{13}$ quvvatdan qaytarilgan quvvatni qiymatiga katta bo'ladi, ya'ni 2-nuqtaga $\dot{S}_{23}$ ni qaytarilgandan keyin 2-3 uchastkadagi quvvat qaytarilgan $\dot{S}_{13}$ qiymatga kichik bo'ladi.

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_{13} + \dot{S}_{23} = \dot{S}_4 - (\dot{S}_1 + \dot{S}_{21}) - \dot{S}_{23} = \dot{S}_2 - \dot{S}_2$$

Yuklamalarning qiymatiga qarab, o'zgartirilgandan dastlabki sxemaga o'tkazilganda, quvvat bo'linishi nuqtasining o'zgarishi mumkin.

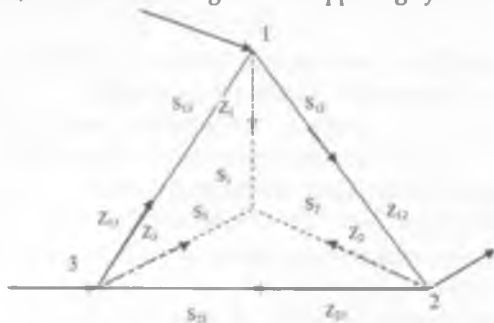
Uchburchakni ekvivalent yulduzga o'zgartirish. Agarda berilgan tarmoq sxema tomonlarida yig'ilgan yuklama yo'q uchburchak konturi uchrasa (7.7.4-rasm), unda murakkab sxemani ikki tarafdin ta'minlanuvchi liniyaga keltirish uchun uchburchakni ekvivalent yulduzga (rasmida punktirda ko'rsatilgan) aylantiriladi.

Elektr texnika fanidan ma'lumki, ekvivalent yulduz nurlarining qarshiligi quyidagi tengliklardan aniqlanadi.

$$Z_1 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{13}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}; \quad Z_2 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}; \quad Z_3 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}; \quad (7.7.7)$$

5.2 dan ma'lum bo'lgan ikki tarafdin ta'minlanadigan liniyalarda quvvat taqsimlanishga asosan o'zgartirilgan yulduz nurlaridagi $\hat{S}_1$, $\hat{S}_2$ va $\hat{S}_3$ quvvatlar aniqlanadi.

Agarda dastlabki sxemada uchburchakni biror tomonida yuklama bo'lsa, uchburchakni yulduzga o'zgartirishdan oldin, yuqorida keltirilgan qoidaga asosan, uchburchakni tegishli cho'qqisidagi yuklamani ko'chirish kerak.



7.7.4-rasm. Uchburchakni yulduzga o'zgartirish

O'zgartirilgan sxemani dastlabki holatga yoyganimizda olingan nurlaridagi quvvat taqsimlanishiga asosan uchburchak tomonlaridagi quvvat taqsimlanish aniqlanishi zarur.

Shartli ravishda 7.7.4-rasmga asosan yulduz nurlaridagi quvvat taqsimlanishi aniqlandi. Dastlabki uchburchak tomonlaridagi quvvat uchburchakni har qanday tomonlarida kuchlanishning pasayish vektorlari va u bilan yondosh yulduz nurlari tengligidan aniqlaymiz.

7.7.4-rasmida ifodalangan uchburchak tomonlaridagi quvvat yo'nalishini berib, uchastkalaridagi tokni nominal kuchlanishga asosan topib, ega bo'lamiz

$$\frac{\hat{S}_{12}}{U_N} Z_{12} = \frac{\hat{S}_1}{U_N} Z_1 - \frac{\hat{S}_2}{U_N} Z_2$$

Bundan

$$\dot{S}_{12} = \frac{\dot{S}_1 Z_2 - \dot{S}_2 Z_1}{Z_{12}}; \quad \dot{S}_{23} = \frac{\dot{S}_2 Z_3 - \dot{S}_3 Z_2}{Z_{23}}; \quad \dot{S}_{31} = \frac{\dot{S}_3 Z_1 - \dot{S}_1 Z_3}{Z_{31}}; \quad (7.7.8)$$

Agarda natija manfiy belgida chiqsa, uchburchak tomonlaridagi quvvatning shartli yo'nalishi o'zgarishi kerak.

Nazorat savollari:

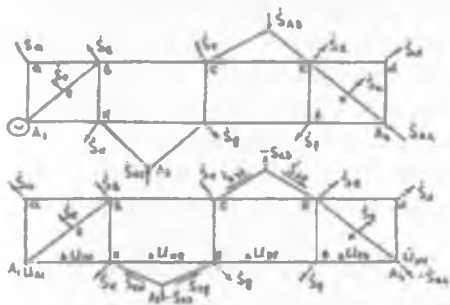
1. Murakkab berk tarmoqlar qanday o'zgartiriladi?
2. Parallel liniyalarni qo'shib umumiy liniya qanday aniqlanadi?
3. O'zgartirilgan tarmoqdagi yuklama qanday ko'chiriladi?
4. Qarshiliklarni o'zgartirishda uchburchakni ekvivalent yulduzga qanday o'tiladi?

7.8. Bir necha ta'minlash punktlariga ega bo'lgan murakkab berk zanjirli tarmoqlarni hisoblash xususiyatlari

Bir necha elektr stansiyalarga ega bo'lgan energosistemaning berk zanjirli elektr tarmoqlarini hisoblashda, bittasidan boshqa hamma elektr stansiyalarni belgilangan grafikda ishlaydi deb hisoblanadi.

(7.8.1)- rasmda ko'rsatilgan tarmoqda A_1, A_4 punktlar uchun kuchlanishlar $\dot{U}_{A1}, \dot{U}_{A4}, A_2, A_3$ punktlar uchun esa quvvatlar $\dot{S}_{A2}$ va $\dot{S}_{A3}$ berilgan.

Hamma ta'minlovchi punktlarning quvvatini ixtiyoriy olish mumkin



7.8.1 – rasm. Bir necha ta'minlash punktlari bo'lgan murakkab berk zanjirli tarmoqning sxemasi.

emas. Elektr stansiyalaridan bittasi erkin grafikda ishlaydi va to'satdan bo'ladigan qo'shimcha yuklamalarni va elektr sistemasida bo'ladigan quvvat isrofini qoplash imkoniyatiga ega deb qaraladi. Bu elektr stan-

siyasining quvvati berilgan tarmoqdagi quvvatning tenglik sharti bilan aniqlanadi.

7.8.1 - rasmda tenglashtirish uchun A tugun qabul qilingan. Bu tugunning quvvatini birinchi yaqinlashishda quyidagi ifoda bilan aniqlash mumkin:

$$S_{A1}^i = S_{A2} + S_{A3} + S_{A4} + S_{A5} + S_{A6} + S_{A7} + S_{A8} + S_{A9} + S_{A10} - S_{A11} - S_{A12} - S_{A13} \quad (7.8.1)$$

Tarmoqdagi quvvat isrofi aniqlangandan so'ng, uning yig'indisi () hisobga olinib, yana muvozanatlovchi tugunning quvvati aniqlanadi.

$$S_{A1} = S_{A1} + \sum \Delta S \quad (7.8.2)$$

Kuchlanish berilgan tenglashtiruvchi tugundan tashqari quvvatlari berilgan ta'minlovchi punktlarning kuchlanishlari (U_{A2} va U_{A3}) noma'lum bo'lib qoladi.

Quvvati berilgan ta'minlovchi punktlarni manfiy yuklamali iste'mol qiluvchi punktlar bilan almashtirish mumkin so'ngra esa hisoblash har qanday biror - kontur toklari (quvvatlari), tugun kuchlanishlari va hokazo usullarida amalga oshirilishi mumkin. Bunda, kontur toklari usulini qo'llashda, har bir konturdagi noma'lum quvvatlar (toklar), tugun kuchlanishlari usuli uchun esa, tugunlardagi kuchlanishlar belgilanadi.

Ammo bir necha ta'minlovchi punktlari bo'lgan tarmoqlarda ko'rsatilgan noma'lumlardan tashqari qo'shimcha noma'lumlar paydo bo'ladi: quvvatlari berilgan ta'minlovchi punktlarning kuchlanishlari va kuchlanishlari berilgan ta'minlovchi punktlarning quvvatlari (tenglashtiruvchidan tashqari). Shuningdek (7.5.1) va (7.5.5) dan tashqari tegishli bo'lgan qo'shimcha tenglamalar paydo bo'ladi.

1. Har bir berilgan kuchlanishli tugun uchun bu kuchlanish tenglashtiruvchi tugun kuchlanishi va tenglashtiruvchi va ko'rilyotgan tugunlar orasidagi kuchlanish pasayishining ayirmasiga teng bo'lishi kerak. Shuningdek 7.8.1- rasm uchun bu tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$\dot{U}_{A4} = \dot{U}_{A1} - \Delta U_{A14} \quad (7.8.3)$$

Bu yerda har qanday yo'l bo'yicha A_1 va A_{14} punktlari orasidagi kuchlanishni pasayishining yig'indisiga teng.

$$\Delta U_{A14} = \sum \Delta \dot{U}_M = \Delta \dot{U}_{A1} + \Delta \dot{U}_{A2} + \Delta \dot{U}_{A3} + \Delta \dot{U}_{A4} \quad (7.8.4)$$

2. Quvvati berilgan ta'minlovchi punktlar uchun Kirxgofning birinchi qonuniga asosan tenglama

$$S_{A1} + S_{A2} - S_{A3} = 0; \quad S_{A4} + S_{A5} + S_{A6} = 0 \quad (7.8.5)$$

Shunday qilib, noma'lumlarning umumiy soni hamda tenglamalarning umumiy soni ta'minlovchi punktlarning soniga ko'payadi (tenglashtiruvchi punktdan tashqari).

So'ngra esa kontur toklari usuli uchun (7.5.1), (7.8.3) va (7.8.5) tenglamalari tugun kuchlanishlari uchun esa (7.5.5), (7.8.5) tenglamalari birgalikda yechiladi. Keyingi harakatlar esa oldingi keltirilgan tartibda ketadi.

Nazorat savollari:

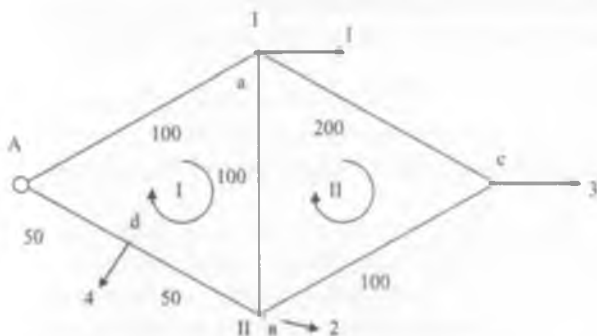
1. Bir necha elektr stansiyalarga ega bo'lgan murakkab tarmoqlarni hisoblashni o'ziga xos tomonlari qanday?
2. Har bir berilgan tugun kuchlanishi qanday aniqlanadi?
3. Tenglashtiruvchi quvvat qanday aniqlanadi?

7.8.1. Mavzuga doir misollar

1-Misol. 7.8.2-rasmda ko'rsatilgan murakkab elektr tarmog'ida quvvat taqsimlanishi va bo'linish nuqtasini aniqlang. Tarmoq bir xil kesim yuzali simdan tayyorlangan. Yuklama quvvati P ni reaktiv tashkil etuvchisi yo'q va kilovattdda, uzunlik-metrda ko'rsatilgan. Hisobni birinchi bosqichida quvvat isrofini hisobga olmaymiz. Hisoblashning $S=P$ teng deb kontur toklari usulida hisoblang.

Yechish. Konturlar soni liniyalar sonidan tugun nuqtalari sonini ayirib aniqlaymiz:

Liniyalar soni to'rtta: A-I; I-C-II; I-II va A-II. Tugunlar soni ikki I, II. Shunday qilib konturlar ikki (4-2); kontur I (A-I-II-d-A) va kontur II (I-c-II-I). Konturlar aylanishini soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha olamiz.



7.8.2-rasm. Murakkab berk zanjirning sxemasi.

2. Kontur ikkita bo'lganligi uchun, ikki noma'lum quvvatlarni S_1 va S_2 orqali belgilaymiz.

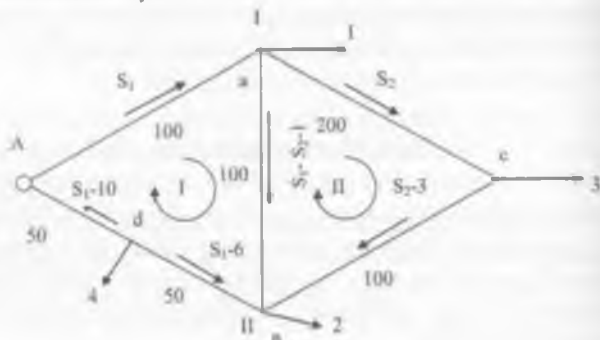
3. Uchastkalardagi hamma quvvatlarni belgilangan quvvatlar orqali ifodalaymiz. (7.8.3-rasm).

4. 7.8.3-rasmga asosan Kirxgofning ikkinchi qonuni asosida ikkala kontur uchun kontur tenglamalarini tuzamiz.

$$S_1 - 100 + (S_1 - S_2 - 1) - 100 + (S_1 - 6) - 50 + (S_1 - 10) - 50 = 0$$

$$S_2 - 200 + (S_2 - 3) - 100 - (S_1 - S_2 - 1) - 100 = 0$$

o'zgartirishlardan keyin



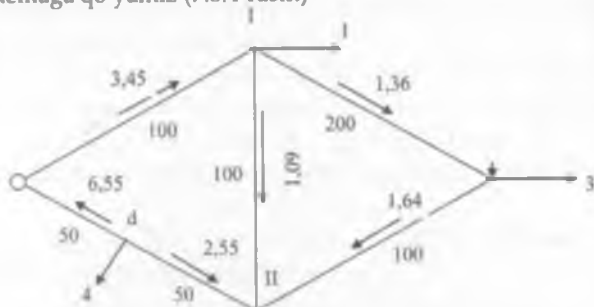
7.8.3-rasm. Uchastkalarda quvvat taqsimlanishi.

$$3S_1 - S_2 = 9 \quad \text{va} \quad 4S_2 - S_1 = 2$$

5. Ikktita tenglamadan ikki noma'lumni aniqlaymiz

$$S_1 = 38/11 = 3,45 \text{ kVt}; \quad S_2 = 15/11 = 1,36 \text{ kVt}$$

6. Hamma uchastkalardagi quvvat taqsimlanishini sonlar bo'yicha aniqlab sxemaga qo'yamiz (7.8.4-rasm)



7.8.4-rasm. Tarmoqda quvvat taqsimlanishi.

7. Ko'rilgan hisoblarni Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlariga asosan tekshirib, bo'linish nuqtasini aniqlaymiz.

I-tugun	$3,45=1+1,36+1,09$ kVt
II-tugun	$1,09+2,55=2+1,64$ kVt
I-kontur	$3,45*100+1,09*100-2,55*50-6,55*50=0$
II-kontur	$1,36*200-1,64*100-1,09*100=0$

Bundan ko'rinadiki hisob to'g'ri.

Bo'linish nuqtasi S da. Haqiqatdan $1,36+1,64=3$

Ya'ni unga keladigan quvvatlar yuklamada iste'mol qilinadi.

VIII. Elektr tarmog'ining ish tartiblari va ularni boshqarish

8.1. Quvvat isrofi turlari

Iste'molchilar me'yoriy ishlashi uchun aktiv va reaktiv quvvatlar kerak bo'ladi. Reaktiv quvvat magnit maydonini hosil qilish uchun sarflanadi va yoqilg'i sarflanishini talab qilmaydi. Ammo uni liniyalar orqali uzatish, tarmoq elementlarida ma'lum aktiv quvvat isrofi bilan bog'liq. Ushbu elementlarda reaktiv quvvat ham sarflanadi, bu esa reaktiv quvvat ishlab chiqarilishini ko'paytirishni talab qiladi. Shuning uchun reaktiv quvvat iste'molni kamaytirish, aktiv energiyani tejaydi, quvvat isrofi va kuchlanish yo'qotilishini kamaytiradi.

Quvvat isrofi ikki xil bo'ladi: yuklamaga bog'liq bo'lgan va yuklamaga bog'liq bo'lmagan salt yurish isrofi.

O'z navbatida, isroflarni texnikaviy, tashkiliy va kommersiya isroflariga ajratish mumkin.

Texnikaviy isroflar – tarmoqni qayta qurish, uskunalarni almashtirish yoki qo'shimcha uskunalar o'rnatish tadbirlarini ko'zda tutadi. Bularga quyidagilar kiradi:

1. Kompensatsiyalovchi qurilmalarni o'rnatish.
2. Simlarni katta kesim yuzali simlar bilan almashtirish.
3. Ortiqcha yuklangan va kam yuklangan transformatorlarni almashtirish.
4. Rostlash uskunalarini o'rnatish (YuOR va qo'zg'atishsiz o'zgartiruvchi (QO')li transformatorlar, kuchlanishni qo'shuvchi transformatorlar, qisqa tutashtiruvchi reaktorlar va boshqalar).
5. Transformatsiya koeffitsiyentlarini avtomatik rostlash.
6. Sig'imli batareyalar quvvatini avtomatik rostlash.

7. Yuqori va o'ta yuqori kuchlanishli berk zanjirli tarmoqlarda quvvat oqimini rostlovchi uskunalarni o'rnatish (masalan, rostlovchi transformatorlar, RT).

8. Tarmoqni yuqori kuchlanishga o'tkazish.

9. Rele himoyasi, avtomatika, telemexanikaning takomillashgan tur-larini tatbiq etish.

Tashkiliy isroflar – xizmat ko'rsatishni yaxshilash tarmoq sxemalarini va ish tartiblarini me'yoriylash tadbirlarini ko'zda tutadi. Bularga quyidagilar kiradi:

1) tarmoqning o'rnatilgan ish tartibini reaktiv quvvat bo'yicha me'yor-lash (KU va transformatsiyalash koeffitsiyenti bilan rostlashni me'yoriy qonunlarini tanlash)

2) 6-35 kV li tarmoqlarning uzilish (quvvat bo'linish nuqtasi) joylarini me'yorlash;

3) sistemada reaktiv quvvat tanqisligi mavjud bo'lganda elektr stansiya generatorlarini sinxron kompensatorlar tartibiga o'tkazish;

4) radial tarmoqlarni ta'minlash markazlari ish kuchlanishlarini me'yorlash;

5) kam yuklamali tartiblarda transformatorlarni o'chirish;

6) tarmoq fazalarida yuklamalarni teng taqsimlash

7) ta'mirlash va xizmat ko'rsatish sifatini yaxshilash vaqtini qisqartirish;

8) quvvat isrofni kamaytirishning yangi usullarini ishlab chiqish va tatbiq etish;

9) xizmat ko'rsatuvchi xodimlarni rag'batlantirish va boshqalar.

Kommersiya isroflari – xizmat ko'rsatishni yaxshilash ko'zda tutiladi va iste'molchilar bilan hisob-kitob vaqtida energonazorat tomonidan amalga oshiriladi. Bunga quyidagilar kiradi:

1) energiya o'lchagich asboblarini o'rnatish;

2) o'g'irliklar bilan kurashish;

3) hisobga olish sistemasini yaxshilash va boshqalar.

Quvvat isrofni kamaytirish tadbirlari loyihalashda hamda ishlatish vaqtida amalga oshiriladi. Ishlatish tadbirlari ish usullarini me'yorlashda har doim amalga oshiriladi.

Tarmoq yuklamasi ortganda isroflar oshadi va mos ravishda tarmoqni narxi va isrof orasidagi bog'liqlik nominal qiymatdan o'zgaradi. Iste'molchilarning aktiv va reaktiv yuklamalarni o'zgarishi, energetika sistemasida aktiv va reaktiv quvvatlar oqimini hamda undagi isrofn o'z-garishiga sabab bo'ladi. Shuning uchun doimo isrof darajasini nazorat

qilish kerak, chunki ular butun tarmoqning tejamli ishlashini tavsiflaydi. Isrof darajasini boshqarish muammosiga sistemali yondashish murakkab masala hisoblanadi va faqat zamonaviy iqtisodiy-matematik modellar va EHM lar yordamida uni kompleks yechish mumkin. Bunda asosiy qiyinchilik, yuklamalar o'zgarishi bilan doimo o'zgarib turuvchi tarmoq tartiblari to'g'risida ma'lumotlarni yig'ish va qayta ishlash hisoblanadi.¹⁰

Ichki elektr ta'minlash tarmoqlaridagi yuklama va isroflar o'zgarishini energetika sistema tarmoqlaridagi isroflarga ta'sirini hisobga olish uchun umumlashtirilgan koeffitsiyentlar ishlatiladi: iste'molchilar tarmoqlarida aktiv quvvat o'zgarganda energetika sistema tarmoqlarida aktiv quvvat isrofining ortishi koeffitsiyenti K_P ; reaktiv quvvat o'zgarganda aktiv quvvat isrofini ortishi koeffitsiyenti – K_E . K_E koeffitsiyenti reaktiv quvvatning iqtisodiy ekvivalenti deb ataladi. Bu shuni kursatadiki, iste'molchi tarmog'ida yuklama 1 kVAr ga kamaysa, energetika sistemasi tarmoqlarida isrof 0,1 kVt ga kamayadi. Agar, masalan, $K_E=0,05$ bo'lsa, bu degani, agar sanoat korxonasi tarmog'ida reaktiv quvvat 100 kVAr ga ortsa, energetika sistemasi tarmog'ida isrof 5 kVt ga ortadi K_P va K_E qiymatlari energetika sistemasi xodimi tomoni EHM yordamida xarakterli tartiblar uchun aniqlanishi kerak.

Nazorat savollari:

1. Isrofning asosiy turlarini aytib bering.
2. Nima uchun tarmoatsional tuzish quvvati isrofini kamayishiga olib keladi?
3. Iqtisodiy ekvivalent reaktiv quvvati deb nimaga aytiladi?

8.2. Reaktiv quvvat manbalari va uning xususiyatlari

Reaktiv quvvat iste'molchini xarakteriga bog'liq. Reaktiv quvvatni katta masofaga tarmoqlar orqali generatordan iste'molchiga uzatishda isrof oshadi, chunki R va X ning qiymatlari kattalashadi.

Ularni kamaytirish uchun, reaktiv quvvat manbai bo'lgan kompensatsiyalovchi uskunalar (KU) qo'llaniladi va iste'molchilarni quvvat bilan ta'minlaydi. Liniyani katta reaktiv quvvat bilan yuklamaslik uchun, manbalar iste'molchilarga yaqin o'rnatiladi.

Bunda liniyadagi isroflar

¹⁰ Steven W. Hurns. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley&Sons, INC Publication, 2007, 260 p.

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R \text{ va } \Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{u^2} \cdot X \text{ qiymatdan}$$

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_m)^2}{u^2} \cdot R \text{ va } \Delta Q = \frac{P^2 + (Q - Q_m)^2}{u^2} \cdot X \quad (8.2.1)$$

qiymatgacha kamayadi.

Isrof ifodasidan ko'rinib turibdiki, reaktiv quvvat Q ortishi bilan, reaktiv va aktiv quvvatlar isrofi ortayapti.

(8.2.1) dan ko'rinib turibdiki, kompensatsiyalovchi uskunaning quvvati Q_{ku} qancha katta bo'lsa ($Q_{ku} < Q$ atrofida), quvvat isrofi shuncha kichik bo'ladi. Lekin, isrofning kamayishi kompensatsiyalovchi uskunalarga ketadigan qo'shimcha xarajatlarni talab qiladi, shuning uchun kompensatsiya uskunolari quvvatini tanlashda ushbu omillarini hisobga olish kerak.

Reaktiv quvvatni kompensatsiyalash elektr ta'minoti samaradorligini oshirishning muhim (vositachi) omili hisoblanadi. U faqat quvvat isrofini kamaytiribgina qolmay, elektr energiya sifatini oshiradi va elektr tarmoqlari va elektr stansiyalar yuklanishini yengillashtiradi.

Shuni ko'rsatish lozimki, elektr tarmoqlarining kompensatsiyalovchi vositalar bilan ta'minlanishi 0,2 kVAr/kVtni tashkil qiladi. Hisoblar shuni ko'rsatadiki, iqtisod jihatdan maqsadga muvofiq qiymati 0,5 kVAr/kVt ni tashkil qilishi kerak.

Reaktiv quvvat manbalariga generatorlar, kompensatorlar, sinxron dvigatellar, kondensatorlar va boshqa statik rostlovchi manbalar kiradi. Reaktiv quvvat 110 kV va undan yuqori kuchlanishli EUL hisoblarida ta'sir ko'rsatadi.

Generator nominal quvvati

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (8.2.2)$$

tenglik bilan bog'langan aktiv $P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$ va $Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi$ reaktiv quvvatlar ishlab chiqaradi. Aktiv quvvatning ortishi reaktiv quvvatning kamayishiga yoki teskarisi kam iqtisodiyligiga, olib keladi. Lekin generatorlarni aktiv quvvat hisobiga reaktiv quvvat bilan yuklash tejimli emas, ayrim hollarda, qachonki sistemada ortiqcha reaktiv quvvat bo'lganda kam tejimli generatorlarni sinxron kompensator, faqat reaktiv quvvat iste'mol qilish ish tartibi holatiga o'tkaziladi.

Sinxron dvigatel (SD) bevosita iste'molchilarga yaqin o'rnatilgan. U faqat reaktiv quvvatni ishlab chiqarmasdan, iste'molchi qabul qilayotgan aktiv quvvatni ham ishlatadi. SD lar qimmat bo'lsa ham, ular KU lar bilan birga ishlatiladigan asinxron dvigatellardan arzon.

Sinxron kompensatorlar (SK) faqat iste'molchilarga kerak bo'ladigan reaktiv quvvatni ishlab chiqarish uchun maxsus o'rnatiladi. U o'zining ayilanishi uchun tarmoqdan kichik miqdorda aktiv quvvat iste'mol qiladi.

Generator, SD va SK zaruriyatga qarab reaktiv quvvatni ishlab chiqarishi («o'ta qo'zg'atilgan tartib) hamda tarmoqdan iste'mol qilishi (qo'zg'atishga yetmagan tartib) mumkin.

Kondensator batareyalari – parallel va ketma-ket ulangan kondensatorlar guruhidan iborat bo'lib, yetishmayotgan reaktiv quvvatni qoplashga xizmat qiladi.

Kondensatorlar parallel ulanganda undagi kuchlanish me'yoriy tartibda o'zgarmas bo'ladi. Bunda reaktiv quvvat:

$$Q_{kl} = U^2 \omega C \quad (8.2.3)$$

8.2.3-rasmdan ko'rinib turibdiki, quvvat sig'imga proporsional.

Ketma-ket ulanganda kondensator ishlab chiqargan reaktiv quvvatni tok orqali ifodalash qulay;

$$Q_{kl} = \frac{I^2}{(\omega C)} \quad (8.2.4)$$

Bu holda, quvvat sig'imga teskari proporsional.

Qisqa tutashuvda kuchlanish birdaniga oshib ketmaydi, bundan farqli tok keskin ko'tariladi.

Bunda, har bir kondensatordagi kuchlanish U oshadi va kondensatorlarni teshilishini oldini olish uchun bu kuchlanish ruxsatlangandan katta bo'lmasligi kerak. Shuning uchun, kondensatorlarni ketma-ket ulaganda, kondensator batareyalarning uchala fazasiga parallel ravishda razryadniklar ulanadi, ular kuchlanish oshganda teshiladi va uskunani saqlaydi. Lekin batareyaning tuzilishi va uni ishlatish ancha murakkablashadi.

Kondensator batareyalarning samaradorligi ma'lum darajada ular ulangan tarmoq yuklanishiga bog'liq bo'ladi. Asosan bu reaktiv quvvatni iqtisodiy ekvivalenti KE bilan aniqlanadi.

Kondensator batareyalari rostlanadigan (RBK) va rostlanmaydigan (NBK) bo'ladi.

Generatorlar, tarmoqlar va dvigatellar sistemaning asosiy elementlari, kompensator va kondensatorlar esa – reaktiv quvvat ishlab chiqarish uchun o'rnatilgan qo' shimcha manbalar hisoblanadi. Shuning uchun ularning o'zaro afzallik va kamchiliklarini baholash muhimdir.

Kondensatorlarning kompensatorlarga nisbatan afzalliklari:

1. arzonligi;
2. aktiv quvvat isrofining kamligi;

3. katta hamda kichik quvvatlarda ham ishlatish mumkinligi; kompensatorlarni faqat katta quvvatlarda ishlatish mumkin;

4. mustahkamligi va ishlatishda oddiyligi (harakatlanuvchi qismlarning yo'qligi)

5. kuchlanish egri chizig'i shaklining yaxshilanishi. Chunki yuqori garmonika toklari uchun kichik qarshilikka egaligi [$x_c = 1/\omega C$]

Kompensatorlarning afzalliklari:

- 1) Reaktiv quvvatni bir tekis rostlash imkoniyati.
- 2) Reaktiv quvvatni ishlab chiqarish hamda iste'mol qilish imkoniyatlari tufayli kuchlanishni rostlash imkoniga ega bo'lishi.

Nazorat savollari:

1. Reaktiv quvvat manbalarini aytib bering.
2. Iste'molchi yaqiniga joylashgan kompensatsiya qurilmasining quvvatini oshirsak liniyadagi va reaktiv quvvat isrofi va kuchlanishni yo'qotilishi qanday o'zgaradi?
3. Sinxron dvigatellar nima uchun reaktiv quvvat manbai hisoblanadi?
4. Sinxron generatorlar qaysi holatda sinxron kompensator tartibida ishlaydi?

8.3. Reaktiv quvvat balansi va uning buzilish oqibatlari

Elektr energiyani o'zgaruvchan tokda ishlab chiqarish va iste'mol qilishga vaqtning har bir daqiqasida ishlab chiqarayotgan va iste'mol qilinayotgan faqat aktiv quvvat tengligiga javob bermay, reaktiv quvvat tengligi ham bo'lishi kerak.

Aktiv va reaktiv quvvatlar balansi shartini quyidagicha yozish mumkin:

$$\sum P_r = \sum P_o = \sum P_n + \sum \Delta P \quad (8.3.1)$$

$$\sum Q_r = \sum Q_o = \sum Q_n + \sum \Delta Q \quad (8.3.2)$$

Bu yerda $\sum P_r$ va $\sum Q_r$ - stansiya ishlab chiqarayotgan aktiv va reaktiv quvvatlar (o'z ehtiyoji iste'molchilari hisobga olinmaydi); $\sum P_o$ va $\sum Q_o$ - jami iste'mol qilinayotgan aktiv va reaktiv quvvatlar; $\sum P_n$ va $\sum Q_n$ - iste'molchilarning aktiv va reaktiv quvvatlari; $\sum \Delta P$ va $\sum \Delta Q$ - tarmoqdagi aktiv va reaktiv quvvat isroflari yig'indilari.

Butun sistema bo'yicha reaktiv quvvat balansi kuchlanishning ma'lum darajasini aniqlaydi. Sistemaning tarmoq tugunlaridagi kuchlanish ma'lum darajada o'rtacha qiymatdan farq qiladi, bu farq tarmoq tuzilishi, yuklama va kuchlanish og'ishiga bog'liq bo'lgan boshqa omillar bilan aniqlanadi.

Butun sistema uchun, reaktiv quvvat balansi reaktiv quvvat manbalarining reaktiv quvvatga qo'yiladigan talablar bilan to'la-to'kis aniqlashi mumkin emas. Kerakli reaktiv quvvatni sistema bo'yicha hamda uning alohida rayonlaridan olish imkoniyatlarini ham baholash zarur.

Reaktiv quvvat balansining buzilishi tarmoqda kuchlanish miqdorlarining o'zgarishiga olib keladi. Reaktiv quvvat tanqisligida ($\sum Q_r < \sum Q_{\text{tr}}$) tarmoqda kuchlanish pasayadi. Agar ishlab chiqarilayotgan reaktiv quvvat (barcha vositalar bilan) iste'mol qilinayotgandan katta bo'lsa ($\sum Q_r > \sum Q_{\text{tr}}$), unda tarmoqda kuchlanish oshadi, (salt yurishi holatida tarmoqning sig'im toki uning oxiridagi kuchlanishning oshishiga olib keladi).

Aktiv quvvat tanqis bo'lgan energetika sistemasida kuchlanish miqdori odatda nominaldan past bo'ladi. Aktiv quvvat balansi bajarilishi uchun yetishmayotgan aktiv quvvat, quvvati ortiqcha bo'lgan qo'shni sistemalardan uzatilishi mumkin.

Odatda aktiv quvvat tanqis bo'lgan energetika sistemalarida, reaktiv quvvat ham tanqis bo'ladi. Lekin, yetishmayotgan reaktiv quvvatni qo'shni energetika sistemasidan olish emas, shu sistemasida o'rnatilgan kompensatsiyalovchi uskunalarda ishlab chiqarish foydali bo'ladi.

Nazorat savollari:

1. Reaktiv quvvat balansining buzilish oqibatlari nimalarga olib keladi?
2. Kuchlanishning o'zgarishiga reaktiv quvvat qanday ta'sir etadi?
3. Reaktiv quvvatning qaysi holatida liniyada kuchlanish oshib ketadi?

8.4. Sistemada aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishini me'yorlash

Sistema elementlarida quvvat turlicha taqsimlanishi orqali barcha iste'molchilarni yetarlicha aktiv va reaktiv quvvatlar bilan ta'minlash mumkin. Bunga bog'liq holda quvvat isrofi ko'p yoki kam bo'lishi mumkin. Masalan, shu nuqtai nazardan iste'molchilarni ko'p hollarda yaqin stansiyadan yaqin masofa bo'yicha energiya bilan ta'minlash maqsadga muvofiq.

Eng kam quvvat isrofi, ya'ni tarmoqda aktiv quvvatni me'yoriy taqsimlashni turli usullar bilan amalga oshirish mumkin. Masalan, sistema-ning alohida generatorlari o'rtasida aktiv quvvatni tegishli taqsimlab, bo'ylama rostdashni amalga oshiruvchi maxsus chiziqli rostdagichlarni qo'llab, tarmoq tuzilishini o'zgartirib (alohida elementlarni o'chirish yoki ulash) va boshqalar.

Quvvat isrofini kamaytirishni bu tadbirlari bir vaqtning o'zida boshqa omillarga ham ta'sir ko'rsatadi. Masalan, turbogeneratorlar o'rtasida quvvatni taqsimlash iste'mol qilinayotgan yoqilg'i narxini o'zgarishiga olib keladi, chunki bir xil generatorlar boshqalardan samarali, yoki o'sha generator yuqori yoki kam tejamli tartiblarda ishlashi mumkin.

Shunga o'xshab, suv generatorlar quvvatining o'zgarishi turli suv omborlarida suv sarfini qayta taqsimlanishiga olib keladi, bu esa suv resurslarining samaradorligini o'zgarishiga sabab bo'lishi mumkin. Chiziqli rostdagichlardan foydalanilganda bu rostdagichlarga sarf bo'ladigan kapital xarajatlar hisobga olinishi kerak.

Demak, sistemada aktiv quvvatni ratsional taqsimlash murakkab kompleks masala bo'lib, turli tomonlarni; quvvat isrofi, generatorlarni tejamli ishlashi va boshqalarni hisobga olish lozim.

Rejalashtirilayotgan tartiblar uchun aktiv quvvatni me'yoriy taqsimlash EHMda maxsus dasturlar asosida hisoblanadi. Hisoblangan me'yoriy tartibga asosan alohida stansiyalar uchun ular berayotgan aktiv quvvatning kunlik grafigi beriladi. Bu grafiklar maxsus avtomatik uskunalar yordamida ushlab turilishi mumkin. Alohida generatorlarning aktiv quvvatni me'yoriy taqsimlanishini rostdash, umumiy avtomatik boshqarish sistemasi yordamida bir-biri bilan bog'langan bo'lishi kerak.

Reaktiv quvvatni ratsional taqsimlash ham sistema elementlarida me'yorlashni talab qiladi. Reaktiv quvvatni uzoq masofalarga uzatish yoqilg'i sarfini oshiradi, tarmoqning o'tkazish qobiliyatini va uskunalarining ishlash vaqtini kamaytiradi, ya'ni butun sistema ishining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini yomonlashtiradi. Bir vaqtning o'zida bu kuchlanishning katta qiymatga og'ishiga sabab bo'ladi, bu esa – statik turg'unlik sharti bo'yicha quvvat uzatish imkoniyatlarini (chegaralarini) kamaytiradi, demak energetika sistemaning ishonchli ishlashi kamayadi.

(8.2.1) dan ko'rinib turibdiki, reaktiv quvvat manbalarini iste'molchilarga yaqin o'rnatish aktiv va reaktiv quvvatlar isrofini kamaytiradi, va demak energetika sistemaning umumiy ish tartibini yaxshilaydi.

Aytilganidek, aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishini yaxshilash va shu asosida quvvat isrofini kamaytirish, tarmoqning alohida elementlarini (masalan, transformatorlarni) ulash va o'chirish orqali ham amalga oshirish mumkin. Transformatorlarda quvvat isrofi ikki tarkibga ega: yuklamaga bog'liq qisqa tutashuv isrofi va yuklamaga bog'liq bo'lmagan salt yurishdagi quvvat isrofi. Katta quvvat iste'mol qilinayotgan davrda ko'p sonli transformatorlarni ulash maqsadga muvofiq. Bunda, misdagi isrofn kamayishi po'latdagi isrofn ko'payishidan ortiq bo'ladi. Buning teskarisi kam yuklanish soatlarida, transformatorlarning bir qismini o'chirish maqsadga muvofiq.

Lekin, podstantsiyaning ish tartibi o'zgarganda transformatorlarni o'chirib-yoqish ma'lum qiyinchiliklarga ega bo'ladi, chunki har bir transformatorga yuklamali o'chirgich o'rnatishni talab qiladi. Agar uni o'rnatish, quvvat isrofini tejash bilan oqlansa, maqsadga muvofiq bo'ladi.

Nazorat savollari:

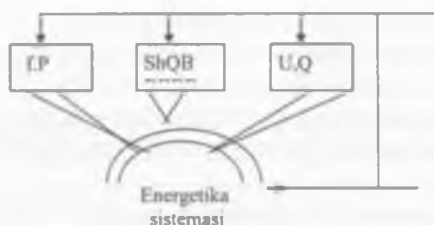
1. Sistemada aktiv va reaktiv quvvatlarni me'yorlash qanday amalga oshiriladi?
2. Transformatorlarda quvvat isrofi qanday kamaytiriladi?
3. Iste'molchilarga yaqin o'rnatilgan reaktiv quvvat manbalari elektr sistemasi ish tartibini qanday yaxshilaydi?

8.5. Tartibni boshqaruv sistemasining tarkibi

Energetika sistemasining ishlash prinsipi faqat bir necha universal qoidalar bilan mumkin bo'lgan uzluksiz boshqaruvni talab qiladi.

Dekompozitsiya prinsipi (qoidasi). Bunda, eng katta masala shunday tarkibiy qismlarga bo'linadiki, unda qismlarning yechimlarini yig'indisi umumiy yechimga olib kelsin. Dekompozitsiya ikki xilga bo'linadi: masala turi bo'yicha va hududiy. Masala turi bo'yicha dekompozitsiyada turli tartib tarkiblarini alohida boshqarishga olib kelinadi, masalan, me'yoriy holatda chastota f va aktiv quvvat (P)ni; kuchlanish U va reaktiv quvvat Q ni alohida boshqarish sistemasini yaratish. Bundan tashqari shikastlanishga qarshi boshqarish sistemasi (ShQB) qo'llaniladi. Bu uchta boshqarish sistemalari birgalikda barcha tartib tarkiblarini umumiy boshqarishni amalga oshiradi.

8.5.1-rasmdan ko'rinadiki, axborot energetika sistemasidan uchta boshqarish sistemasiga beriladi.



8.5.1-rasm. Tartiblarni boshqaruv sistemasi.

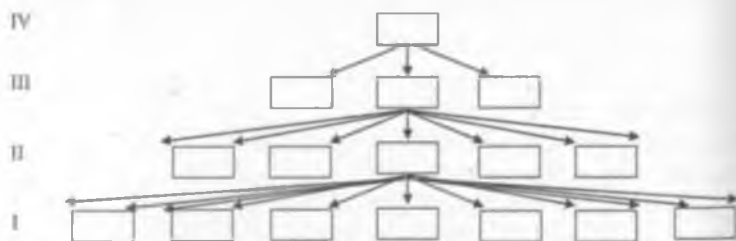
Hududiy dekompozitsiyada energetika sistemasining hududi regionlarga, ya'ni chegaralangan qismlarga bo'linadi. Masalan, f va P ni boshqarish, taxminan 10 ta katta quvvatli elektrostansiyalarga ega bo'lgan hududda amalga oshiradi, buning uchun bir necha energetika sistemalarini birlashtirishga to'g'ri keladi.

Kuchlanish va reaktiv quvvat bilan boshqarishni alohida energetik sistemalar amalga oshiradi.

Iyerarxiyalı tuzilish. Dekompozitsiya prinsipidan tashqari boshqarish sistemasi yaratilayotganda avtomatik qurilmalar va ularning bog'lanishini iyerarxiyalı asosida qo'llaniladi.

Qurilmaning bunday tuzilishi yordamida hududiy boshqarish sistemalari ishini ularning chegaralarida aniqlangan tartib parametrlari asosida muvofiqlashtirish amalga oshiriladi. 8.5.2-rasmdan ko'rinadiki II-iyerarxiyalı darajadagi har bir avtomat I-darajadagi bir necha avtomatlar ishini, III-darajadagi har bir avtomat - II-darajadagi avtomatlar ishini, IV-darajadagi avtomatlar-III-darajadagi avtomatlar ishini muvofiqlashtiradi.

Darajalar



8.5.2-rasm. Iyerarxiyalı boshqarishning tuzilishi.

I-past iyerarxiyalı darajada, energetika uskunolari (turbina, generator, transformatorlar) elementlarining ajralmas qismi bo'lgan avtomatlar

tik boshqarish qurilmalari qo'llaniladi. Bu qurilmalar ishini energetika obyektlari (masalan, elektrostansiyalar) doirasida muvofiqlashtirish II-iyerarxiyalı daraja qurilmalari yordamida amalga oshiriladi, energosistema yoki energobirlashma doirasida esa III-daraja qurilmalari yordamida va hokazo.

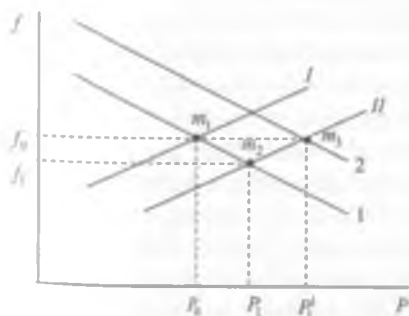
Avtomatik boshqaruvni iyerarxiyalı tuzish ishonchli sistemalarni yaratadi I-darajadagi sistemaning ishonchliligi, odatda boshqarilayotgan uskunalarining ishonchliligidan kam emas. O'ta yuqori iyerorxiyalı darajadagi elementlar ishdan chiqqanda, tartib vaqtincha me'yoriydan chetga chiqadi (og'adi), lekin ishda qolgan qurilmalarning ta'sirida texnik-ruxsat etilgan oraliqda saqlanadi.

Nazorat savollari:

1. Energetika sistemasi ish tartibi nima uchun doim boshqarilishi kerak?
2. Dekompozitsiya prinsipida sistemaning ish tartibini boshqarish nimadan iborat?
3. Iyerarxiyalı tuzilish nimadan iborat?

8.6. Chastota va aktiv quvvatni boshqarish

Chastota boshqaruvining birlamchi qurilmasi turbinaning aylanish chastotasini rostlagichi hisoblanadi. Rostlagichni o'lchov organi (qismi) aylanish chastotasini nazorat qiladi va u o'zgarganda uning bajaruvchi organi harakatlanib ish g'ildiragiga kelayotgan energiya tarqatuvchini o'zgarishiga ta'sir etib, bug' turbinasining rostlanadigan klapanlariga va suv turbinaning yo'naltiruvchi apparatlariga ta'sir qiladi.



8.6.1-rasm. Turbinani aylanish chastotasini rostlagichi va yuklamani turg'unlik xarakteristikaları.

omillarni (tejamkorlik, mohirona ishlash va boshqalar) hisobga olish talab etiladi. Bunday boshqarish model bilan boshqarish deyiladi.

Ayirboshlash quvvatining berilayotgan qiymati $P_{ayr.ber}$ boshqaruvni IV. yuqori iyerarxiyalı darajasidan kelishi mumkin.

Nazorat savollari:

1. Sistema chastotasini o'zgartirish mumkinmi? Amaliyotda bu qanday bajariladi?

2. Turbinaning quvvati qanday beriladi?

3. Ayirboshlash quvvati deb nimaga aytiladi? Uni o'zgartirishga ta'sir ko'rsatishga iyerarxiya darajasini qaysi boshqaruvida amalga oshiriladi?

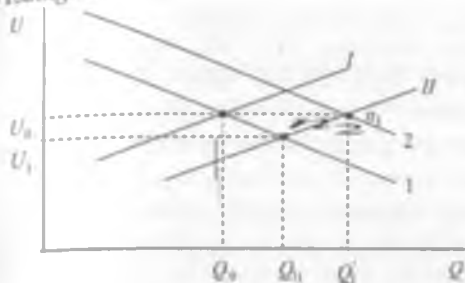
4. Uzatilayotgan quvvat chegarasida boshqarish sistemasi qanday harakatga keladi?

8.7. Kuchlanish va reaktiv quvvatni boshqarish

Chastotadan farqli bo'lgan sistemaning turli nuqtalarida kuchlanish har xil va uzatiladigan quvvat R va Q qarshiliklar R va X ga bog'liq. Ko'ri layogan tarmoq uchun qiymat $X \gg R$. Uzoq masofaga reaktiv quvvat Q uzatilganda ifodani QX tarkibi kattalashadi. Ushbu holatda kuchlanish yo'qotilishi kattalashadi va ayrim hollarda kuchlanish ruxsat etilmagan me'yordan ham pasayadi. Statik muvozanat sharti bo'yicha kuchlanishning katta og'ishi mumkin emas. Ular quvvat isrofini oshishiga va elektr energiyadan samarasiz foydalanishga olib keladi. Shuning uchun kuchlanishni bir me'yorda ushlab turishga qat'iy talablar, uni avtomatik rostdash zarurligini keltirib chiqaradi. Elektr tarmog'ining chegaralangan hududlaridagi kuchlanish, ta'minlash tarmog'ining ma'lum tugunlarida rostdash bilan ushlab turiladi va bu tugunlar nazorat nuqtalari deb ataladi.

Kuchlanishni avtomatik rostdash. Kuchlanish boshqarilishining birlamchi qurilmasi, sinxron mashinalarning qo'zg'atishini tez harakatlantiruvchi avtomatik rostdagichdir (AQR). Ushbu rostdagichning o'lchash organi mashina tugunida kuchlanishni berilgan qiymatdan og'ishini nazorat qiladi, o'tish jarayonlariga, ko'p hollarda esa boshqa parametrlar tartibini o'zgarish tezligi, tezlanishiga munosabatni bildiradi. Kuchlanishni og'ishi, EYuKga, demak ishlab chiqarilayotgan reaktiv quvvatga, ta'sir qiluvchi qo'zg'atish tokini o'zgartirish bilan kompensatsiyalanadi. 8.7.1-rasmda I va II yuklamalarning statik xarakteristikaları va zarur bo'lgan

AQRni rostdash xarakteristikallari 1 va 2, 4% atrofida statizm bilan ko'rsatilgan.



8.7.1-rasm. Rostlagich va yuklamani statik xarakteristikallari.

8.7.1-rasmdan (1-chiziq) ko'rinib turibdiki, iste'mol qilinayotgan reaktiv quvvat oshganda kuchlanish pasayadi. Kuchlanish bo'yicha tartib U_0 kuchlanishga to'g'ri keladigan, ishlab chiqarilayotgan va iste'mol qilinadigan reaktiv quvvat teng bo'lgandagi xarakteristikalar kesishish n_1 nuqtasida o'rnatiladi. Reaktiv quvvatning Q_1 qiymatga oshishida kuchlanish U_1 qiymatga pasayadi (n_2 nuqta). Elektrostansiyaning bosh shinasidagi kuchlanish shu qadar pasayishi mumkinki, AQR o'rnatmasi shunday o'zgartiriladiki, bunda uning xarakteristikasi 2-ko'rsatilgan liniyaga surilsin. Unda xarakteristikalar kesishuvi, Q quvvatga va ruxsat etilgan oraliqdagi ma'qul kuchlanish U_0 ga to'g'ri keladigan n_3 nuqtaga suriladi. O'rnatmani o'zgartirib parallel ishlayotgan sinxron mashinalar orasida, kuchlanishni ruxsat etilgan oraliqda saqlab, reaktiv quvvatni qayta taqsimlash mumkin. Shunday qilib, reaktiv quvvat balansi ishlab chiqarilayotgan va iste'mol qilinayotgan quvvatlar tengligini bajarilishidan iborat:

$$Q_G = Q_{\text{st}} \quad (8.7.1)$$

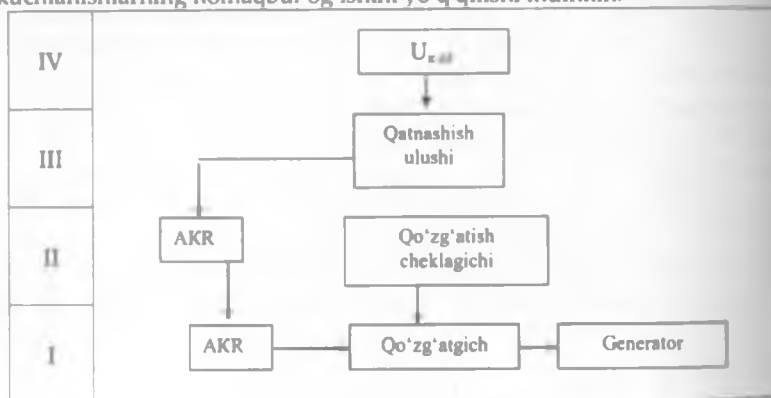
Bunda, tarmoqning nazorat nuqtalarida talab qilingan kuchlanish $\Delta U_{\text{naz}} = 0$ saqlab turiladi.

Kuchlanish va reaktiv quvvat tartibining ikkilamchi boshqarish sistemasi. AQR qurilmasiga (o'rnatmaga) yo xodim, yoki barcha elektrostansiya generatorlari AQR ishini muvofiqlashtiruvchi sekin harakatlantiriladigan ikkilamchi kuchlanish rostlagichi AQR ta'sir etishi mumkin. Stansiyaning bosh shinasidagi kuchlanishning berilgan qiymatidan og'ishi ikkilamchi rostlagich yordamida bartaraf qilinadi. Ammo qo'zg'atish

avtomatik o'zgarganda, ortiq yuklanishda ham qo'zg'atish o'ta kamayganda ham, generatorlar qizib ketishi mumkin. Ikkinchi holatda, generatorlar sinxronizmdan chiqib ketishi mumkin. Shuning uchun generatorlar ruxsat etilmagan tartiblarga o'tib ketmasligi uchun, xodim ularni chegaraviy qiymatlardan ancha uzoqda ushlab turadi, bu esa - generatorlar reaktiv quvvatidan 25% gacha foydalanmaslikka olib keladi. Bunday hodisalar bo'lmasligi uchun qo'zg'atishni avtomatik cheklagichlari qo'llaniladi.

Shunday qilib, ikkilamchi boshqarish sistema qurilmalari: ikkilamchi kuchlanish rostlagichi, qo'zg'atishni yuqori va pastgi oraliqlarini cheklagichlari va generatorlar orasida reaktiv quvvat taqsimlanishini boshqaruvchi uskunalar majmuidir.

Markaziy boshqaruv har qaysi energetika sistemasida elektrostansiya ikkilamchi kuchlanish rostlagichlari ishini dekompozitsiya usuli bo'yicha ayrim muvofiqlashtirilib amalga oshirilishi mumkin. Bunday boshqaruv, tarmoqdagi quvvat isrofini kamaytirish maqsadida, nazorat nuqtalaridagi kuchlanishlarning nomaqbul og'ishini yo'q qilishi mumkin.



8.7.2-rasm. Kuchlanish va reaktiv quvvatni boshqarishning iyerarxik tuzilishi.

Ichki sistema tarmoqlarida quvvat isrofini kamaytirish uchun reaktiv quvvat ishlab chiqaruvchi manbalarning kuchlanishni rostlashdagi ulishi aniqlanadi. Bunday masalani yechishda elektr tarmog'ining matematik

modullari qo'llaniladi, u yordamida tartibni me'yorlash operatsiyasi amalga oshiriladi.

Boshqaruv uchun yana kichik - EHM ni ham ishlatish mumkin

Kichik - EHM signallari elektrostansiyalar ikkilamchi rostlagichlarining o'rnatmasini (berilgan kuchlanish) o'zgartiradi. Telekanal ishdan chiqqanda ikkilamchi kuchlanish rostlagichi AQR elektrostansitsiyaning bosh shinasida kuchlanishni berilgan qiymat U_{kber} darajasida ushlab turadi.

Taqsimlovchi tarmoqlarda ta'minlash markazi shinalaridagi kuchlanishni nominal qiymatda ushlab turish, mahalliy rostlash asosida amalga oshiriladi. Bunday rostlash transformatorni transformatsiyalash koeffitsiyentiga ($YuOR$) ta'sir qilib amalga oshiriladi.

Mahalliy rostlagichning o'lchash organida solishtiriladi;

Mahalliy rostlagichni o'lchash organidagi o'rnatilgan kuchlanish U_Y , shinadagi kuchlanish U_{sh} va transformator yoki podstansiya yuklamasi I ga proporsional tarkibi bilan taqqoslanadi ya'ni

$$U_{sh} \cdot kI = U_Y$$

Bu yerda U_{sh} - shinadagi kuchlanish;

U_Y - qurilma kuchlanishi;

k - qarshilik birligidagi o'zgarmas koeffitsiyent.

Ifodadan ko'rinib turibdiki, yuklama tokining oshishi $U_{sh} \cdot kI$ qiymatni kamayishiga olib keladi. Bu qiymatni o'zgarmas saqlash uchun U_{sh} ga ($YuOR$ li transformator orqali) ta'sir qilish kerak. Manba markazi shinasida U_{sh} ni yuklama o'sishi bilan oshishi kuchlanishni qarama-qarshi rostlanish deb ataladi. Mahalliy rostlagichlar yordamida taqsimlovchi tarmoq uchastkasidan oqayotgan reaktiv quvvat miqdoriga qarab ishlaydigan sig'imli batareyalar tartibi ham (seksiyalar sonini) o'zgartirib boshqariladi.

Nazorat savollari:

- 1 Sinxron mashinalar avtomatik qo'zg'atish rostlagichlarini vazifasi nimadan iborat?
- 2 Xarakteristikalarini kesishish nuqtasi n_1 va n_2 ga qanday o'tiladi?
- 3 Taqsimlovchi tarmoqlarda mahalliy boshqarish qanday bo'ladi?
- 4 Elektr stansiyalarda kuchlanish qanday rostlanadi?

8.8. Reaktiv quvvat kompensatsiyasi

Aktiv quvvatni, elektr tarmoqlari asosiy aktiv quvvat manbai – elektr stansiya generatorlaridan oladi. Aktiv quvvatdan farqli reaktiv quvvat generatorlardan tashqari elektr tarmoqlari podstansiyalariga oʻrnatish mumkin boʻlgan kompensatsiya qurilmalari – kondensatorlar, sinxron kompensatorlar yoki reaktiv quvvatni statik manbalari yordamida uzatish mumkin. Nominal yuklamada generator kerakli reaktiv quvvatni 60% ni 110 kVdan yuqori kuchlanishli elektr uzatuv liniyalari 20% ni podstansiya yoki isteʼmolchilar yoniga oʻrnatilgan kompensatsiya qurilmalari 20%ni ishlab chiqaradi va ular yordamida uzatiladi.

Elektr sistemalarida reaktiv quvvatni kompensatsiyalash quyidagi sabablarga asosan katta ahamiyatga ega.

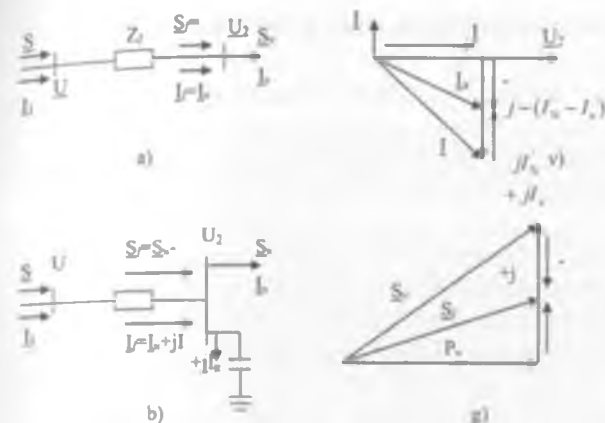
1. Sanoat ishlab chiqarishida aktiv quvvat isteʼmoliga nisbatan reaktiv quvvat isteʼmoli oshib bormoqda.

2. Shahar elektr tarmoqlarida maishiy yuklamalarni oshishi bilan reaktiv quvvat isteʼmolini koʻpayishi.

3. Qishloq elektr tarmoqlarida reaktiv quvvat isteʼmolini oshishi.

Reaktiv quvvat muvozanati shartiga asosan reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish zarur. Tarmoqda elektr energiya sarfini kamaytirish uchun kompensatsiya qurilmalari oʻrnatiladi. Kuchlanishni rostlash uchun kompensatsiya qurilmalari ishlatiladi.

Liniya va transformatorlar orqali reaktiv quvvat oqimini kamaytirish uchun reaktiv quvvat manbalarini uni isteʼmoliga yaqin joylashtirish kerak. Bunda uzatayotgan tarmoq elementlari reaktiv quvvatdan yengillanib, aktiv quvvat isrofi, kuchlanishni pasayishi kamayadi. Kompensatsiya qurilmasi oʻrnatilgandan soʻng boʻladigan jarayonlar 8.8.1-rasmda koʻrsatilgan.



8.8.1-rasm. Kompensatsiya qurilmasini samaradorligi

a), b) tok va quvvat oqimini kompensatsiyagacha va undan keyingi holati; v) tokning vektor diagrammasi; g) quvvatning vektor diagrammasi

Kompensatsiya qurilmasi qoʻllanilmasda liniyada tok va quvvat (8.8.1a-rasm) oqadi.

$$I_N = I'_N - jI_N, \quad S = P_N + jQ_N \quad (8.8.1)$$

Kompensatsiya qurilmasi oʻrnatilgandan soʻng liniyadagi reaktiv tok va reaktiv quvvat kompensatsiya qurilmasi uzatayotgan reaktiv tok I_N va reaktiv quvvat Q_N ga kamayadi. Liniyadagi modul jihatdan kichik reaktiv tok va reaktiv quvvat (8.9.1 b-rasm) oqadi.

$$I_N = I'_N - j(I'_N - I_N), \quad S = P_N + j(Q_N - Q_N) \quad (8.8.2)$$

Shunday qilib, oʻzgaras yuklamada kompensatsiya qurilmasini podstansiyada ishlatish, liniyadagi reaktiv tok va quvvat kamayadi – liniya reaktiv quvvatdan yengillashadi. Liniyada quvvat isrofi va kuchlanishni pasayishi kamayadi, chunki

$$\Delta P_i = \frac{P_N^2 + (Q_N - Q_N)^2}{U_p^2} R_i; \quad \Delta U_i = \frac{P_N^2 + (Q_N - Q_N)^2 x_i}{U_{nom}} \quad (8.8.3)$$

Nazorat savollari:

1. Elektr sistemasida reaktiv quvvat nima uchun kompensatsiya qilinadi?
2. Kompensatsiya qurilmasi oʻrnatilgandan soʻng reaktiv quvvat ifodasi qanday oʻzgaradi?
3. Reaktiv quvvat kompensatsiyasi kuchlanish yoʻqotilishga qanday taʼsir etadi?

IX. Elektr energiya sifati va uni ta'minlash

Iste'molchilar elektrenergiyasining ma'lum belgilangan sifatida, ya'ni kuchlanish, chastota, kuchlanish nosimmetriyasi va kuchlanish egri chizig'i shaklini nosi-nusoidalligi me'yorlangan qiymatlarida samarali ishlashi mumkin. Ular elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari hisoblanadi.

Ko'rsatilgan qiymatlarni nominaldan og'ishi texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlarni yomonlashuviga va natijada ma'lum ziyonga (buni ko'p misollarda: cho'g'lanma lampalar, elektr motarlar, elektr stansiyasi generatorlarni parallel ishlari va h.k ko'rish mumkin) olib keladi

Bu ziyonning minimumi normal kuchlanishga to'g'ri keladi. Shuning uchun elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari me'ylanadi. Masalan, iste'molchilardagi kuchlanish nominal qiymatdan og'ishi, GOST-13±09 ga ko'ra % da quyidagi oraliqda bo'lishi kerak:

- elektr motor tugunlarida ±5% (ma'lum joylarda (10%);
- sanoat korxonalarining ish o'rinlarini yoritish qurilmalari qisqichlarida (+5%)-(-2.5%);
- turar joy binolarida (ichki va tashqi yoritish) ±5%;
- shikastlangandan keyingi holatda -10%;
- qishloq tarmog'idan yoki elektr transport tarmog'idan ta'minlanadigan elektr uskunalar qisqichlarida ±7,5%.

Ko'rinib turibdiki, avariya tartiblarida katta og'ishga ruxsat etiladi, chunki bu tartiblar qisqa vaqtlidir.

9.1. Elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlari

Elektr energiyani sifat - elektr tarmoqlarda kuchlanish va chastota uning me'yoriy qiymatlariga to'g'ri kelishidir. Ko'pincha barcha elektr iste'molchilari texnik va iqtisodiy nuqtai nazardan me'yoriy parametrlarda (f_n , U_n , I_n) ishlashi maqsadga muvofiqdir. Elektr energiyaning sifat muammosi birinchi bosqichda tarmoq chastota va kuchlanish darajasini me'yoriy qiymatlarga yaqin ushlab turish. Oxirgi yillarda juda ko'p an'anaviy bo'lmagan iste'molchilar (prokat stanlari, yoyli po'lat eritish pechlari, to'g'rilagich qurilmalari, elektrlashtirilgan transport, elektroliz) yuklamalarini tez o'zgarishi yoki ularni fazolar bo'yicha bir xil taqsimlanmaganligi va nosinusoidal tok va kuchlanishlar paydo bo'ldi. Bu yangi turdagi iste'molchilar elektr energiyani sifatini buzilishiga olib keladi.

Hozirgi vaqtda umumiy belgilangan 50 Hzli uch va bir fazali o'zgaruvchan tokli, qisqichlariga elektr qabul qiluvchilar yoki iste'molchilar ulangan elektr tarmoqlari uchun sifat ko'rsatkichlari GOST 13907-97 ga amal qiladi.

Elektr energiyani sifat ko'rsatkichlari ikki guruhga bo'linadi: asosiy ESK va qo'shimcha ESK. Asosiy ESK, elektr energiya xususiyatini tavsiflaydigan uning sifatini aniqlaydi.

Asosiy ESK ga tegishli o'rnatilgan ruxsatlangan qiymatlarga: kuchlanishni og'ishi, kuchlanishni o'zgarish kengligi, kuchlanishni tebranishi, kuchlanish egri chizig'ini nosinusoidallik ko'effitsiyenti, v-garmonika tashkil etuvchisi, kuchlanishni teskari ketma-ketligi ko'effitsiyenti, kuchlanishni nol ketma-ketligi, chastotani og'ishi. Qo'shimcha ESK, boshqa me'yoriy-texnik hujjatlarda ishlatiladigan yozilish shaklidagi ko'rsatkichdir.

Barcha energetika sistemalari uchun bir xil bo'lgan, chastotani qiymati ko'rilayotgan vaqtda generatorni aylanish chastotasi bilan aniqlanadi. Me'yoriy o'rnatilgan tartibda barcha generatorlar sinxron chastotaga ega. Shuning uchun chastotani og'ishi – umumsistema sifat ko'rsatkichlaridir. Normal holatda chastotani me'yoriy qiymatda $\pm 0,1$ Hzga o'zgarishiga ruxsat etiladi. Chastota qisqa vaqt ichida $\pm 0,2$ Hz ga o'zgarishi mumkin.

Chastota tebranishi – bu chastotani o'zgarish tezligi sekunddagi 0,2 Hz dan kichik bo'lmaganda, tartib parametrlarini tez o'zgarishda asosiy chastotaning eng yuqori va eng kichik qiymatlari orasidagi farq hisoblanadi.

Chastotani tebranishi, og'ishiga ruxsatlangan $\pm 0,1$ Hz dan tashqari, $\pm 0,2$ Hz dan oshishi mumkin emas.

$$\delta f = f_{\text{max}} - f_{\text{min}}; \quad \delta f\% = \frac{f_{\text{max}} - f_{\text{min}}}{f_{\text{nom}}} \cdot 100\%$$

Kuchlanish tarmoqning har xil nuqtasida turli qiymatlarga ega bo'ladi. Shuning uchun kuchlanishni sifat ko'rsatkichi, muayyan joyga xos, ya'ni elektr tarmog'ini turli nuqtalarida har xil qiymatga ega bo'ladi.

Elektr tarmog'ini haqiqiy tartibini kuchlanishi me'yoriy qiymatdan farq qiladi. Ushbu farq bir qator ESK kuchlanishini og'ishi, kuchlanishni o'zgarish kengligi, kuchlanishni tebranishi bilan tavsiflanadi.

Kuchlanishni og'ishi – bu ish tartibini o'zgartirishida kuchlanishning haqiqiy qiymatini uning nominal qiymatidan farqiga aytiladi.

$$\Delta U' = U - U_N \text{ эки} \quad \Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \cdot 100\%$$

Kuchlanishni tebranishi δU – bu ish tartibi yetarlicha tez o'rganganda, ya'ni kuchlanish o'zgarish tezligi sekundiga 1% dan kam bo'lmaganda, kuchlanishning ta'sir etuvchi eng katta va eng kichik qiymatlari o'rtasidagi farqqa aylandi.

$$\delta U\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{os}}} \cdot 100\%$$

Tarmoqni nosinusoidallik kuchlanish egri chiziqligi nosinusoidallik koeffitsiyenti bilan tavsiflanadi va quyidagidan aniqlanadi.

$$K_{\text{nos}} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_1} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_{\text{os}}} \cdot 100\%$$

Bu yerda U_v - v - nchi garmonikali kuchlanishni ta'sir qiluvchi qiymati

U_1 – birinchi asosiy garmonikaning ta'sir qiluvchi qiymati

U_v - v - kuchlanishni garmonik tashkil etuvchisini tartibi

n – kuchlanishni hisobga olinayotgan garmonikalarni oxirgi tartibi.

Nosinusoidallik koeffitsiyenti har qanday iste'molchilar uchun 5% dan oshmasligi kerak.

Kuchlanish nosimmetriyaligi - fazaviy yoki liniyalı kuchlanishlarning amplitudasi yoki fazaviy burchak siljishlarining o'zaro teng bo'lmasiligi tushuniladi.

Kuchlanishni teskari ketma-ketlik koeffitsiyenti – bu sifat ko'rsatkichi, kuchlanish nosimmetriyasini % aniqlaydi.

$$K_{\text{kt}} = \frac{U_2}{U_{\text{os}}} \cdot 100\%$$

Bu yerda U_2 – asosiy chastotada uch fazali kuchlanish sistemasi kuchlanishining teskari ketma-ketligining haqiqiy qiymati, V, kV.

Bu koeffitsiyentning ruxsat etilgan qiymati 2% dan oshmasligi kerak.

Elektr energiya sifat ko'rsatkichlarining me'yoridan o'zgarishi elektr ta'minoti sistemasida elektr energiya qo'shimcha isrofiga, elektr qurilmalarining ishonchli ishlash darajasini pasayishiga, texnologiya jarayonlarining buzilishi va mahsulot ishlab chiqarishning kamayishiga olib keladi.

Nazorat savollari:

1. Elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlari nimalardan iborat?
2. Chastotani tebranish sabablari qanday?
3. Kuchlanish og'ish va tebranish nima bilan farq qiladi?
4. Kuchlanish nosimmetriyasi deganda nimani tushunasiz?
5. Nosinusoidallik koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?

9.2. Aktiv va reaktiv quvvat muvozanati va elektr sistemalarda kuchlanishni rostlash holati. Kuchlanishni rostlash usullari

Elektr tarmoqlari va sistemalarini har qanday tartibda manba va iste'molchilar orasida quvvat muvozanati har bir vaqt ichida elektr energiya manbalarida ishlab chiqarilayotgan quvvat to'liqligicha elektr qabul qiluvchilarda iste'mol qilinishi kerak. Elektr energiya manbalari – elektr stansiyalar (aktiv va reaktiv quvvat uzatuvchi) va statik kompensatorlar (reaktiv quvvat uzatuvchi). Elektr qabul qiluvchilar EQ –elektr yuklamalari (elektr tarmoqlari va sistemalari elementlaridagi quvvat isrofini o'z ichiga olgan holda elektr stansiya va podstansiyalari xususiy ehtiyoj iste'molchilari).

Manba kompleksda uzatilayotgan aktiv quvvat o'zgarishida – elektr qabul qiluvchilarda asosan sistemani chastotasi, kichik qiymatga kuchlanishni o'zgartiradi. Teskarisiga esa, uzatilayotgan reaktiv quvvat o'zgarishda kuchlanish o'zgarib, bir oz sistema chastotasi o'zgaradi.

Keltirilgan analizdan – kuchlanishni rostlash uchun reaktiv quvvat chastotani rostlash uchun esa sistemani aktiv quvvatini o'zgartirish kerak. Reaktiv quvvat o'zgaruvchi sistema tugunidagi kuchlanishni rostlash uchun, kerakli nuqtalardagi kuchlanishni rostlash zarur. Chastotani rostlashda energiya mabasi quvvatini shunday o'zgartirish kerakki, chastotani rostlash bilan elektr energiya isrofini kichik qiymatini ta'minlamoq kerak.

Liniya simlari, elektr mashina chulg'amlari, elektr magnit apparatlarini qizdirishga ketadigan sarf, to'liq tokning aktiv va reaktiv quvvatda tashkil etuvchilari bilan aniqlanadi. Quvvatni ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlashda aktiv quvvatdan elektr energiya isrofi yuzaga keladi. Tarmoqdagi quvvat muvozanati quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\sum P_N = \sum P_I + \sum P_{\pi} + \sum \Delta P_D + \sum \Delta P_L + \sum P_M$$

Bu yerda P_N - iste'molchilar qabul qiladigan aktiv quvvat

P_{π} - elektr stansiya va podstansiyalarning xususiy ehtiyoji aktiv quvvati

ΔP_D - elektr magnit apparatlaridagi aktiv quvvat isrofi

ΔP_L - havo va kabel liniyalaridagi aktiv quvvat isrofi

P_M - kuchlanishni rostlovchi qurilmalar (kuch qismi) boshqaruv tartibidagi aktiv quvvat isrofi

Energetika sistemalarida reaktiv quvvat manbalari elektr stansiyalarning sinxron generatorlari, SK, o'ta qo'zg'atilgan sinxron motorlar, KB

va liniyaning reaktiv o'tkazuvchanlik quvvatlari. SK eng katta reaktiv quvvati, uning nominal quvvat manbalari (Q_{nsk})ga teng. Reaktiv quvvat uzatayotgan sinxron motorlarning reaktiv quvvati, uning ishlash tartibiga bog'liq bo'ladi. Kondensator va liniyaning reaktiv quvvati quyidagicha aniqlanadi.

$$Q_{kq} = b_k \cdot u^2; Q_{\Sigma q} = b_{\Sigma} \cdot u^2$$

Bu yerda b_k , b_{Σ} – KB va liniyaning sig'im o'tkazuvchanligi

Elektr tarmoqlari va sistemalarida iste'mol qilinayotgan reaktiv quvvat – iste'molchilar Q_u , elektr stansiyalar va podstansiyalarni xususiy ehtiyoji $Q_{\Sigma u}$, elektro magnit apparatlarni magnitlash va yoyishda $Q_{\Sigma e}$, liniyaning reaktiv qarshiligi ΔQ_l reaktiv quvvatlardan yig'ilgan bo'ladi.

$$\Sigma Q_g + \Sigma Q_{\Sigma u} + \Sigma Q_e + \Sigma Q_{\Sigma} + \Sigma \Delta Q_l = \Sigma Q_{\Sigma} + \Sigma Q_{\Sigma u} + \Sigma \Delta Q_{\Sigma}$$

Muvozanat buzilishining sabablari – generatorning shikastlangandan uzilishi, to'satdan iste'mol qilinayotgan quvvatni oshishi, liniya yoki transformatori shikastlangandan uzilishi.

Har qanday tartibda ham kerakli yuklama o'sishini qoplash uchun ma'lum miqdorda quvvat zaxirasi bo'lishi kerak. Energetika sistemasida zarur zaxira quvvati, yuklama, tuzatish, shikastlanish va xalq xo'jaligini yig'indisidan iborat.

Yuklamali zaxira to'satdan o'zgaradigan va kutilmaganda yuklamani doimiy muvozanatdagi katta qiymatdan oshishini qoplash uchun xizmat qiladi. Tuzatish zaxirasi elektr stansiyalar uskunalarini zaruriy rejali – oldini oluvchi (doimiy va butunlay) sozlashni ta'minlashi zarur. Buzilishda zaxira shikastlanishi sababli ishdan chiqqan mexanizmlarni almashtirishga kerak bo'ladi. Xalq xo'jaligini zaxirasi elektr iste'molida rejalangan me'yordan mumkin bo'lgan oshishini qoplashga xizmat qiladi.

Amaliyotda zaxira uchun eng katta agregatning quvvatdan kam bo'lmagan quvvat yoki sistemadagi elektr stansiyasini ayrim liniya orqali berayotgan eng katta quvvati olinadi. Aktiv va reaktiv quvvatlar zaxirasi tezkorligi bilan tez ishga tushishi kerak. Bunday zaxira faqat ishga tushirishga ulangan jihozlarda (turbo, suv agregatlari, qozonlar) ta'minlanishi mumkin.

Zaxira quvvatining tezkorligi ko'pincha sistemada chastotani rostlash va birlamchi motorlarni aylanishi bilan (aktiv quvvat zaxirasi) va yana agregat qo'zg'atuvchisini sistemali rostlash (reaktiv quvvat zaxirasi) bilan aniqlanadi. Chastota va kuchlanishni o'zaro bog'liqligi ya'ni bir vaqtda sistemali rostlash ikkala ko'rinishli zaxirani tezkorligini ko'rsatib beradi.

Tarmoq kuchlanishi yuklamani o'zgarishi, ta'minlash manbaini ishlash tartibi, tarmoq qarshiligini o'zgarishi bilan o'zgarib turadi. Kuchlanish og'ishini qiymati har doim ruxsatlangan oraliqda bo'lmaydi. Buni sabablari:

a) tarmoq elementlaridan oqayotgan yuklama toklari keltirib chiqadigan kuchlanishni og'ishi;

b) tok o'tkazadigan elementlarni kesim yuzasini va kuch transformatorlar quvvatini noto'g'ri tanlashdan;

v) tarmoq sxemalarini noto'g'ri qurilganidan.

Kuchlanish og'ishi uchta usulda nazorat qilinadi:

1. Qiymat darajali – haqiqiy kuchlanish og'ishi ruxsatlangan qiymat bilan taqqoslanadi;

2. Elektr sistemasi joylarida, masalan ta'minlovchi podstansiyasi liniyaning boshi va oxirida;

3. Kuchlanish og'ishini uzoq muddatli bo'lishi bilan.

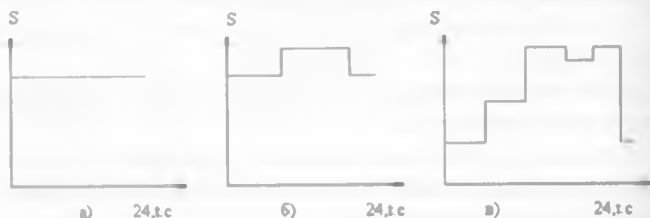
Kuchlanishni rostlash deb maxsus texnik vositalar yordamida elektr sistemasining tegishli nuqtalarida kuchlanish darajasini o'zgartirish jarayoniga aytiladi. Tarixan rivojlangan usul, kuchlanish va reaktiv quvvatni rostlash energetika sistemasini boshqarishni eng past iyerarxiya darajasidan yuqoriga qarab bo'lgan. Ko'p hollarda, boshida taqsimlovchi tarmoqlarni ta'minlash markazlari, ta'minlovchi podstansiyalarida transformatsiya koeffitsiyentlarini o'zgartirib, iste'molchilarni ishlash tartibi o'zgarganda kuchlanish ushlab turilgan. Bunda iste'molchilarda va elektr stansiya va podstansiyalarda kuchlanish rostlangan.

Ushbu kuchlanishni rostlashda hozirgi vaqtgacha past iyerarxiya darajasida dispatcherlik boshqarishni avtomatlashtirilgan usuli (ASDU) qo'llanilmoqda. Yuqori daraja uchun dispatcherlik boshqarishni avtomatlashtirilgan sistemasini mahalliy usuli hisoblanadi. Yuqori darajadagi dispatcherlik boshqarishni avtomatlashtirilgan sistemasi muayyan joydagi rostlash sistemalarini va energetika sistemasini tartibini to'liq holda umumlashtiradi.

Muayyan joydagi kuchlanishni rostlash markazlashtirilgan ya'ni ta'minlash markazida va mahalliy, ya'ni to'g'ridan to'g'ri iste'molchi yaqinida amalga oshiriladi.

Mahalliy rostlashni guruhli va yakka tartibiga bo'lish mumkin. Guruhli rostlashni iste'molchilar guruhi uchun yakka tartiblisi esa asosan maxsus maqsadlar uchun qo'llaniladi.

Yuklanishni o'zgarish xarakteriga qarab har bir ko'rsatilgan rostdash turini bir nechtaga bo'lish mumkin. Masalan, markazlashtirilgan kuchlanishni rostlashda uchta turni ajratish mumkin: kuchlanishni stabilizatsiyalash; ikki bosqichli kuchlanishni rostlash; kuchlanishni qarama-qarshi rostlash. Yuklamasi amaliy jihatdan o'zgarmaydigan iste'molchilar uchun kuchlanishni stabilizatsiyalash qo'llaniladi. Masalan: uch smenali korxona uchun kuchlanish darajasini o'zgartirmasdan ushlab turish mumkin. Bunday iste'molchilarni sutkalik yuklamalar grafigi 9.2.1a-rasmda ko'rsatilgan.



9.2.1-rasm. Yuklamalar grafigi
a)-o'zgarmas, b) ikki bosqichli, v) ko'p bosqichli

Aniq ikki bosqichli iste'molchilarni yuklamalar grafigi 9.2.1b-rasmda ko'rsatilgan. Misol tariqasida bir smenali korxonada kuchlanish ikki bosqichda rostlanadi. Bunda sutka bo'yicha grafikka asosan kuchlanish ikki bosqichda ushlab turiladi. Agarda sutka bo'yicha yuklama o'zgaruvchan grafikda bo'lsa (9.2.1v-rasm) qarama-qarshi kuchlanish rostlanadi. Yuklamani har bir qiymati uchun o'zining kuchlanish yo'qotilishiga ega bo'ladi, shunday qilib yuklama o'zgarganda kuchlanish ham o'zgaradi. Kuchlanishni og'ishi ruxsatlangan qiymatdan oshmasligi uchun yuklama tokiga bog'liq holda kuchlanishni rostlash kerak.

Qarama-qarshi kuchlanishni rostlash bu kuchlanishni yil bo'yicha o'zgartirishdir. U eng katta yuklamada elektr stansiya va podstansiya shinalarida kattalashtirilgan, eng kichik yuklama davrida esa nominal kuchlanishgacha pasayishini ushlab turishdan iborat.

Nazorat savollari:

1. Kuchlanish og'ishni ruxsatlangan oraliqda bo'lmasligi sabablari nimadan iborat?

2. Yuklamani o'zgarish xarakteriga qarab kuchlanishni rostlash qanday amalga oshiriladi?

3. Qarama-qarshi kuchlanishni rostlash nimadan iborat?

9.3. Iste'molchilardagi kuchlanishning og'ishiga bog'liq bo'lgan asosiy omillar, kuchlanishni qarama-qarshi rostlash

Kuchlanish rostlanishi qancha mukammal bo'lsa, shuncha iste'molchilarda kuchlanish og'ishi kam bo'ladi va bu og'ish bilan bog'liq bo'lgan ziyon ham kam bo'ladi.

Energetika sistemasining ta'minlash tarmoqlarida (tugunli nuqtalarida) kuchlanishni nominal qiymatida ushlab turish tartibining asosiy vazifasi iste'molchilarda, ya'ni taqsimlovchi tarmoqlarda, elektr energiyasini kerakli me'yoriy ko'rsatkichlarini ta'minlashdan iborat. O'z navbatida taqsimlovchi tarmoqlarda kuchlanishni rostlash bevosita ta'minlash markazida (TM) YuOR li (yuklama ostida rostlash) transformatorlar va rostlashning mahalliy vositalari bilan amalga oshiriladi.

Taqsimlovchi tarmoqning ta'minlash markazi (9.3.1-rasm) (TM) - energetika sistemasining ta'minlash tarmoqlariga (35-220kV) ulangan podstantsiya hisoblanadi. Transformatorlar odatda, xodim tomonidan yoki avtomatik amalga oshiriladigan YuOR qurilmaga ega. TM shinasiga 6-20 kV li taqsimlovchi transformatorlar ulangan. Bu transformatorlarning past kuchlanish chulgamiga past kuchlanish tarmog'i ulangan, undan aksari elektr qurilmalar (iste'molchilar) bevosita ta'minlanadi.

Iste'molchilardagi kuchlanishni nominaldan og'ishi U_{og} berilgan yoki boshqa har qanday nuqtada teng, %

$$V\% = \frac{U_{\text{m}} - U_{\text{nom}}}{U_{\text{nom}}} \cdot 100 \quad (9.3.1)$$

Agar iste'molchi transformator orqali energiya olsa, unda kattaligi U_{m} yuqori kuchlanish tomoniga ya'ni U_{m} qiymatiga keltirilishi kerak.

Katta quvvatli motorlarni ishga tushirilishi, tarmoqlarda qisqa tutashuv va boshqalar natijasida kuchlanishni qisqa vaqtli o'zgarishi bilan tavsiflanadigan kuchlanish tebranishini U_{teb} ushbu ifoda bilan foizda aniqlash mumkin:

$$V_{\text{teb}}\% = \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{nom}}} \cdot 100 \quad (9.3.2)$$

Bu yerda, U_{max} va U_{min} - bir tebranish oralig'idagi max va min kuchlanishlar.

$$V = V_{HI} + \Delta V_{EI} - E_{QO'Sh} \quad (9.3.4)$$

Bu yerda V_{HI} - transformatorning PK chulg'amidagi iste'molchidagi kuchlanish og'ishi (raqamidagi birliklar maksimal tartibga tegishli).

Nazorat savollari:

1. Qarama-qarshi rostdash nimadan iborat?
2. Tarmoqda kuchlanish yo'qotilishini qanday o'zgartirish mumkin?
3. Tarmoqda kuchlanishni optimal tartibi qanday ushlab turiladi?

9.4. Elektr stansiyalar va pasaytiruvchi podstansiyalarda kuchlanishni rostdash

Generatorlarda kuchlanishni qo'zg'atish tokini rostdab o'zgartirish mumkin. Generator aktiv quvvatini o'zgartirmay kuchlanishni $\pm 0,05 U_{nom}$, ya'ni $0,95 U_{nom}$ dan $1,05 U_{nom}$ gacha o'zgartirish mumkin.

Sistema kuchlanishi $U_{nom,t}=10$ kV da generator kuchlanishi $U_{nom,t}=10,5$ kV va rostdash oralig'i 10-11 kV.

Generator chiqishida kuchlanishni $\pm 5\%$ nominaldan katta qiymatga og'ishi uning quvvatini pasayishga olib keladi. Ushbu $\pm 5\%$ rostdash oralig'i aniq yetmaydi. Bunda transformatsiyaning har bir bosqichida kuchlanish yo'qotilishi nisbiy birlikda teng.

$$\Delta U_r \approx 0,1 S_r$$

Bu yerda $S_r = S_r / S_{nom}$ nisbiy birlikda transformator quvvati

Uch-to'rt transformatsiyada tarmoqda kuchlanish yo'qotilishi 0,3-0,4 S_r ni tashkil etadi. Agar $R_{eng,kat}=1$ va $R_{eng,kich}=0,4$ qabul qilsak, kuchlanish yo'qotilishi ushbu shartga asosan $U_n\%$ eng katta va eng kichik yuklama tartibida tashkil etadi.

$$\sum \Delta U_{eng,kat} \% = 30 + 40\%, \quad \sum \Delta U_{eng,kich} \% = 12 + 16\%$$

Bundan ko'rinadiki iste'molchida kuchlanishni o'zgarish oralig'i

$$\sum \Delta U_{eng,kat} \% - \sum \Delta U_{eng,kich} \% = 18 + 24\%$$

Shuning uchun 10% iborat generatorni kuchlanish o'zgarish oralig'i yetmaydi.

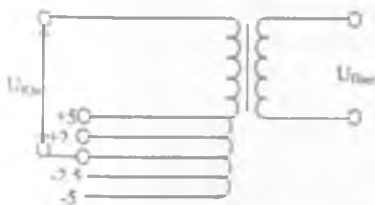
Elektr stansiya generatorlari faqat ikki sababga asosan yordamchi kuchlanishni rostdash vositasi hisoblanadi.

1. Generatorlar bilan kuchlanishni rostdash oralig'i yetarlicha emas.
2. Yaqin va uzoqdagi iste'molchilar uchun kuchlanish bo'yicha talablarni moslashtirish qiyin.

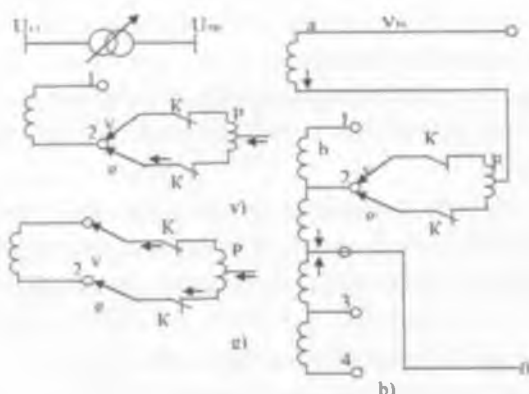
Sistema uchun stansiya – to'g'ri yuklama holatida generatorlar rostdash vositasi qilib ishlatiladi. Bu holatda ayrim ishlayotgan sanoat korxonasi elektr stansiyasi shinalarida kuchlanish qarama-qarshi rostdanadi, ya'ni generator qo'zg'atish tokini o'zgartirib, yuklamani maksimum soatlarida kuchlanish oshiriladi, minimum soatlarida kuchlanish pasaytiriladi.

Elektr stansiyalardagi kuchaytiruvchi transformatorlari TDS/110. Yuqori kuchlanish chulg'aming nominal kuchlanish $U_{nom,yu}=110$ kV va bir qism TDS/220, $U_n=220$ kV generatorga o'xshab kuchlanishni rostdlovchi yordamchi vositalar hisoblanadi va $\pm 2 \times 2,5\%$ U_{nom} , rostdash oralig'iga ega va ular yordamchi yaqin va uzoqdagi iste'molchilar uchun kuchlanish bo'yicha talablarni moslashtirmoq mumkin emas. Shuning uchun kuchlanishni rostdlovchi asosiy vosita rayon podstansiyalarini transformator va avtotransformatorlari hisoblanadi.

Pasaytiruvchi podstansiyalarda kuchlanishni rostdash. Ishi bo'yicha pasaytiruvchi podstansiyalarda ikki turli transformatorlar bo'ladi: a) rostdlovchi shoxobchalarni qo'zg'atishsiz (9.4.1-rasm). Ya'ni transformatorlarni tarmoqdan o'zib (qo'zg'atishsiz KR) rostdlash; b) yuklama ostida shoxobchalarni (Yu.O.R transformatorlar) rostdlash. Ko'p hollarda rostdlovchi shoxobchalar (9.4.2-rasm). Kichik tokka ega bo'lgan yuqori kuchlanish tomonida bo'ladi. Bunda o'zgaruvchi qurilma toki yengillashadi.



4.1-rasm. Qo'zg'atishsiz rostdlanuvchi transformator.



9.4.2-rasm. Yu.O.R transformatorlar a-shartli belgilash; b-
Yu.O.R.transformator chulg'amlar sxemasi; v-g-shoxobchalarni
o'zgartirish.

Yuklama ostida rostlanmaydigan transformatorlar asosiy va to'rtta qo'shimcha shoxobchali qilib tayyorlanadi. Bunday transformatorni chulg'amlari 9.4.2b-rasmda ko'rsatilgan. Asosiy shoxobcha transformatorni birlamchi chulg'am kuchlanishi $U_{yu.nom}$ ga teng kuchlanishga ega. Pasaytiruvchi transformatorlar uchun $U_{yu.nom}$, transformator ulanadigan tarmoq kuchlanishi U_{nom} ga (6, 10, 20 kV) teng. Asosiy shoxobchada transformatorni transformatsiya koeffitsiyenti nominal deyiladi. To'rtta qo'shimcha shoxobchalar +5, +2,5, -2,5, -5% ishlatilganda, transformatsiya koeffitsiyenti nominaldan farq qiladi. Shuning uchun transformatorni ikkilamchi chulg'am kuchlanishi tarmoq kuchlanishidan katta bo'ladi: +5% ga -quvvati katta bo'lmagan transformatorlarda, 10% ga qolgan transformatorlar uchun masalan: asosiy kuchlanish shoxobchasi ishlatilganda transformatorlarni birlamchi shoxobchasiga U_{nom} ga teng kuchlanish keltirildi va salt yurishda PK tomonidan kuchlanish 1,05 U_{nom} ga teng. Bunda qo'shimcha kuchlanish 5%, shoxobchani o'zgartirib, qo'zg'atishsiz rostlanuvchi transformatorlarda qo'shimcha kuchlanishni yaxlitlangan qiymatlarini olish mumkin.

Birlamchi chulg'am shoxobchasi, %	+5	+2,5	0	-2,5	-5
S.Yu. da PK tomonidan kuchlanish (U_1/U_{nom})	1,0	1,025	1,05	1,075	1,1
Qo'shimcha kuchlanish	0	+2,5	+5	+7,5	10

QR li transformatorlarda rostlovchi shoxobchani o'zgartirish uchun uni tarmoqdan uzish kerak. Bunday o'zgartirish juda kam, yuklamani mavsumli o'zgarishida amalga oshirildi. Shuning uchun KR li transformator sutka bo'yicha eng katta va eng kichik yuklamada bitta rostlovchi shoxobchada va tegishli bir xil transformatsiya koeffitsiyentida ishlaydi. Qarama-qarshi Ushox va transformatsiya koeffitsiyenti o'zgartirib rostlash sutka bo'yicha, ya'ni eng katta yuklamadan eng kichik yuklama tartibiga o'tishda amalga oshirish mumkin.

O'zida o'atilgan Yu.O.R qurilmali kuchlanishni yuklama ostida rostlovchi transformatorlarni KR transformatorlardan, maxsus o'zgartiruvchi qurilma va yana rostlovchi shoxobchalarni va rostlash oralig'ini ko'pligi bilan farq qiladi. Masalan: YuK asosiy shoxobchani nominal kuchlanishi 115 kV bo'lgan transformatorni +16% rostlash oralig'ida 1,78% rostlovchi 18 bosqich ko'zda tutilgan.

9.4.2b Yu.O.R transformator chulg'amlarini sxemasi ko'rsatilgan. Transformatorni YuK chulg'ami ikki qismga ega bo'lib: rostlanmaydigan a va rostlanadigan b.

Rostlanmaydigan qismda qator shoxobchalar 1.4 siljmaydigan kontaktlarga tegishli. 1.2 shoxobchalar asosiy chulg'amga mos ulangan chulg'amni bir qismiga to'g'ri keladi. Tok yo'nalish 9.4.2b-rasmda strelka bilan ko'rsatilgan. 1,2 shoxobcha ulanganda transformatsiya koeffitsiyenti kattalashadi. 3,4- asosiy chulg'amga nisbatan qarama-qarshi ulangan chulg'amni bir qismiga to'g'ri keladi. Uni ulanishi transformatsiya koeffitsiyentini kichraytiradi, chunki asosiy chulg'am ta'sirini kamaytiradi. Transformatorni YuK chulg'amini asosiy chiqishi. O nuqta hisoblanadi. Asosiy chulg'amga to'g'ri va teskari ta'sir qiluvchi chulg'amlar soni bir xil bo'lmasligi mumkin. Chulg'amni rostlovchi qismi harakatlanuvchi v.g kontaktli o'zgartiruvchi qurilma, kontaktlar K1 va K2 va reaktorga ega. Reaktorni o'rtasi transformator rostlanmaydigan chulg'amini a qismiga ulanadi. Me'yoriy yuklama toki teng holda reaktor chulg'ami o'rtasida taqsimlanadi. Shuning uchun magnit oqimi va kuchlanish yo'qotilishi kam bo'ladi.

Masalan qurilmani shoxobcha 2 dan shoxobcha 1 ga o'zgartirish talab etilsin. Bunda kontaktor K1 ni uzib, harakatlanuvchi kontakt v ni shoxobcha 1 ni kontaktiga o'zgartiramiz va yana (9.4.2 g-rasm) kontaktor K1 ni ulaymiz. Shunday qilib 1,2 sektsiya reaktor R ni chulg'amida yopildi. Reaktor induktivligi katta qismi sektsiya 1,2 chulg'amidagi kuchlanish sababli hosil bo'lgan tenglashtiruvchi tokni cheklaydi. So'ngra kontaktlar

K2 uziladi, harakatlanuvchi kontakt g,1-shoxobcha kontaktiga o'zgartirilib, kontaktor K2 yana ulanadi.

Yu.O.R yordamida sutka bo'yicha yuklama o'zgarganda shoxobcha va transformatsiya koeffitsiyentini o'zgartirish, ya'ni qarama-qarshi rostlash talabini bajarish mumkin.

Nazorat savollari:

1. Generatorlarda kuchlanishi qanday rostlanadi?
2. Kuchaytiruvchi podstansiyalarda kuchlanish qanday rostlanadi? Yuklama ostida rostlanmaydigan transformatorlarni rostlovchi qo'shimcha shoxobchalari nechta bo'ladi?
3. Pasaytiruvchi podstansiyalarda kuchlanish qanday rostlanadi? Yuklama ostida rostlovchi transformatorlarni qo'shimcha shoxobchalari qanday olinadi?

9.5. Tarmoq qarshiliklarini o'zgartirib, kuchlanishni rostlash

Iste'molchilar kuchlanishi tarmoqdagi kuchlanish yo'qotilishiga, bu o'z navbatida qarshiligiga bog'liq bo'ladi. 9.5.1-rasmda ko'rsatilgan liniyadagi bo'ylamasiga kuchlanishni pasayishi teng bo'ladi.



9.5.1-rasm. Elektr tarmog'ining parametrlari.

$$\Delta U = \frac{P_l R_l + Q_l X_l}{U_2} \quad (9.5.1)$$

Bu yerda R_l , Q_l , U_2 – liniya oxiridagi yuklama va kuchlanish.

R_l , X_l – liniyani aktiv va reaktiv qarshiliklari.

Taqsimlovchi tarmoqlarda aktiv qarshiliklar reaktiv qarshilikdan katta. Bunda asosiy o'rinni R_{yu} R_l egallaydi. Taqsimlovchi tarmoqlarda simni kesim yuzasi o'zgarganda R_l anchaga va ΔU_l va yuklama kuchlanishi o'zgaradi. Shuning uchun bunday tarmoqlarda simni kesim yuzasi kuchlanish yo'qotilishini ruxsatlangan qiymati bo'yicha aniqlanadi.

Ta'minlovchi tarmoqlarda buning teskarisi, $x_0 > r_0$ shuning uchun ΔU_l katta miqdorda simni kesim yuzasiga bog'liq bo'lmagan reaktiv qarshiligi bilan aniqlanadi. Ta'minlovchi tarmoqlarda simni kesim yuzasini kuchlanishni ruxsatlangan qiymati bo'yicha tanlash iqtisodiy maqsadga

muvofig emas. Kuchlanishni rostdash uchun reaktiv qarshilik o'zgartiriladi. Reaktiv qarshilikni o'zgartirish uchun liniyaga kondensator ulash kerak. Liniyada kondensator o'rnatilmasdan oldin kuchlanish pasayishini bo'ylamasiga tashkil etuvchisi (9.5.1) formula orqali aniqlanadi. Masalan: liniya oxiridagi kuchlanish ruxsatlangan qiymatdan kichik

$$U_2 = U_1 - \Delta U, < U_{2\text{max}}$$

Kuchlanishni ruxsatlangan qiymatgacha ko'tarish uchun liniyaga ketma-ket kondensator ulaymiz.

Unda ifoda quyidagi ko'rinishni oladi.

$$U_{2\text{max}} = U_1 - \frac{P_1 \cdot R_1 + Q_1(X_1 - X_2)}{U_{2\text{max}}} \quad (9.5.2)$$

Bu yerda x_k – kondensator qarshiligi

Liniyaga ketma-ket kondensatorni ulash, bo'ylamasiga kompensatsiyalash deyiladi. Bo'ylamasiga kompensatsiyani o'rnatish liniyada, induktiv qarshilik va kuchlanish yo'qotilishini kompensatsiya qilishga (9.5.2a-rasm) imkon beradi.

Bunday rostdashni vektor diogrammasi 9.5.2b-rasmda ko'rsatilgan, Bu yerda

$$U_2 = U_1 - \sqrt{3} \cdot I_1(R_1 + jX_1)$$

$$U_{2\text{max}} = U_1 - \sqrt{3} \cdot I_1(R_1 + jX_1) - \sqrt{3} \cdot I_1(-jX_2)$$

I_1 – liniyadagi tok

$\sqrt{3} \cdot I_1 \cdot X_2$ – manfiy kuchlanishni pasayishi yoki zanjirga kiritilgan EYuK deb ko'rish mumkin.

U_1 , $U_{2\text{max}}$, R_1 , X_1 , R_1 , Q_1 qiymatlarni bilib (9.5.2) dan parallel ketma-ket ulangan kondensatorlarni sonini aniqlash mumkin. Bunda kondensatordagi kuchlanish va tok teng bo'ladi.

$$U_x = \sqrt{3} \cdot I_x \cdot X_x, \quad I_x = I_n = \frac{S_x}{\sqrt{3} \cdot U_x}$$

Agarda bir kondensatordagi nominal kuchlanish $U_{x\text{nom}} < U_x / \sqrt{3}$ bo'lsa, bir fazaga bir necha ketma-ket ulangan kondensator qo'yish kerak. Ulangan kondensatorlar soni quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$n = U_x / \sqrt{3} \cdot U_{x\text{nom}}$$

Kondensator pasportida uning quvvati Q_k ko'rsatiladi, uning qiymatini bilib, nominal tok $I_{k\text{nom}}$ ni aniqlash mumkin.

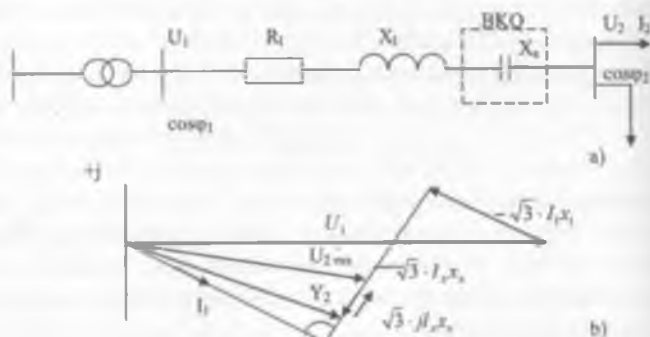
$$I_{k\text{nom}} = Q_k / U_{x\text{nom}}$$

Agarda $I_{k\text{nom}} < I_k$ bo'lsa parallel m dona kondensator qo'yish kerak

$$m = I_1 / I_{s \text{ nom}}$$

Liniya bo'ylamasiga kompensatsiya qurilmalari (BKQ) da sig'im qarshiligini induktiv qarshilikka foizda nisbati, foizda kompensatsiya deyiladi.

$$c = \frac{X_c}{X_l} \cdot 100$$



9.5.2-rasm. Bo'ylamasiga kompensatsiya.

a - BKQ ulanish sxemasi, b - vektor diagrammasi.

Amaliyotda bir qism ($s < 100\%$) kompensatsiya ishlatiladi. To'liq yoki ortiq kompensatsiya ($s \geq 100\%$) taqsimlovchi tarmoqlarda ko'pincha qo'llanilmaydi, chunki bu tarmoqda kuchlanishni oshishiga olib keladi.

BKQ ni ishlatish, tarmoqlarda kuchlanish tartibini yaxshilashga olib keladi. Ammo kondensator sababli kuchlanishni oshishi, BKQ orqali oqadigan faza toklari qiymatiga bog'liq. Shuning uchun ketma-ket ulangan kondensatorlar bilan rostdash chegaralangan.

Ta'minlovchi tarmoqlarda BKQ ni ishlatish murakkab va qimmat. Qisqa tutashuv vaqtida kuchlanish oshishidan himoya qilish uchun maxsus choralar ko'rish kerak. Shuni belgilamoq kerakki BKQ faqat kuchlanishni rostdash uchun emas balki liniyani o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish uchun ishlatiladi.

Nazorat savollari:

1. Tarmoq qarshiliklarini o'zgartirib kuchlanish qanday rostlanadi?
2. Tarmoq qarshiliklarini o'zgartirib kuchlanish rostdanishni matematik va vektor diogrammada ko'rsatib bering?

3. Bo'ylamasiga kompensatsiya qurilmalarida sig'im qarshiligi induktiv qarshilikka nisbatan foizda qanday aniqlanadi?

9.6. Elektr tarmoqlarida nosimmetriya va uni kamaytirish tadbirlari

Nosimmetriya tartiblarni paydo bo'lish sabablari. Kuchlanishni uch fazali simmetrik sistemasi uchta fazada kuchlanishni modul va faza bo'yicha bir xilligi bilan tavsiflanadi. Nosimmetrik tartibda fazalarda kuchlanish bir xil emas. Elektr tarmoqlarida nosimmetrik tartibi quyidagi holatlarda bo'ladi:

1. Fazalarda yuklama bir xil bo'lmaganda;
2. Tarmoq elementlari va liniyani to'liq bo'lmagan faza tartibida ishlashi;
3. Liniya fazalari parametrlarini har xil bo'lishi.

Ko'p holatlarda kuchlanish nosimmetriyasi faza yuklamalarining har xilligidan paydo bo'ladi. 0,38 kVli shahar va qishloq elektr tarmoqlarida kuchlanish nosimmetriyasi asosan bir fazali kichik quvvatli yoritish va maishiy elektr iste'molchilarini ulanishi sababli yuzaga keladi. Bunday yuklamalar soni katta bo'lmaganligi uchun ularni fazalar bo'yicha bir xil taqsimlash kerak.

Yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlarida nosimmetriya bir fazali katta quvvat elektr iste'molchilari bo'lishidan yuzaga keladi. 0,38-10 kV sanoat tarmoqlarida nosimmetriyani asosiy manbalari q rudotermik pechlari, induksiyali eritish pechlari, qarshilik pechlari, termik qurilmalari, har xil quvvatli payvandlash uskunalaridir.

Tarmoq elementlarini to'liq bo'lmagan fazada ishlashi, qisqa vaqtli bir yoki ikki fazani qisqa tutashuvdan (QT) o'chirilishidan yoki fazalar bo'yicha tuzatishda uzoq vaqtli o'chirishdan yuzaga keladi. Bir fazali qisqa tutashuvda avtomatik qayta ulash (AQU) samara beramsa, liniyani shikastlangan fazasini o'chirish uchun liniyalar ayrim fazalar bo'yicha boshqariladigan qurilmalar bilan jihozlanadi.

Kuchlanish nosimmetriyasining ikki turi mavjud bo'lib, bular bo'ylama va ko'ngdalang nosimmetriyalardir. Elektr tarmoq elementlari nosimmetriyasi bilan bog'liq bo'lgan nosimmetriya, bo'ylama nosimmetriya deb ataladi. Bu havo liniyalarini to'liq bo'lmagan faza tartibida ishlashidir.

Tarmoqqa bir va ko'p fazali nosimmetrik yuklamalarni ulanishi natijasida kelib chiqqan nosimmetriya, ko'ndalang nosimmetriya deyiladi. Ko'ndalang nosimmetriya ba'zi bir elektr energiya iste'molchilarining ayrim fazalaridagi aktiv va reaktiv qarshiliklarining tengsizligi tufayli kelib chiqadi.

Fazalararo kuchlanish nosimmetriyasi teskari ketma-ketlik, faza nosimmetriyasi esa nol ketma-ketlik tashkil etuvchilarning mavjudligidan hosil bo'ladi. Kuchlanishlarning to'g'ri- U_1 , teskari- U_2 , nol- U_0 ketma-ketlik simmetrik tashkil etuvchilari quyidagi ma'lum tengliklar asosida aniqlanadi.

$$U_1 = \frac{1}{3} \cdot (U_a + a \cdot U_b + a^2 \cdot U_c)$$

Teskari

$$U_2 = \frac{1}{3} \cdot (U_a + a \cdot U_b + a^2 \cdot U_c)$$

va nol ketma-ketlik

$$U_0 = \frac{1}{3} \cdot (U_a + U_b + U_c)$$

Bu yerda U_a , U_b , U_c - tarmoqning faza kuchlanishlari.

$$a = e^{j2\pi/3} = \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} - \text{faza ko'paytmasi, kompleks son.}$$

Kuchlanish nosimmetriya darajasi kuchlanishning nosimmetrik koeffitsiyenti E_2 % bilan xarakterlanadi. U teskari ketma-ketlik kuchlanish U_2 ni nominal chiziqli kuchlanish U_{nom} ga nisbati bilan ifodalanadi.

$$E_2 = \frac{U_2}{U_{nom}} \cdot 100\%$$

Kuchlanish nosimmetriyasi elektr energiya sifatining me'yorlashtirilgan ko'rsatkichi hisoblanadi. Elektr energiya sifatini me'yoriy nosimmetriya koeffitsiyenti $E_2 \leq 2\%$. Agar nosimmetriya koeffitsiyenti belgilangan qiymatdan oshib ketsa, uni pasaytirish choralari ko'rish zarur.

Kuchlanish nosimmetriyasini elektr iste'molchilari ishiga ta'min.

Kuchlanish nosimmetriyasi elektr energiya isrofini oshishiga elektr ta'minot sistemasining hamma bo'g'ini va elektr jihozlari ishonchliligini kamaytiradi. Sinxron mashinalarning qo'shimcha qizib ketishi va statordan teskari ketma-ketlik toklari oqishi natijasida isrof ko'payadi, bu esa asosiy aylantiruvchi momentga teskari bo'lgan moment hosil bo'lishiga olib keladi. Elektr mashinalarining teng bo'lmagan faza toklarida uzoq ishlashi turbogenerator va sinxron kompensatorlar uchun faza toklari farqi statorning nominal tokidan 10%, gidrogeneratorlar uchun esa 20% dan oshmasligi kerak.

Asinxron yuritgachlarda nosimmetriya qo'shimcha qizib ketishga va aylantiruvchi momentga teskari bo'lgan moment hosil bo'lishiga olib keladi. Uncha katta bo'lmagan kuchlanish nosimmetriyasida ham teskari ketma-ketlik hosil bo'ladi. Bu tok, to'g'ri ketma-ketlik tokiga ustma-ust tushadi. Bu holda mator qizib ketishi natijasida motor quvvati kamayib, izolyatsiyani eskirishi tezlashadi. Kuchlanish nosimmetriyasi 4% bo'lganda to'la quvvat ishlab turgan asinxron yuritgich ishlash muddati 2 marta kamayadi.

Kuchlanish nosimmetriyasida kondensator batareyalari reaktiv quvvatini fazalar bo'yicha notekis yuklanishi natijasida kondensatorlarda o'rnatilgan reaktiv quvvatdan to'liq foydalanishga erishilmaydi. Bunda nosimmetriya bo'lgan fazada reaktiv quvvatni tarmoqqa qaytarilishi boshqa fazalarga nisbatan ancha kam bo'lganligi uchun kondensator batareyalarining nosimmetriya darajasi ancha oshadi.

Ta'minlovchi tarmoqda kuchlanish nosimmetriyasini kamaytirish uchun nosimmetrik yuklamalarni qisqa tutashuv quvvati katta bo'lgan tarmoq uchastkalariga, katta quvvatga ega bo'lgan nosimmetrik yuklamalarni ajratib alohida transformatorlarga ulanadi. Bir fazali yuklamalar hamma fazalarga teng va aniq taqsimlanadi.

Har bir fazaga bir fazali yuklamalarni teng taqsimlash har doim ham kuchlanish nosimmetriyasini yetarli darajada kamaytirmaydi. Bunday holda maxsus simmetriyalovchi qurilmalardan foydalaniladi.

Yuklamalar grafigi xarakteriga qarab simmetriyalovchi qurilmalar boshqariladigan va boshqarilmaydigan qilib tayyorlanadi.

O'zgarmas yuklama grafigiga va quvvat koeffitsiyenti birga yaqin bo'lgan bir fazali elektr energiya iste'molchilarini simmetriyalash uchun Shteyntmettsning boshqarilmaydigan sxemasidan foydalaniladi.

Boshqariladigan simmetriyalovchi qurilmalarning boshqarilmaydigan simmetriyalovchi qurilmalaridan farqi shundaki, kondensator batareyasi va drossel quvvati, parallel ulangan kondensatorlarning bir qism seksiyasini drossel chulg'amidan ajratish sxema sim yoki ayrim drossellarni o'chirish bilan rostlanadi. Drosselli ajratgichli simmetriyalovchi sxemani aniq sharoitdan kelib chiqqan holda boshqariladigan va boshqarilmaydigan qilib tayyorlash mumkin.

Nazorat savollari:

1. Kuchlanish nosimmetriyasi paydo bo'lish sabablarini ko'rsating.
2. Kuchlanish nosimmetriyasini tashkil etuvchilarini ko'rsating.

3. Tarmoq kuchlanish nosimmetriyasi elektr iste'molchilari ishiga qanday ta'sir etadi?

4. Kuchlanish nosimmetriyasini kamaytirish uchun ko'riladigan choralar nimalardan iborat?

9.7. Elektr energetika sistemasida nosinusoidallik va uni kamaytirish tadbirlari

Kuchlanish va tok nosinusoidallicini kelib chiqish sabablari - sanoat korxonalari yuklamalarining volt-ampere tavsiflari noxiziqli o'zgarishga ega. Ular qatoriga tiristorli o'zgartgichlar, yoyli va kontaktli payvandlagichlar, elektr yoyli po'lat eritgichlar, rudotermik pechlar va gaz razryadli lampalar kiradi. Bu yuklamalar tarmoqdan oladigan toklarining shakllari nosinusoidal bo'lib, tarmoq kuchlanishi shakliga noxiziqli tavsif kiritadi, ya'ni nosinusoidal kuchlanishlar keltirib chiqaradi.

Nosinusoidallik tartibidagi ish kuchi elektr jihozlari, rele himoyasi, avtomatika, telemexanika va aloqa ishlarida ta'sir ko'rsatadi. Natijada ularning energetik ko'rsatkichlarini yomonlashtiradi, ishlash ishonchligini pasaytiradi, elektr jihozlar ishlash muddatini kamaytiradi.

Nosinusoidallik tufayli kelib chiqadigan muammolarni hal qilishlik yuqori garmonika manbalarini yuklamalar bilan ishlay olish qobiliyatlarini baholash, har xil noxiziqli yuklamalar keltirib chiqarayotgan yuqori garmonikalarni son nuqtai nazardan baholash va elektr tarmog'ida hosil bo'luvchi yuqori garmonikalarni bilish, hosil bo'layotgan yuqori ishonchligini darajasini pasaytirish.

Yuqori garmonika toklari elektr tarmog'i elementlaridan o'tib, shu elementlar qarshiliklarida kuchlanishni pasaytiradi. Natijada asosiy kuchlanishdagi sinusoida shaklini o'zgarishiga sababchi bo'ladi.

Yuqori garmonikaning asosiy manbalari. Ventelli o'zgartgichlar, yarim o'tkazgichli qurilmalar metallurgiya zavodlari va kimyo sanoatida keng qo'llaniladi. Korxonalarda o'zgarmas tok iste'molchilarga rostanuvchi elektr yuritma, elektroliz qurilmalari, galvanik vannalar, elektrlashtirilgan temir yo'l transporti, magnitli separatorlar va boshqa texnologik qurilmalar kiradi. Sanoat korxonalarida eng ko'p tarqalgan

qurilma bu-uch fazali ko'priksimon sxemali o'zgartgichlar. Uch fazali ko'priksimon o'zgartgichlar asosida ularning bir qator sxemalarini yaratish mumkin, masalan

- ventil yuritgich asosida tristorli elektr yuritma;
- asinxron ventilli kaskad;
- kompensatsiyalangan ventilli elektr yuritma;
- chastotali boshqariladigan asinxron yuritgich.

Yoyli vakuumli pechlar ventilli o'zgartgichlardan ta'minlanadi.

O'zgartgich asosan 6 fazali tenglashtiriluvchi reaktorli sxemada yig'iladi.

Elektr yoy va kontaktli payvandlash qurilmalari uchun ta'minlovchi manba sifatida yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlardan foydalaniladi. Ular-ning toki tarkibidagi yuqori garmonlar payvandlash qurilmasi ish tartibiga qarab har xil bo'ladi.

Kontaktli elektr payvandlash qurilmalari elektor tarmog'iga tiristorli kalitlar orqali ulanadi. Payvand tokini mayinlik bilan rostlash maqsadida ventilli qurilmalar faza bo'yicha rostlagichlar bilan ta'minlangan.

Yuqori garmonikalarning iste'molchi elektr jihozlari ishiga ta'siri.

Elektr ta'minotida yuqori garmonikalarni bo'lishi elektr yuritgich, transformatorlar va elektr tarmoqlarida qo'shimcha quvvat isrofni, kondensatorlar yordamida reaktiv quvvatni kompensatsiyalashni qiyinlashuvi, avtomatika, telemexanika va aloqa vositalarini ishlash darajasini pasayishiga olib keladi.

Asinxron yuritgichlar nosinusoidal kuchlanish bilan ta'minlanganda, ularning quvvat koeffitsiyentlari va valdagi aylantiruvchi moment qiymatlari pasayadi.

Kuchlanish shaklining buzilishi elektr yuritgich va transformatorlarda izolyatsiyani eskirishini tezlashtiradi va dielektrik isroflarni ko'payishiga olib keladi.

Kondensator batareyalarida yuqori garmonikalarni ta'siri sezilarli bo'ladi. Nosinusoidal kuchlanishda ishlayotgan kondensatorlar bo'rtib shishishi va portlashi natijasida tez ishdan chiqadi. Qaysidir chastotada rezonans tartibi paydo bo'ladi va kondensatorni ishdan chiqarish mumkin.

GOST bo'yicha kondensator batareyalari uzoq vaqtli yuqori garmonika toklari bilan 30% dan ortiq yuklanmasligi kerak.

Elektr tarmog'i kuchlanishining nosinusoidalligi kabellar izolyatsiyasining eskirishini tezlashtiradi. Yuqori garmonikalar 6+8,5% ni tashkil qilganda ham, siljish toki 2,5 yildan so'ng o'rtacha hisobda 36% ga, 3,5 yildan so'ng esa 43% ga ortadi.

Nosinusoidallik ventelli o'zgartgichlarning me'yoriy ishlashiga yomon ta'sir ko'rsatib, to'g'rilangan kuchlanish sifatini kamaytirdi.

Kuchlanish egri chizig'ini ruxsatlangan nosinusoidal koeffitsiyenti

$$K_{ef} = \frac{\sqrt{\sum_{v=1}^n U_v^2}}{U_{max}} \cdot 100$$

Elektr tarmoqlarida kuchlanish va tok nosinusoidalligini kamaytirish uchun to'g'rilagich fazalar sonini ko'paytirish, to'g'rilagich birlamchi tokini sinusoidaga yaqinlashtiradi va yuqori garmonikalarni kamaytiradi. 6 fazali to'g'rilagich ventil qurilmasida 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25-garmonikalar bo'lsa, 12 fazali sxemada faqat 11, 13, 23, 25 - garmonikalar bo'ladi xolos. Bunda kuchlanish nosinusoidalligi 1,4 marta kamayadi. Hozirgi vaqtda 12 fazali to'g'rilagichlar keng qo'llanilmoqda.

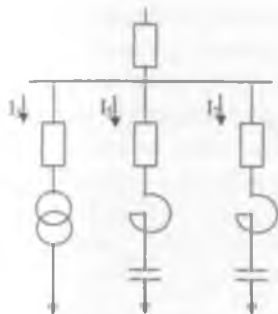
Yuqori garmonikalar darajasini ta'minlovchi tarmoq imkoniyatlari orqali kamaytirish, asosan elektr ta'minotini ratsional sxema asosida bajarishga asoslangan keng tarqalgan usullardan biri bu yuqori, ya'ni 110-220 kV li kuchlanishga ega to'g'rilagich transformatorlarini qo'llash va nochiziqli yuklamalarni alohida transformatorlardan yoki ularni uch chulg'amli transformatorlarning alohida chulg'amlaridan ta'minlashdir. Shuningdek nochiziqli yuklamalarga parallel ravishda sinxron va asinxron motorlarni ulash ham ko'zlangan natijani beradi.

Yuqori garmonika filtirlari (9.7.1-rasm) o'zaro ketma-ket ulangan induktiv va sig'imdan iborat bo'lib, ma'lum bir garmonika chastotasiga sozlangan. Yuqori garmonika filtri qarshiligi quyidagicha aniqlanadi.

$$x_{\mu} = x_{lv} - x_{\sigma} \quad \text{ёхu} \quad x_{\mu} = x_{lv} - \frac{x_1}{y}$$

Bunda X_1, X_2 -sanoat chastotasidagi induktiv va sig'im qarshiliklari.

Chastota ortishi bilan reaktorni induktiv qarshiligi garmonika nomeriga mutanosib ravishda o'zgaradi, kondensator batareyasini qarshiligi esa shu yo'sinda kamayadi.



9.7.1-rasm. To'g'rilagich transformatorlar va yuqori garmonika filtrlarini ulash.

Ma'lum bir garmonika chastotasida filtrning induktiv qarshiligi sig'im qarshiligiga tenglashadi va filtrda kuchlanish rezonansi paydo bo'lib, filtrning umumiy qarshiligi nolga teng bo'ladi, shu garmonika chastotasida elektr sistemani shuntlab qo'yadi.

Rezonans garmonika tartib raqami quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$v_r = \sqrt{\frac{x}{x_1}}$$

Filtrlar bir vaqtning o'zida reaktiv quvvat manbai ham hisoblendi va yuklama reaktiv quvvatini kompensatsiyalash uchun qo'llaniladi.

Nazorat savollari:

1. Kuchlanish va tok nosinusoidalligini kelib chiqish sabablari nimalardan iborat.
2. Kuchlanish shaklini buzilishi elektr iste'molchilari ishiga qanday ta'sir ko'rsatadi?
3. Elektr tarmog'ida kuchlanish va tok nosinusoidalligini kamaytirish uchun qanday choralar ko'riladi?
4. Yuqori garmonika filtrlari qanday ishlaydi?

X. Elektr tarmoqlarini loyihalash elementlari

Xalq xo'jaligini rivojlantirishning muhim shartlaridan biri - bu sanoatning barcha tarmoqlarida, shuningdek, elektr energetikada yonilg'i - energiya zaxiralarini asosli ravishda iqtisod qilish va tejash bo'ladi. O'zbekiston Respublikasida asosiy e'tibor, yonilg'i-energetika sistemasini takomillashtirish bo'yicha ishlarni olib borishga, energiya tejamkorligi siyosatiga, neft, gaz, ko'mir bilan bir qatorda gidravlik energiyadan yangilanuvchi va ikkilamchi energiya zaxiralaridan foydalanishga qaratilmoqda. Shuning uchun elektr muhandislaridan ularga ishonib qo'yilgan xalq mablag'ini, energetika sistemasining hamma bosqichlarida oqilona va iqtisodiy ravishda sarflash talab qilinadi. Loyihalash jarayonida iqtisodiy samaradorlik asoslari barpo bo'lganligi uchun bu bosqichning o'zida chuqur iqtisodiy tahlil qilmoq va texnikaviy qarorlarni asoslab bermoq kerak. Bunda eng zarur texnik-iqtisodiy masalalar quyidagidan iborat bo'ladi:

- elektr energiya manbalari va iste'molchilarining joylashishini hisobga olgan holda tarmoqning asoslangan maqbul shaklini qabul qilish;
- hamma loyihalanayotgan liniyalarning nominal kuchlanishini, simlar va kabellar kesim yuzasini tanlash;
- EUL va PS ni maqsadga muvofiq bo'lgan tuzilishini ishlab chiqish.

Zamonaviy energetika sistemalarini murakkab, katta kenglikda va vaqt jarayonida rivojlanayotgan holda tasavvur qilsa bo'ladi. Ularni loyihalash jarayonida ko'p xillilik, ko'p o'lchovlilik, egri chiziqli bog'lanishlar, o'zgarishga moyillik, uzliklik va bir qator parametrlarni cheklanganligi bilan bog'langan texnikaviy va iqtisodiy qiyinchiliklar yuzaga keladi. Bu masalani hal qilishda maqbul variant qabul qilish parametrlarini kompleks holda nazarga olishni, sistemasini o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olib to'liq va har tomonlama tekshirishni, katta miqyosda mantiqiy va hisoblash ishlarini talab qiladi.¹¹

Texnik-iqtisodiy hisoblardan maqsad quyidagilardan iborat bo'ladi:

- energetika sistemalarini loyihalashga, qurishga, tiklashga, kengaytirishga va ishlatishga sarflangan kapital mablag'ning xalq xo'jaligining rivojlantirish talablariga binoan samaradorligini baholash;
- iqtisodiy ko'rsatkichlarni va sistemasining iqtisodiy samaradorligiga jiddiy ta'sir ko'rsatadigan parametrlarning boshqarish usullarini to'g'ri

¹¹ Steven W. Blume. *Electric Power System Basics*. USA.: Wiley - Interscience A John Wiley&Sons, INC Publication, 2007, 260 p.

tanlash. Bunga sistemasining ayrim qismlaridagi energiya isrofini kamaytirish, elektr energiyani ishonchililigini va sifatini ko'tarish, konpensatsiyalaydigan va rostlaydigan qurilmalarni qo'llash, elektr uskunalarning quvvat koeffitsiyentini oshirish va boshqalar kiradi.

– elektr energetika sistemalarini keyingi rivojlanishini (navbatdagi iste'molchilarni paydo bo'lishi, yuklamalarni o'sish sur'ati, sistemaning navbatmanavbat qurilish mumkinligi va boshqalar) hisobga olib loyihalash.

10.1. Texnik-iqtisodiy hisoblar, simlar va kabellarning kesim yuzasini tanlash. Kumulyativ xarajatlar

Energetik sistema, tarmoq yoki ularni ayrim qismlari loyihalayotganda ushbu aytib o'tilgan mulohazalarga rioya qilib, texnik-iqtisodiy nuqtai nazardan bir necha variant taqqoslanadi. Bunday taqqoslash maxsus texnik-iqtisodiy hisoblash usullari (metodlari) asosida bajariladi va eng kam xarajatli variant qabul qilinadi.

Ko'p yillar bo'yicha qo'llanib kelinayotgan «keltirilgan xarajatlar» usuli hozirgi paytda respublikamiz bozor iqtisodiyotiga o'tayotgan jarayonda o'zini oqlamay qoldi.

Hozirgi kunda «kumulyativ xarajatlar» usuli tavsiya etiladi. (kumulyativ so'zi «jamg'arish, to'plash, yig'ish» ma'nosini beradi). Albatta bir necha variantni taqqoslayotganimizda uskunani qurilishiga ajratilgan kapital mablag' (investitsiya), joriy inflyatsiya va uskunani ishlatishga bo'lgan hamma chiqimlarni (odatda bir necha yil bo'yichagi) hisobga olishimiz kerak.

Kumulyativ xarajatlar usuli shularni hammasini hisobga oladi va uni asosida variantlarni taqqoslash quyidagi formula yordamida o'tkaziladi:

$$Z_k = (1 + E_k) \cdot K_k + C_k \quad (10.1.1)$$

Bu yerda Z_k - har bir variantga to'g'ri keladigan kumulyativ xarajati.

K_k - uskuna qismlariga ajratilgan kapital mablag'lar yig'indisi.

E_k - kapital mablag'ga bank orqali qo'yilgan foizning darajasi, inflyatsiyani hisobga olgan holda o'zgarib turadi:

S_k - bir yillik uskunadan foydalanishga (uskunani ishlatish uchun) bo'lgan xarajatlar yig'indisi.

S_k xarajatlarni ochib yozamiz, bunda:

$$S_k = S_{kren} + S_{ktx} + S_{k\Delta E} \quad (10.1.2)$$

(10.1.2) dagi tarkibiy qismlarni ko'rib chiqamiz. Bunda $S_{\Sigma m}$ – bir variantga tegishli hamma uskunalarni «renovatsiya»siga (yangilanish) bo'lgan xarajatlar yig'indisi. Buni ma'nosi quyidagidan iborat. Har bir inshoot, uskuna (elektr tarmoqlari uchun transformatorlar, liniyalar va boshqalar) qandaydir n yil bo'yicha ishga loyiq bo'lishi mumkin. Masalan, metall tayanchlardagi liniyalar bir necha o'nlab yil ishda bo'lishi mumkin, yog'och tayanchlardagisi esa 10 yildan kam ishlashi mumkin, so'ngra bu liniyani almashtirish kerak. Bunga mablag' bo'lishi uchun kapital mablag'dan har yili yangilashga (to'liq yoki qisman almashtirish uchun) asosiy fond sifatida mablag' ajratilib turiladi. Demak renovatsiyani asosiy mablag' (fond) narxini shu fondni keyinchalik qisman yoki to'liq yangilash maqsadida asta-sekin ishlab chiqarilayotgan mahsulotni qiymatiga o'tkazish deb tushunsa bo'ladi. Renovatsiya xarajati har bir uskuna uchun alohida berilgan maxsus koeffitsiyentlar R_{REN} yordamida topiladi.

(10.1.2) formuladagi $S_{\Sigma n}$ uskunalarni davriy ta'mirlash va ularga tegishli xizmatlar uchun bo'lgan bir yillik xarajatlar yig'indisi. Endi (10.1.2) dagi $S_{\Sigma AE}$ bir yil bo'yicha tarmoqdagi elektr energiya isrofiga bo'lgan xarajatlarni hisobga oladi. Bu xarajatlar elektr energiyani yillik isrofi aniqlangandan keyin, O'zdavenergonazorat orqali beriladigan koeffitsientlar (bular 1 kVt soat narxini topishga yordam beradi va vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadi) yordamida hisoblanadi.

Shunday qilib, texnika nuqtai nazaridan bir-biriga teng bir necha variant taqqoslanayotganda ularni har biri uchun (7.1.1) asosida kumulyativ xarajatlar hisoblab chiqiladi va so'ng ishlab chiqishda eng kam xarajatga olib kelgan variant qabul qilinadi.

Muhim texnika iqtisodiy ko'rsatkich – kapital xarajatlar (investitsiya) K dir, ya'ni tarmoqlarni, stansiyalarni, energetika obyektlarini qurish uchun xarajatlar

Elektr tarmoqlari uchun

$$I = I_L + I_{P/S}$$

Bu yerda: I_L – liniyani qurish uchun investitsiya, so'm

$I_{P/S}$ – p/s'ni qurish uchun investitsiya, so'm.

Liniyani qurish uchun investitsiya qidiruv ishlari va trassani tayyorlash xarajatlaridan, tayanchlar, simlar, izolyatorlar va boshqa uskunalarni sotib olish uchun va ularni tashish, yig'ish va boshqa ishlar uchun sarflangan xarajatlardan iborat. Podstansiya qurilishi uchun investitsiya hududini tayyorlash, transformator, o'chirgich va boshqa uskunalarni sotib olish xarajatlaridan, moylash ishlari xarajatlaridan va boshqalardan iborat.

Investitsiya tarmoq elementlari narxining yaxlitlangan ko'rsatkichlari asosida yoki maxsus tuzilgan smeta asosida aniqlanadi.

Ikkinchi muhim texnik iqtisodiy ko'rsatkich-ishlatish xarajatlaridir, bular energetika uskunalari va tarmoqlarini bir yil bo'yicha ishlatish uchun kerak bo'ladi.

$$S = S_l + S_{a/l} + S_{a/s} = \frac{P_{sl} + P_{slj} P_{slj}}{100} \cdot H_l + \frac{P_{a/sl} + P_{a/slj} + P_{a/slm}}{100} \cdot H_{a/sl} + S_{a/s}$$

Bu yerda S_l , $S_{a/s}$ - liniya va podstansiya uchun ishlatish xarajatlari, ming so'm/yil

$S_{a/s}$ - elektr energiya isrofi narxi, ming so'm/yil.

$P_{sl}, \varphi P_{slj}, \varphi P_{slj}$ - bir yilda liniya uchun amortizatsiya,

oddiy ta'mirlash va xizmat ko'rsatish chegirmalari, %

$P_{a/sl}, P_{a/slj}, P_{a/slm}$ - xuddi shular podstansiya uchun.

Bu qo'shilmalarning qiymatlari ma'lumotnomada keltiriladi. Agar liniya va podstansiya uchun amortizatsiya, oddiy ta'mirlash va xizmat ko'rsatish xarajatlari birlashtirilsa, unda umuman tarmoq uchun ish xarajatlarini ifodasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$S = S_a + S_p + S_m + S_{a/s}$$

Amortizatsion chegirma kapital ta'mirlashga va yeyilib ishdan chiqqan va ma'naviy eskirgan uskunalarini almashtirish uchun kerak bo'ladigan mablag'larni yig'ishga sarf bo'ladigan xarajatlarni o'z ichiga oladi. Uskunaning xizmat vaqti qancha kam bo'lsa, shuncha amortizatsion chegirma katta bo'ladi.

Oddiy ta'mirlash uchun chegirma uskunalarini ish holatida saqlab turish uchun mo'ljallangan. Oddiy ta'mirlash vaqtida izolyatorlar almashtiriladi, tayanchlar va podstansiya uskunalarining qobig'i bo'yaladi, kichik shikastlanishlar tuzatiladi. Shikastlanishni oldini olish uchun tarmoqning barcha elementlari vaqti-vaqti bilan tekshirilib turiladi va profilaktiv sinovdan o'tkaziladi. Bu tadbirlar oddiy ta'mirlash chegirmalaridan mablag' bilan ta'minlanadi.

Xizmat ko'rsatish chegirmalari ishchi xodimlarning maoshiga hamda transport vositalariga xodimlar uchun uy joylar va boshqalarga sarflanadi.

Amortizatsion va oddiy ta'mirlash xarajatlarini birlashtirish mumkin:

$$C_a + C_p = P_e K$$

Bu yerda P_e - amortizatsiya va oddiy ta'mirlash uchun yillik chegirma, 1/yil.

Isrof bo'lgan elektr energiyasi narxi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$S_{\Delta} = \beta \cdot \Delta E$$

Bu yerda ΔE - elektr energiya isrofi, kVt. soat;

β - 1 kVt.soat elektr energiya isrofining narxi [sum/kVt.soat]

Texnik iqtisodiy ko'rsatkichlarga uzatiladigan elektr energiyaning tan narxi ham kiradi:

$$\Gamma = C / E$$

Bu yerda S - tarmoqni ishlatish xarajatlari, sum/yil;

G - bir yilda iste'molchilar olgan elektr energiya, kVt.soat.

Variantlarni texnik-iqtisodiy solishtirishda faqat texnik talablarga javob beradigan, ya'ni iste'molchilarni sifatli energiya bilan ta'minlaydigan, ishonchligi bir-xil bo'lgan variantlar solishtiriladi.

Texnik-iqtisodiy solishtirishning birinchi bosqichida ruxsat etilgan texnik talablar bo'yicha variantlar tanlanadi, ikkinchi bosqichda esa- ulardan texnik iqtisodiy ko'rsatkichlar bo'yicha optimal variant tanlanadi.

Masalan, rasmda ko'rsatilgan tarmoq variantlarini solishtirish kerak



10.1.1- rasm. Tarmoq sxemasining variantlari
a) radial; b) berk zanjirli.

Eng oson yo'l - bu K kapital xarajatlar va S ishlatish xarajatlarni aniqlash va ularni solishtirish. Agar $K_1 > K_2$ va $S_1 > S_2$ bo'lsa, unda ikkinchi variant (b) tanlanadi. Agar $K_1 > K_2$ va $S_1 < S_2$ bo'lsa, unda bunday variantlar qanday qilib solishtiriladi?

Eng qulay variantni aniqlaydigan iqtisodiy mezon sifatida kumulyativ xarajatlarni [sum/yil] minimumi olinadi:

$$Z_{\Sigma} = (1 + E_{\Sigma})K + S, \text{ qsho' m / yil}$$

Bu yerda K - jami kapital xarajatlar (investitsiya), sum

E_{Σ} - kapital xarajatlarni effektivligi normativ koeffitsiyenti foizda, %

S - yillik ishlatish xarajatlari, sum/yil.

Ishonchlilikni hisobga olib tarmoq variantini tanlash. Tarmoq rivojlanishining barcha solishtirilayotgan variantlari berilgan iste'mol tartibida (yuklamalar quvvatida) iste'molchilarni bir xil foydali elektro energiya bilan ta'minlashi kerak. Tarmoqning har bir varianti kerakli ishonchlilikni ta'minlashi lozim, bunda, me'yoriy hujjatlarda keltirilgan sharoitlarda topshirilgan funksiyani bajarish qobiliyati tushuniladi. Elektr ta'minoti ishonchliligiga bo'lgan talablar elektr iste'molchilarning

kategoriyasiga bog'liq holda, elektr uskunalari tuzilishi qoidalarida (EUTQ) ko'rsatilgan.

(EUTQ)ga asosan barcha elektr iste'molchilari kerakli ishonchlilik darajasi bo'yicha uchta kategoriyaga (I, II, III) bo'linadi:

Energosistema tarmoqlari ishonchlilikiga talablar me'yoriy hujjatlarda qat'iy (aniq) belgilangan. Bu hujjatlarda zaxiralar bo'yicha, tarmoqlar soni, podstantsiya transformatorlari soni, ulanish sxemalari va boshqalar bo'yicha talablar keltirilgan.

I kategoriya iste'molchilari uchun elektr ta'minotidagi uzilish oqibatidagi zararni iqtisodiy ekvivalent tarzida ko'rsatish mumkin emas. I va II kategoriya iste'molchilarini ta'minlovchi tarmoq sxemalarining ishonchlilikini baholash mezonlari sifatida ishonchlilikning quyidagi texnik ko'rsatkichlari qabul qilinadi:

- uzilish oqimi parametri (bir yilda o'rtacha uzilish soni), ω ;
- bir yilda uzluksiz ishlash ehtimoli, q , nisb.birlik%
- elektr ta'minoti tiklanishini o'rtacha vaqti T_v , yil/uzilish.

Xarajatlar bo'yicha shunday I - kategoriya iste'molchilarini ta'minlovchi tarmoq variantlarini solishtirish kerakki, bunda ular uchun ishonchlilikning texnik ko'rsatkichlari tegishli me'yoriy hujjatlarda aniq belgilangan talablarni qoniqtirsin.

II - kategoriya iste'molchilari elektr ta'minotidagi uzilish oqibatlaridan kutilayotgan yillik xalq xo'jaligiga keltiriladigan zararni (U) iqtisodiy ekvivalent sifatida foydalanish mumkin, ming so'm/yil:

Elektr energiyani bermaslik natijasidagi ziyon U , xarajatlar tarkibiga kiritiladi va II - kategoriya iste'molchilarini ta'minlovchi tarmoq variantlarini tanlashda hisobga olinadi. Agarda tarmoq variantlari ishonchlilik bo'yicha bir biridan ancha farq qilsa, bunda, elektr ta'minoti buzilish natijasida ziyonni o'z ichiga olgan eng kam xarajatlar bo'lgan variant tanlanadi.



10.1.2 - rasmda ko'rsatilgan tarmoq variantlaridan birini ishonchlilikni hisobga olgan holda tanlash uchun, har qaysi variantning hisobiy xarajatlarga elektr energiyani yetkazib bermaslik natijasidagi o'rtacha yillik ziyon qo'shilib va eng kam xarajatli variant tanlanadi.

10.1.2 -rasm. Tarmoq variantlari:

a) bitta liniya; b) ikkita parallel liniya; v) liniya-transformator bloki.

$$Z_1 = S_1 + (1 + E_1)K_1 + U_1$$

Ziyon aniqlanadi:

$$U_v = \omega T_{12} P_{12} E_2 U_{12}$$

Bu yerda ω - uzilish oqimi parametri (bir yilda o'rtacha uzilishlar soni);

T_v - o'rtacha yillik tiklash vaqti, yilG'uzilish;

R_{k0} - me'yoriy tartib uchun jami yuklama yig'indisi, kVt;

E_N - iste'molchi yuklamasini cheklash ko'effitsiyenti;

U_{ov} - elektr ta'minotining majburiy uzilishi oqibatidan keladigan hisobiy solishtirma yillik ziyon ming so'm/kVt.yil.

Elektr tarmoqlari elementlarining ω va T_v ko'rsatkichlari ma'lumotnomadan olinadi.

E_H ko'effitsiyenti shu tartibdagi uzilishda o'chirilishi zarur bo'lgan yuklamani me'yoriy tartibdagi jami yuklama yig'indisi nisbatiga teng. Elektr ta'minoti to'liq uzilsa, $E_N=1$ ga teng. To'la zaxiralangan tarmoqda 10.1.2 b-rasm) $E_N=0$.

P_{NEN} -kattaligi, uzilishdan o'chiriladigan yuklama quvvatiga teng.

Ziyonning solishtirma ko'rsatkichlari chiziqlardan yuklama tarkibiga va E_H ga bog'liq holda aniqlanadi.

Yuqorida ko'rsatilgan ziyonning ifodasi elektr tarmog'ining bitta elementini avariya o'chirish mumkin bo'lgan holatga tegishli. Haqiqatdan elektr tarmog'ida avariya natijasida bir nechta elementlar: liniyalar, transformatorlar, uchirgichlar, shinalar va boshqalar o'chirilishi mumkin. Shuning uchun, bu holatdagi o'rganilayotgan tarmoq uchastkasining tarkibiy almashtiruv sxemasi tuziladi.

10.1.2 b- rasm - parallel ulangan elementlarning tarkibiy sxemasi

10.1.2 v- rasm - ketma-ket ulangan elementlarning tarkibiy sxemasi.

Ketma-ket ulangan elementlardan tashkil topgan tarmoqning tarkibiy sxema shoxobchasi uchun majburiy (avariyasi) bekor to'xtab turishdan ziyonning matematik kutilishi U_v aniqlanadi:

$$U_v = K_v \cdot R_{k0} \cdot E_2 U_{12}$$

Bu yerda K_v - majburiy bekor to'xtab turish ko'effitsiyenti, (nisbiy birlikda).

Tarmoqning bir elementi uchun

$$K_g = \omega T_g$$

Elektr tarmoqlarini loyihalash vaqtida ishonchlikni hisobga olish uchun tarmoq elementlarini avariya o'chirilishidan tashqari reja asosida o'chirilishini ham (rejali ta'mirlash paytida) hisobga olish kerak. Bunda, avariya va rejali bekor to'xtab turish sababli elektr ta'minotini uzulishidan ko'rilgan ziyonlarning matematik kutilishlari yig'indisi xarajat tarkibiga kiritiladi.

Nazorat savollari:

1. Kumulyativ xarajatlar uchun nimadan iborat?
2. Kapital xarajatlar va ishlatish xarajatlari nimalardan iborat?
3. Tanlangan variantlar texnik iqtisodiy qanday solishtiriladi?
4. Ishonchlik talablari bo'yicha variantlar qanday tanlanadi?

10.2. Tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha simlarning kesim yuzasini tanlash

Ko'pchilik elektr tarmoqlarini loyihalash va qurishda, simlarning iqtisodiy kesim yuzasini tanlash eng muhim masalalardan biri hisoblanadi. Xususan ko'pgina EULni qurish va ishlatish juda katta miqdordagi kapital mablag', sim materiallarining sarfi, elektr sistemalarida quvvat va elektr energiya isrofi bilan bog'langan.

Elektr sistemalarining iqtisodiylikiga (mamlakatni hozirgi masshtabda elektrlashtirish paytida) tarmoqning shunday jiddiy ta'siri bo'lgani tufayli simlarning kesim yuzasini iqtisodiy maqsadga muvofiq tanlash muhim ahamiyatga egadir. Faqat 10 kV va undan past kuchlanishli tarmoqlarning o'zidagi elektr energiya isrofi, elektr sistemasi tarmoqlaridagi umumiy energiya isrofining 60-70% ni tashkil qiladi.

Shu bilan birga bu tarmoqlarning simlari va kabellariga butun tarmoqlarda sarf bo'ladigan rangli metallarni yarmidan ko'pi sarf bo'ladi.

Hozirgi vaqtda simlarni iqtisodiy kesim yuzasini tanlashda biror aniq usul bo'lmagani uchun oldindan qo'llanib kelinayotgan keltirilgan xarajatlarga asoslangan usuldan foydalanamiz.

Shunga asosan simning iqtisodiy kesim yuzasi deb, keltirilgan xarajatning minimum qiymatiga taalluqli kesim yuzasi aytiladi. Simning iqtisodiy kesim yuzasining tokni iqtisodiy zichligini normaga solingan qiymati bo'yicha yoki yuklamaning iqtisodiy intervali bo'yicha tanlanishi mumkin.

Tokning iqtisodiy zichligi elektr tarmoqlardagi 1 km simning qurilish narxi va simning kesim yuzasi orasidagi bog'lanish to'g'ri chiziqli bog'lanishga yaqin degan taxminga asosanib tanlanadi:

$$K = a + vF \quad (10.2.1)$$

Bu yerda a - kesim yuzasiga bog'liq bo'lmagan narxning o'zgarman tashkil etuvchisi (qidiruv ishlariga, loyihalashga, yo'llarni, aloqa liniyalarini yotqizishga va boshqalarga sarflangan mablag');

v - 1 km liniyani qurishda simning kesim yuzasiga qarab narx o'zgarishini hisobga oladigan qimmatlashish koeffitsiyenti. (so'm/km.mm²)

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

$$C_{\text{isr}} = 3I^2(\rho/F) \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} \quad (10.2.2)$$

Bu yerda I - normal holatga tegishli liniyadagi maksimal tok, A.

ρ - sim materialining solishtirma qarshiligi;

τ - maksimal quvvat isrofi ajraladigan vaqt, soat;

β - elektr energiya isrofining solishtirma narxi (so'm/kVt.soat)

(10.2.1) va (10.2.2) larni hisobga olganda 1 km liniya uchun keltirilgan xarajat quyidagiga teng bo'ladi:

$$Z = (E_c + p)(a + vF) + 3I^2(\rho/F) \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} \quad (10.2.3)$$

Bu yerda p - liniyani amortizatsiyasiga, tuzatishga va u uchun xizmat qiluvchilarga ajratilgan mablag' koeffitsiyenti.

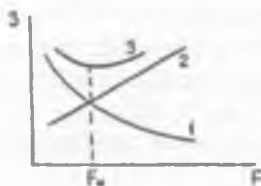
Keltirilgan xarajatning eng kichik qiymati bo'ladi, qachonki

$$\frac{dZ}{dF} = (E_c + p)v - 3I^2(\rho/F)\tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} = 0$$

Bundan tokning iqtisodiy zichligi:

$$j_{\text{opt}} = I/F = \sqrt{(E_c + p) / 3\rho \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}} \quad (10.2.4)$$

Yuqorida aytilgan liniyani ishlatish (ekspluatatsiya)ga bo'lgan yillik xarajatlarni simning kesim yuzasiga bog'liqligini egri chiziqli o'zgarishli 10.2.1-rasmda ko'rsatilgan.



10.2.1-rasm. Yillik keltirilgan xarajatning simni kesim yuzasiga bog'lanishi

Undan ko'rib turibmizki $C_{\text{isr}} = 3I^2(\rho/F) \cdot \tau \cdot \beta$ (energiyani isrofiga ketgan hara-jat) ga tegishli 1 - egri chiziq, simning kesim yuzasiga teskar

munosabatda o'zgaradi, a'zolar $C = (E_0 + p) \cdot (a + nF)$ ifodalaydigan (2-chiziq) keltirilgan xarajatning apital mablag'ga tegishli qismi kesim yuzasiga taxminan to'g'ri chiziqli bog'langandir, chunki simning kesim yuzasi katta bo'lsa, boshlang'ich apital mablag' sarfi shuncha ko'p bo'ladi, 1- va 2- egri chiziqlarni qo'shib 3 – egri chiziq, ya'ni kesim yuzasi F ga bog'liq bo'lgan yillik keltirilgan xarajatlarning o'zgarishini olamiz (10.2.1-rasm).

Simning kesim yuzasi kattalashishi tufayli energiya isrofining narxi kamayadi, lekin liniyani ishlatishga bo'lgan mablag' ajratish ko'payadi, bunda umumiy egri chiziqdagi minimumga tegishli bo'lgan kesim yuzasini qiymati iqtisodiy kesim yuzasi deb atalgan qandaydir F_1 kesim yuzasiga to'g'ri keladi.

Shunday qilib, simni iqtisodiy kesim yuzasini aniqlash uchun matematik funksiya $Z=f(F)$ ni bilish, bu funktsiyaning minimumini va unga tegishli F_1 ni topishning o'zi yetarliga o'xshaydi. Bunday urinishlar ko'pchilik mualliflar tomonidan qilingan. Birlari faqat simlarning narxini hisobga olib, liniyaning qurilish qismini hisobga olishmagan, boshqalari rangli metallarning iqtisod qilishni hisobga oladigan tuzatishlarni kiritishgan. Ammo, iqtisodiy kesim yuzasini qiymatiga ta'sir etuvchi murakkab faktorlarning barchasini hisobga olish matematik jihatdan mumkin emas, shuning uchun EUTQ da har xil materiallardan tayyorlangan havo va kabel liniyalari uchun bir qator texnik-iqtisodiy hisoblarga asosan, yana har xil maksimum yuklamadan foydalanish vaqti T_{maks} uchun iqtisodiy kesim yuzasini aniqlashda quyidagi ifodadan foydalanish tavsiya etiladi.

$$F = \frac{I_{\text{max}}}{j_u} \quad (10.2.5)$$

Bu yerda I_{max} - tarmoqni normal ish holatida simdagi maksimal yuklama toki, A

j_u – tok oquvchi simning materialiga, liniyaning tuzilishiga, maksimal yuklamadan foydalanish vaqtiga bog'liq holda aniqlanadigan tokning iqtisodiy zichligi, A/mm².

Sim materialining o'tkazuvchanligi qancha yuqori bo'lsa (mis-alyumin), yoki liniya qancha qimmatroq bo'lsa (kabel-havo liniyasi), shuncha tokning zichligi kattadir va shunga bog'liq simning iqtisodiy kesim yuzasi F_u kichikdir.

j_1 va F_1 ni maksimal yuklamalardan foydalanish vaqti T_{mak} ga bog'liqligi teskari o'zgarishlidir, ya'ni T_{mak} ni kattalashishi bilan j_1 kamayadi, F esa

kattalashadi, chunki T_{mak} ni o'sishi bilan keltirilgan xarajatdagi elektr energiya narxi oshadi. (10.2.4 ifodadagi (o'sadi).

Liniyadagi l_{mak} ni qiymatini liniya me'yoriy ishlayotgan holatida olish kerak, ya'ni tarmoqning shikastdan keyingi va tuzatilish holatidagi tokni oshishi hisobga olinmaydi. Masalan, me'yoriy liniyalarda, shikastdan keyin bittasi ishlab, ikki marta ko'p yuklamani ta'minlaydi, ammo, bu holat uzoq bo'lmagani uchun, iqtisodiy kesim yuzaga ta'sir qilmaydi. Bu yerda liniyaning kesim yuzasini mumkin bo'lgan qizish darajasi bo'yicha maksimal tokka asosan tekshirish kerak.

Ishlatish sharoitiga asosan tavsiya etilgan tokning iqtisodiy zichligi qo'shimcha jadvallarda keltirilgan.

Shu yo'l bilan topilgan kesim yuzasi F_i ni standartga yaqin qilib yaxlitlanadi.

Agarda tarmoqdagi yuklama maksimumi tungi (kechki) vaqtga to'g'ri kelsa, unda EUTQ lariga asosan tokning iqtisodiy zichligini (jadvaldagi) 40% ga oshiriladi. 16 mm² va undan kichik kesim yuzali izolyatsiya qilingan simlarda ham j_i ni 40% ga kattalashtirish mumkin.

Uchastkalari katta bo'lmagan va ulardagi T_{mak} lar har xil bo'lgan tarmoqlarda iqtisodiy kesim yuzasi har bir uchastka uchun alohida aniqlanadi, lekin bunda uchastkalardagi har xil T_{mak} o'rniga butun tarmoq uchun uning o'rtacha qiymati $T_{o'rtmak}$ quyidagi ifodaga asoslanib qabul qilinadi.

$$T_{o'rtmak} = \frac{\partial}{P_{maks}} = \frac{P_{1maks} \cdot T_{1maks} + P_{2maks} \cdot T_{2maks} + \dots}{K_o (P_{1maks} + P_{2maks} + \dots)} = \frac{\sum P_{i maks} \cdot T_{i maks}}{K_o (\sum P_{maks})} \quad (10.2.6)$$

Bu yerda K_o – yuklamalar maksimumi bir vaqtga to'g'ri kelmasligidan hisobga oladigan koeffitsiyent.

Agarda iste'molchilar liniyaga o'zaro katta bo'lmagan masofalarda ulangan bo'lsa, unda amaliy jihatdan va liniyaning tuzilishi jihatidan har bir uchastka uchun har xil kesim yuzasini qabul qilish maqsadga muvofiq emas. Bunday holda eng katta yuklangan uchastka (liniyaning boshi) uchun olinadigan bir xil iqtisodiy kesim yuzasi qabul qilinadi. j_i qiymatiga tuzatish koeffitsiyenti K_U kiritiladi, ya'ni ekvivalent qiymat $j = j_i K_U$ qabul qilinadi. Bu yerda j_i – oxirida bir yuklamasi bo'lgan va $T_{mak} = T_{o'rtmak}$ bo'lgan holdagi bir liniyaga tegishli tokning iqtisodiy zichligi.

K_U koeffitsiyenti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$K_v = \sqrt{\frac{I_1^2 L}{I_1^2 \ell_1 + I_2^2 \ell_2 + \dots + I_n^2 \ell_n}} \quad (10.2.7)$$

Bu yerda I_1, I_2, I_n – ayrim uchastkalardagi yuklama toklari;

$\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_n$ – ayrim uchastkalarining uzunliklari;

L – liniyaning to'liq uzunligi.

Simlarning kesim yuzasi kuchlanishi 500 kV gacha bo'lgan HL larida tokning iqtisodiy zichligi asosida tanlanadi. 500 kV dan yuqori kuchlanishli HL larida hamda 110 kVli va undan yuqori kuchlanishli KL larida tokning iqtisodiy zichligidan foydalanish tavsiya etilmaydi. Tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha simning kesim yuzasi quyidagi hollarda tanlanmaydi:

a) sanoat korxonalarining va qurilmalarining kuchlanishi 1000 V gacha bo'lgan tarmoqlarda maksimal yuklamadan foydalanish vaqti 4000-5000 s dan ortiq bo'lmasa;

b) 1000 V gacha bo'lgan ayrim elektr iste'molchilargacha cho'zilgan shoxobchalar va yorituv tarmoqlarida;

v) vaqtinchalik qurilmalarning va ish muddati 3 yildan 5 yilgacha bo'lgan qurilmalarning tarmoqlarida.

Tokni me'yorlangan iqtisodiy zichligi bo'yicha simlarning kesim yuzasini tanlash metodi shunday kamchilikka egaki, bu zichlikda har xil turdagi liniyalar uchun amortizatsiyaga bo'lgan mablag' ajratish qayd qilingan deb aniqlanadi va simlarning solishtirma narxi kesim yuzasiga nisbatan to'g'ri chiziqli bog'lanishda deb hisoblanadi. Keltirilgan omillar iqtisodiy kesim yuzasini tanlashda katta xatoliklarga olib keladi, bu ayniqsa bir turda bo'lmagan tarmoqlarda, qaysiki ayrim uchastkalari har xil texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlariga (sim materialini shaklan ishlanishi, amortizatsiyaga ajratish va boshqalar) ega bo'lganda bilinadi. Maksimal yuklamadan foydalanish vaqtining katta oraliqdagi ham sezilarli xatoni yuzaga keltiradi. Masalan uchinchi oraliq uchun (qo'shimcha jadval) $T_{\text{min}}=5000$ s bo'lganda F_1 ni aniqlashdagi xatolik +30%; $T_{\text{max}}=8760$ s da esa xatolik intervali o'rtacha vaqt qiymati uchun tanlangan kesim yuzasiga nisbatan 20% ni tashkil etadi.

Yuklamaning iqtisodiy oralig'i (intervali) metodi aniqroq yyechimini beradi, bunda keltirilgan xarajatga ta'sir qiladigan simlarni standart kesim yuzasini uzluqli, parametrlarni haqiqiy qiymati hisobga olinadi.

Simlarning ma'lum bir kesim yuzasi uchun shunday yuklamalar oraliq'l iqtisodiy deyiladiki, qachonki shu oraliqlardagi yuklamalarga tegishli bir o'lcham tokni, (yoki quvvatni) bir o'lcham uzunlikka uzatish uchun bo'ladigan keltirilgan xarajat boshqa kesim yuzalaridagiga nisbatan eng minimal bo'ladi.

Uzunlik birligidagi aktiv qarshiligi r (Om) li standart F_m kesim yuzali 1 km liniyaga tegishli keltirilgan xarajat tok I ga bog'langan ravishda quyidagi ifoda orqali topiladi.

$$Z_{(m)} = (E_{\text{av}} + p)K_{(m)} + ZI^2 r_{(m)} - \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} \quad (10.2.8)$$

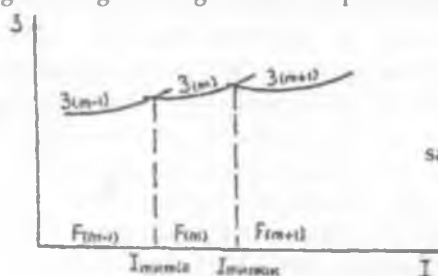
Ushbu kesim yuzasi F_m uchun iqtisodiy oraliqni hosil qiluvchi mumkin bo'lgan yuklamalar qiymatini kesim yuzalari $F_{(n-1)}$ va F_m , va $F_{(m+1)}$ ga taalluqli keltirilgan xarajatlarni bir-biriga tenglashtirilib aniqlash mumkin. $Z_m = Z_{(m-1)}$ shartiga asoslanib, kesim yuzasi uchun tokni minimal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

$$I_{(m) \text{ opt}} = \sqrt{(E_{\text{av}} + p)(K_{(m)} - K_{(m-1)}) \cdot 10^{-3} / 3\tau\beta(r_{(m-1)} - r_{(m)})} \quad (10.2.9)$$

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

$$I_{(m) \text{ max}} = \sqrt{(E_{\text{av}} + p)(K_{(m)} - K_{(m)}) \cdot 10^{-3} / 3\tau \cdot \beta(r_{(m)} - r_{(m)})} \quad (10.2.10)$$

Simlarning iqtisodiy kesim yuzasini (10.2.9) va (10.2.10) ga asosan tuzilgan iqtisodiy oraliq jadvallari orqali, yoki (10.2.8) ifodaga asosan har xil kesim yuzalari uchun qurilgan, keltirilgan xarajatning yuklama tokiga bog'lanishi grafiklariga asosan aniqlash mumkin.



10.2.2- rasm. Keltirilgan sarfni yuklamaga bog'liqligi.

Shunday qilib, iqtisodiy nuqtai nazardan topilgan (j_u yoki iqtisodiy intervalga asosan) kesim yuzalari standart qiymatga yaxlitlanadi va tokni mumkin bo'lgan qizdirish darajasi bo'yicha (HL uchun shikastlanishdan keyingi holat), to'jlanishga (110 kV va undan yuqori kuchlanishli havo liniyalari), mexanik mustahkamlikka (35 kV gacha bo'lgan HL), mumkin

bo'lgan kuchlanish yo'qotilishiga (35 kV gacha bo'lgan katta uzunlikdagi tarmoqlar) tekshiriladi.

Nazorat savollari:

1. Tokni iqtisodiy zichligi bo'yicha simlarni kesim yuzasi qanday tanlanadi?
2. Yillik keltirilgan xarajatlar bilan simning kesim yuzasi qanday bog'langan?
3. Tokning me'yorlangan iqtisodiy zichligi qanday olinadi?
4. Maksimal yuklamada ishlash vaqti T_{mak} bilan iqtisodiy zichligi qanday bog'langan?

10.2.1. Mavzuga doir misollar

1-Misol. (80+j40) MVA quvvat iste'mol qiladigan korxona 110 kV kuchlanishli ikki sistemali elektr uzatuv liniyasi orqali ta'minlanishi kerak. Maksimal yuklamada ishlash vaqti 4500 s. Po'lat alyumin simning kesim yuzasini toping.

Yechish: Liniyadagi ishchi tokni aniqlaymiz.

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2} \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} U_N} = \frac{\sqrt{80^2 + 40^2}}{2 \cdot 1,73 \cdot 110} = 235 \text{ A}$$

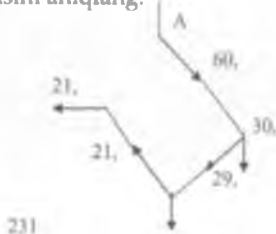
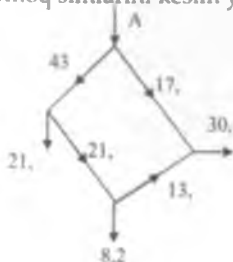
Jadvaldan tokni iqtisodiy zichligini aniqlaymiz $j_0 = 1,1 \text{ A/mm}^2$. Liniyani iqtisodiy kerakli kesim yuzasi

$$F_a = \frac{I}{j_a} = \frac{235}{1,1} = 213 \text{ mm}^2$$

Standart bo'yicha yaqin kesim yuza AC-240 markali simni tanlaymiz va qizishga tekshiramiz. Bunday apital uchun xonadan tashqaridagi $+20^\circ\text{C}$ da $I_{\text{rx}} = 610 \text{ A}$. Tekshirish shuni ko'rsatadiki $I < I_{\text{rx}}$. Avariya holatida (bitta liniya uzilganda) tarmoqdagi ishchi toki

$$I_a = 2 \cdot 235 = 470 \text{ A} < I_{\text{rx}}$$

- a) Sanoat korxonasi rasmda ko'rsatilgan 110 kVli berk zanjirli tarmoqdan ta'minlanadi. Uchastkalardagi quvvatlar megovoltlarda rasmda ko'rsatilgan. Maksimal yuklamada ishlash vaqti 4800 soat. Tarmoq simlarini kesim yuzasini aniqlang.



Simlarning ma'lum bir kesim yuzasi uchun shunday yuklamalar oralig'ini iqtisodiy deyiladi, qachonki shu oraliqlardagi yuklamalarga tegishli bir o'lcham tokni, (yoki quvvatni) bir o'lcham uzunlikka uzatish uchun bo'ladigan keltirilgan xarajat boshqa kesim yuzalaridagiga nisbatan eng minimal bo'ladi.

Uzunlik birligidagi aktiv qarshiligi r (Om) li standart F_m kesim yuzali 1 km liniyaga tegishli keltirilgan xarajat tok I ga bog'langan ravishda quyidagi ifoda orqali topiladi.

$$Z_{(m)} = (E_c + p)K_{(m)} + ZI^2 r_{(m)} \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} \quad (10.2.8)$$

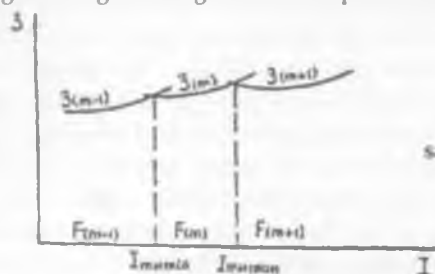
Ushbu kesim yuzasi F_m uchun iqtisodiy oraliqni hosil qiluvchi mumkin bo'lgan yuklamalar qiymatini kesim yuzalari $F_{(n-1)}$ va F_m va $F_{(m+1)}$ ga taalluqli keltirilgan xarajatlarni bir-biriga tenglashtirilib aniqlash mumkin. $Z_m = Z_{(m-1)}$ shartiga asosan, kesim yuzasi uchun tokni minimal qiymati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

$$I_{(m) \min} = \sqrt{(E_c + p)(K_{(m)} - K_{(m-1)}) \cdot 10^{-3} / 3\tau\beta(r_{(m-1)} - r_{(m)})} \quad (10.2.9)$$

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

$$I_{(m) \max} = \sqrt{(E_c + p)(K_{(m+1)} - K_{(m)}) \cdot 10^{-3} / 3\tau\beta(r_{(m)} - r_{(m+1)})} \quad (10.2.10)$$

Simlarning iqtisodiy kesim yuzasini (10.2.9) va (10.2.10) ga asosan tuzilgan iqtisodiy oraliq jadvallari orqali, yoki (10.2.8) ifodaga asosan har xil kesim yuzalari uchun qurilgan, keltirilgan xarajatning yuklama tokiga bog'lanishi grafiklariga asosan aniqlash mumkin.



10.2.2- rasm. Keltirilgan sarfni yuklamaga bog'liqligi.

Shunday qilib, iqtisodiy nuqtai nazardan topilgan (yu yoki iqtisodiy intervalga asosan) kesim yuzalari standart qiymatga yaxlitlanadi va tokni mumkin bo'lgan qizdirish darajasi bo'yicha (HL uchun shikastlanishdan keyingi holat), tojlanishga (110 kV va undan yuqori kuchlanishli havo liniyalari), mexanik mustahkamlikka (35 kV gacha bo'lgan HL), mumkin

bo'lgan kuchlanish yo'qotilishiga (35 kV gacha bo'lgan katta uzunlikdagi tarmoqlar) tekshiriladi.

Nazorat savollari:

1. Tokni iqtisodiy zichligi bo'yicha simlarni kesim yuzasi qanday tanlanadi?
2. Yillik keltirilgan xarajatlar bilan simning kesim yuzasi qanday bog'langan?
3. Tokning me'yorlangan iqtisodiy zichligi qanday olinadi?
4. Maksimal yuklamada ishlash vaqti T_{mak} bilan iqtisodiy zichligi qanday bog'langan?

10.2.1. Mavzuga doir misollar

1-Misol. (80+40) MVA quvvat iste'mol qiladigan korxona 110 kV kuchlanishli ikki sistemali elektr uzatuv liniyasi orqali ta'minlanishi kerak. Maksimal yuklamada ishlash vaqti 4500 s. Po'lat alyumin simning kesim yuzasini toping.

Yechish: Liniyadagi ishchi tokni aniqlaymiz.

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2} \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} U_n} = \frac{\sqrt{80^2 + 40^2}}{2 \cdot 1,73 \cdot 110} = 235 \text{ A}$$

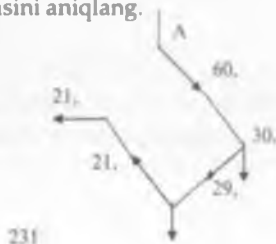
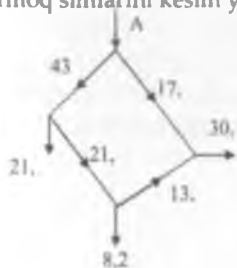
Jadvaldan tokni iqtisodiy zichligini aniqlaymiz $j_0 = 1,1 \text{ A/mm}^2$. Liniyani iqtisodiy kerakli kesim yuzasi

$$F_n = \frac{I}{j_n} = \frac{235}{1,1} = 213 \text{ mm}^2$$

Standart bo'yicha yaqin kesim yuza AC-240 markali simni tanlaymiz va qizishga tekshiramiz. Bunday apital uchun xonadan tashqaridagi $+20^\circ\text{C}$ da $I_{\text{rus}} = 610 \text{ A}$. Tekshirish shuni ko'rsatadiki $I < I_{\text{rus}}$. Avariya holatida (bitta liniya uzilganda) tarmoqdagi ishchi toki

$$I_n = 2 \cdot 235 = 470 \text{ A} < I_{\text{rus}}$$

- a) Sanoat korxonasi rasmda ko'rsatilgan 110 kVli berk zanjirli tarmoqdan ta'minlanadi. Uchastkalardagi quvvatlar megovoltlarda rasmda ko'rsatilgan. Maksimal yuklamada ishlash vaqti 4800 soat. Tarmoq simlarini kesim yuzasini aniqlang.



Yechish. Tarmoq uchastkalari oqayotgan ishchi tokini aniqlaymiz

$$I_1 = \frac{S_1 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{43 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 226 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{S_2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{21,5 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 113 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{S_3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{13,3 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 70 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{S_4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{17,5 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 92 \text{ A}$$

Po'lat alyumin apital uchun T-4800 soat, jadvaldan olamiz $J_{uq}=1,1 \text{ A/mm}^2$. Uchastkalardagi simlarni kesim yuzasi

Yaqin standart kesim yuzani tanlaymiz

$$F_1 = 240 \text{ mm}^2; I_{nom} = 610 \text{ A}; \quad F_2 = 120 \text{ mm}^2; I_{nom} = 380 \text{ A};$$

$$F_3 = 70 \text{ mm}^2; I_{nom} = 265 \text{ A}; \quad F_4 = 95 \text{ mm}^2; I_{nom} = 330 \text{ A};$$

Hamma tanlangan kesim yuzalar to'planish shartini qoniqtiradi. Minimal ruxsatlangan kesim yuzadan katta. Eng og'ir avariya holati, tarmoqni birinchi uchastkasi uzilganda tarmoq uchastkalarida quvvat oqimi rasmda ko'rsatilgandek bo'ladi. Avariya dan keyingi holatda eng katta tok tarmoqni to'rtinchi uchastkasidan oqadi, uning qiymati

$$I_{max} = \frac{60,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 318 \text{ A}$$

Uning qiymati AC-95 markali simni ruxsatlangan $I_{nom}=330 \text{ A}$ dan kichik.

a) 110 kV li magistral liniyadan uchta I podstansiyalari ta'minlanadi.

Rasmda quvvatlar megavoltamperda ko'rsatilgan. Maksimal yuklamada ishlash vaqti 4200 s bo'lganda liniya uchastkalari simlari-ning kesim yuzasini aniqlang.



Yechish: Liniya uchastkalaridan oqadigan quvvatlarni aniqlaymiz. Uchinchi uchastkadagi quvvat $S_3=13,5 \text{ mVA}$, ikkinchi uchastkadagi $S_2=S_3+S_b=13,5+5,2=18,7 \text{ mVA}$ va birinchidagi $S_1=S_2+S_a=18,7+4,8=23,5$

Uchastkalardan oqayotgan ishchi tokini aniqlaymiz

$$I_1 = \frac{23,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3 \cdot 110}} = 123 \text{ A}; \quad I_2 = \frac{18,7 \cdot 10^3}{\sqrt{3 \cdot 110}} = 98,3 \text{ A}; \quad I_3 = \frac{13,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3 \cdot 110}} = 71 \text{ A};$$

Jadvaldan $T_{\max}=4200$ s uchun tokni iqtisodiy zichligi $j_{\text{uq}}=1,1 \text{ A/mm}^2$.
Uchastkalarda simlarni kesim yuzasi

$$F_1 = \frac{123}{1,1} = 112 \text{ mm}^2; \quad F_2 = \frac{98,5}{1,1} = 89,5 \text{ mm}^2; \quad F_3 = \frac{71}{1,1} = 64,5 \text{ mm}^2;$$

Yaqin standart kesim yuzani tanlaymiz

$F_1=120 \text{ mm}^2$; $I_{\text{ru}}=380 \text{ A}$; $F_2=95 \text{ mm}^2$; $I_{\text{ru}}=330 \text{ A}$; $F_3=70 \text{ mm}^2$; $I_{\text{ru}}=265 \text{ A}$;

Hamma kesim yuzalar qizdirish $I < I_{\text{ru}}$ shartini qoniqtiradi.

10.3. Nominal kuchlanishni tanlash

Elektr tarmog'ining nominal kuchlanishi uning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlariga hamda texnik xarakteristikalariga jiddiy ta'sir etadi. Masalan, agar nominal kuchlanish ko'tarilsa quvvat va energiya isrofi kamayadi, ya'ni ish xarajatlari kamayadi, simlarning kesim yuzasi va liniya qurilishi uchun sarflangan metall kamayadi, liniyalarda uzatilayotgan quvvat oshadi, lekin tarmoq qurilishi uchun sarflangan kapital xarajatlar ortadi.

Past nominal kuchlanishli tarmoq kam kapital xarajatlar talab qiladi, lekin quvvat va elektr energiya isrofi oshishi sababli katta ishlatish xarajatlarga olib keladi, bundan tashqari, kam o'tkazish qobiliyatiga ega. Shuning uchun, tarmoqni loyihalash vaqtida nominal kuchlanishni to'g'ri tanlash muhim hisoblanadi.

Elektr tarmoqlarning nominal kuchlanishi amaldagi standartlarda ko'rsatilgan (GOST da).

Iqtisodiy ma'qul nominal kuchlanish bir necha omillarga bog'liq:

- yuklama quvvatiga;
- TM dan yuklamani uzoqligiga;
- yuklamalarni joylashishiga;
- elektr tarmog'ining tuzilishiga;
- kuchlanishni rostdash usullariga va boshqalarga.

Nominal kuchlanishni (U_{nom}) taxminiy qiymatini uzatilayotgan quvvat qiymati va u uzatilayotgan masofa bo'yicha aniqlash mumkin. Liniya orqali uzatilayotgan masofa qancha katta bo'lsa, shuncha texnik va

Yechish. Tarmoq uchastkalari oqayotgan ishchi tokini aniqlaymiz

$$I_1 = \frac{S_1 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{43 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 226 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{S_2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{21,5 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 113 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{S_3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{13,3 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 70 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{S_4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{17,5 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 92 \text{ A}$$

Po'lat alyumin apital uchun T-4800 soat, jadvaldan olamiz $J_{uq}=1,1$ A/mm². Uchastkalardagi simlarni kesim yuzasi

Yaqin standart kesim yuzani tanlaymiz

$$F_1 = 240 \text{ mm}^2; I_{nom} = 610 \text{ A}; F_2 = 120 \text{ mm}^2; I_{nom} = 380 \text{ A};$$

$$F_3 = 70 \text{ mm}^2; I_{nom} = 265 \text{ A}; F_4 = 95 \text{ mm}^2; I_{nom} = 330 \text{ A};$$

Hamma tanlangan kesim yuzalar tojlanish shartini qoniqtiradi. Minimal ruxsatlangan kesim yuzadan katta. Eng og'ir avariya holati, tarmoqni birinchi uchastkasi uzilganda tarmoq uchastkalarida quvvat oqimi rasmda ko'rsatilgandek bo'ladi. Avariya dan keyingi holatda eng katta tok tarmoqni to'rtinchi uchastkasidan oqadi, uning qiymati

$$I_{max} = \frac{60,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 318 \text{ A}$$

Uning qiymati AC-95 markali simni ruxsatlangan $I_{nom}=330$ A dan kichik.

a) 110 kV li magistral liniyadan uchta I podstansiyalari ta'minlanadi.

Rasmda quvvatlar megavoltamperda ko'rsatilgan. Maksimal yuklamada ishlash vaqti 4200 s bo'lganda liniya uchastkalari simlarining kesim yuzasini aniqlang.



Yechish: Liniya uchastkalaridan oqadigan quvvatlarni aniqlaymiz.

Uchinchi uchastkadagi quvvat $S_3=13,5$ mVA, ikkinchi uchastkadagi

$S_2=S_1+S_3=13,5+5,2=18,7$ mVA va birinchidagi $S_1=S_2+S_3=18,7+4,8=23,5$

Uchastkalardan oqayotgan ishchi tokini aniqlaymiz

$$I_1 = \frac{23,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 123 \text{ A}; \quad I_2 = \frac{18,7 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 98,3 \text{ A}; \quad I_3 = \frac{13,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 71 \text{ A};$$

Jadvaldan $T_{max}=4200$ s uchun tokni iqtisodiy zichligi $j_{uq}=1,1 \text{ A/mm}^2$.
Uchastkalarda simlarni kesim yuzasi

$$F_1 = \frac{123}{1,1} = 112 \text{ mm}^2; \quad F_2 = \frac{98,3}{1,1} = 89,5 \text{ mm}^2; \quad F_3 = \frac{71}{1,1} = 64,5 \text{ mm}^2;$$

Yaqin standart kesim yuzani tanlaymiz

$F_1=120 \text{ mm}^2$; $I_{nux}=380 \text{ A}$; $F_2=95 \text{ mm}^2$; $I_{nux}=330 \text{ A}$; $F_3=70 \text{ mm}^2$; $I_{nux}=265 \text{ A}$;

Hamma kesim yuzalar qizdirish $I < I_{nux}$ shartini qoniqtiradi.

10.3. Nominal kuchlanishni tanlash

Elektr tarmog'ining nominal kuchlanishi uning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlariga hamda texnik xarakteristikalariga jiddiy ta'sir etadi. Masalan, agar nominal kuchlanish ko'tarilsa quvvat va energiya isrofi kamayadi, ya'ni ish xarajatlari kamayadi, simlarning kesim yuzasi va liniya qurilishi uchun sarflangan metall kamayadi, liniyalarda uzatilayotgan quvvat oshadi, lekin tarmoq qurilishi uchun sarflangan apital xarajatlar ortadi.

Past nominal kuchlanishli tarmoq kam apital xarajatlar talab qiladi, lekin quvvat va elektr energiya isrofi oshishi sababli katta ishlatish xarajatlariga olib keladi, bundan tashqari, kam o'tkazish qobiliyatiga ega. Shuning uchun, tarmoqni loyihalash vaqtida nominal kuchlanishni to'g'ri tanlash muhim hisoblanadi.

Elektr tarmoqlarning nominal kuchlanishi amaldagi standartlarda ko'rsatilgan (GOST da).

Iqtisodiy ma'qul nominal kuchlanish bir necha omillarga bog'liq:

- yuklama quvvatiga;
- TM dan yuklamani uzoqligiga;
- yuklamalarni joylashishiga;
- elektr tarmog'ining tuzilishiga;
- kuchlanishni rostdash usullariga va boshqalarga.

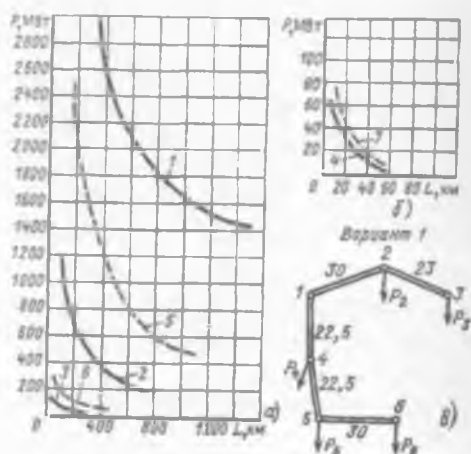
Nominal kuchlanishni (U_{nom}) taxminiy qiymatini uzatilayotgan quvvat qiymati va u uzatilayotgan masofa bo'yicha aniqlash mumkin. Liniya orqali uzatilayotgan masofa qancha katta bo'lsa, shuncha texnik va

iqtisodiy me'yorlar bo'yicha elektr tarmog'ining nominal kuchlanishi yuqori bo'lishi kerak.

Nominal kuchlanishni quyidagi usullardan biri bilan taxminiy aniqlash mumkin:

- a) 10.3.1a- rasmdagi chiziqlar bo'yicha;
- b) – apital ifodalar bo'yicha;
- v) 6.5 jadvalga asosan liniyaning o'tkazish qobiliyati va uzatish masofasiga bog'liq holda [6]

10.3.1-rasmlardagi chiziqlar, turli apital kuchlanishli elektr tarmoqlarni iqtisodiy ma'qul qo'llanilish sohalarini ko'rsatadi. Bu bog'lanishlar, R , va U_{nom} ko'rsatkichlari har xil bo'lgan tarmoq variantlari xarajatlarini solishtirish natijasida olingan.



10.3.1-Rasm. Turli U_{nom} li elektr tarmoqlarining qo'llanilish soxasi teng iqtisodiy chegaralar:

- 1 – 1150 va 500 kV; 2 – 500 va 220 kV; 3 – 220 va 110 kV;
- 4 – 110 va 35 kV; 5 – 750 va 330 kV; 6 – 330 va 150 kV; 7 – 150 va 35 kV.

Chiziqlar, 110-220-500 kV (1-4 chiziqlar) va 110 (150)-330-750 kV (5-7 chiziqlar) kuchlanishlar sistemasi uchun teng iqtisodiy chegaralarni taxminan ifodalaydi. Masalan, 2 – chiziq nuqtalari, kuchlanishi 220 va 500 kV bo'lgan tarmoq variantlari teng foydali bo'lgan R va ℓ ning qiymatlariga to'g'ri keladi.

Ma'lum qiymatli uzatilayotgan quvvat R , mVt va liniya uzunligi ℓ , km bo'yicha nominal kuchlanishni Stilla ifodasi yordamida oldindan aniqlash mumkin:

$$U_{nom} = 4,34\sqrt{\ell + 0,016P} \quad (10.3.1)$$

Bu ifoda, uzunligi 250 km gacha bo'lgan va uzatilayotgan quvvati 60 mVt oshmagan liniyalar uchun ma'qul.

1000 km gacha masofaga uzatiladigan katta quvvatli liniyalar uchun A.M.Zalessko ifodasi qo'llaniladi:

$$U_{nom} = \sqrt{P(100 + 15\sqrt{\ell})} \quad (10.3.2)$$

G.A. Illarionov quyidagi ifodani taklif qildi:

$$U_{nom} = \frac{1000}{\sqrt{500/\ell + 2500/P}} \quad (10.3.3)$$

10.3.3-ifoda, 35 dan 1150 kV gacha bo'lgan barcha nominal kuchlanishlar shkalasi uchun qoniqarli natija beradi.

Elektr tarmog'i variantlari yoki uning alohida uchastkalari har xil nominal kuchlanishga ega bo'lishi mumkin. Odatda, boshida kata yuklamali bosh uchastkalarining nominal kuchlanishi aniqlanadi. Xalqasimon tarmoq uchastkalari, odatda, bir nominal kuchlanishda bajarilishi kerak.

Yuqoridagi usullarning biri bilan topilgan kuchlanish yaqin nominal kuchlanishga yaxlitlanadi. Barcha usullar ning faqat taxminiy qiymatini aniqlash imkonini beradi.

Nominal kuchlanishning taxminiy qiymati aniqlangandan so'ng har bir aniq tarmoq uchun turli nominal kuchlanishlar variantlarining chegarlangan soni belgilanadi va ular texnik iqtisodiy solishtiriladi.

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

Nazorat savollari:

1. Elektr tarmog'ining nominal kuchlanishi texnik iqtisodiy ko'rsatkichlarga qanday ta'sir etadi?
2. Iqtisodiy chegaralar bo'yicha nominal kuchlanish qanday tanlanadi?
3. Emperik ifodalarga asoslanib nominal kuchlanish qanday tanlanadi?
4. Xalqasimon tarmoqlar nima uchun bir nominal kuchlanishda bajariladi?

10.4. Havo liniyalar simlari kesim yuzasini va kabellarni iqtisodiy intervallar usuli bilan tanlash

Tokning iqtisodiy zichligi kesim yuzasi tanlanayotganda liniya qurish uchun sarflanayotgan kapital xarajatlardan tashqari, elektr energiya isrofi narxini ham hisobga olish imkonini beradi. Ko'rsatilgan afzalligiga qaramasdan HL ning kesim yuzasini j , bo'yicha tanlash bir necha tahlillarga asoslangan holda xatoliklarga olib keladi:

Birinchidan, j uchun ifoda liniyaning kapital mablag'lari uning uzunligiga chiziqli bog'langan degan taxmin asosida olingan. Chiziqli bog'lanish, HL larni tayanchlarda qurishga o'tilganda, buziladi.

Sanoat tayanchlarning cheklangan sonini ishlab chiqaradi. Ularning har biri faqat bir nechta standart kesim yuzalarini osish uchun mo'ljallangan.

Ikkinchidan, j uchun ifoda keltirib chiqarilganda, keltirilgan xarajatlarning ifodasida kesim yuzasi uzluksiz o'zgaradi degan faraz asoslanmagan taxmin hisoblanadi. Haqiqatda kesim yuzalari uzlukli o'zgaradi.

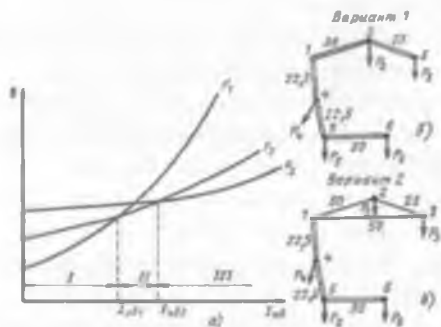
Uchinchidan, liniyadagi eng katta tok xarajat ifodasidagi I_0 o'zgarmas deb olingandir. Bu unday emas, chunki turli liniya uchun I har xil. Bu holatda, iqtisodiy kesim yuzasi (F) $\partial Z / \partial I$ ni nolga tenglik shartidan aniqlanishi kerak.

Yuqorida ko'rsatilgan kamchiliklardan holi bo'lgan kesim yuzasini tanlash usuli "iqtisodiy intervallar usuli" deb ataladi.

Simlarning kesim yuzasini tanlash uchun tokli yuklamalarning iqtisodiy intervallari quyidagicha aniqlanadi. Turli standart kesim yuzalari uchun liniyaga sarflangan keltirilgan xarajatlarni I tokiga bog'lanishi quriladi.

Har qaysi kesim yuzasi uchun xarajatlar ushbu ifoda bilan aniqlanadi.

$$Z = (P_v + P_a)K + 3I_m^2 - R \cdot r \cdot \beta \quad (10.4.1)$$



10.4.1-rasm. Tokli yuklamalarga bog'liqli iqtisodiy intervallar usuli bilan simlarni kesim yuzasini tanlash.

a) – iqtisodiy intervallarni tuzish; b,v) – tarmoq sxemalarini variantlari.

Xarajatning o'zgarmas qismi birinchi tarkibga to'g'ri keladi, ikkinchi tarkibga E_{ω} – elektr energiya isrofining narxi to'g'ri keladi va u tok kvadratiga bog'liq, shuning uchun xarajat chiziqlari – parabolalardir.

Chiziqlarning kesishish nuqtalari eng katta I_{11} ni aniqlaydi. Bunda F_1 li xarajatli F_1 va F_2 li xarajatlarga teng. Agar liniya toki I_{11} dan kichik bo'lsa, eng kam xarajatlar F_1 kesim yuzaga to'g'ri keladi va ushbu kesim yuzani tanlash iqtisodiy maqsadga muvofiqdir. Tokni O dan I_{11} qiymati uchun iqtisodiy interval, agarda tok I_{11} dan I_{12} oralig'ida bo'lsa, F_2 maqsadga muvafiq, tok I_{12} dan katta bo'lsa, F_3 kesim yuza tanlanadi.

Iqtisodiy intervallar usulini boshqa turdagi uskunalar uchun qo'llash nazariy isbotlangan va taklif qilingan.

Iqtisodiy tokning chiziqlar kesishishi joyidagi qiymati I_E quyidagi ifodadan aniqlanishi mumkin:

$$Z_1 = Z_{12}$$

Bu yerda Z_{11} va Z_{12} - tokka bog'liq bo'lgan solishtirilayotgan yonma-yon kesim yuzalari uchun xarajatlari.

Ularning qiymati teng:

$$Z_{11} = (P_N + P_s)K_{11} + 3I^2 R \tau \beta \cdot 10^{-3}$$

$$Z_{12} = (P_N + P_s)K_{12} + 3I^2 R \tau \beta \cdot 10^{-3}$$

Unda

$$I_E = \sqrt{\frac{P_N + P_s}{r - \beta}} \sqrt{\frac{(K_{12} - K_{11}) \cdot 10^{-3}}{3(R_1 - R_2)}}$$

Bu yerda K_1 va K_{12} solishtirilayotgan kesim yuzalari uchun liniyaning narxi, so'm/km;

R_1 va R_2 - o'sha kesim yuzali liniyalarning qarshiliklari, Ωm ifodadan ko'rinib turibdiki, iqtisodiy tok $\sqrt{(P_N + P_s)/(r - \beta)}$ kattaligiga proporsional

$\xi = (P_N + P_s)/(r - \beta)$ - deb belgilab olamiz.

$$I_E = \sqrt{\xi} \sqrt{\frac{(K_{12} - K_{11}) \cdot 10^{-3}}{3(R_1 - R_2)}}$$

Liniyalar uchun iqtisodiy intervallar nomogrammalari

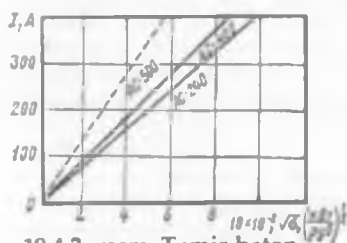
Yuqorida ko'rib chiqilgan $I = f(\xi)$ usul bo'yicha ko'rilgan iqtisodiy intervallar nomogrammalari, turli kuchlanishdagi va turli tuzilishdagi tarmoq liniyalari uchun iqtisodiy kesim yuzasini to'g'ri tanlash imkonini beradi. (P3.1+P3.46-rasmlar [2]).

10.4.2 - rasmdan ko'rinib turibdiki, ma'lum tuzilishdagi 220 kVli HL uchun AC-300 kesim yuzasi iqtisod tomondan foydali emas va uni qo'llash

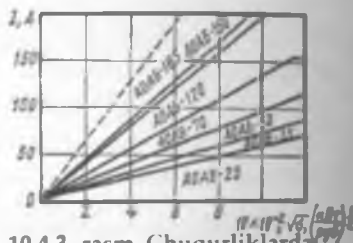
tavsiya etilmaydi. Chuqurlikda yotqizilgan 20 kVli kabellar uchun AOAB-95 kesim yuzasi iqtisod tomonidan foydali emas. (10.4.3- rasm)

Shularga o'xshab, turlicha bajarilgan va turli kuchlanishlardagi tarmoqlar uchun boshqa kesim yuzalari ham foydali bo'lmisligi mumkin.

Iqtisodiy intervallar nomogrammalari bo'yicha simlarning kesim yuzasi tanlanayotganda liniyaning maksimal toki I va $\sqrt{\xi}$ ning qiymatini aniqlash kerak bo'ladi. Koordinatalari $\sqrt{\xi}$, I bo'lgan nuqta tushgan zona iqtisodiy kesim yuzasini aniqlaydi. [2]



10.4.2- rasm. Temir-beton tayanchlarda o'rnatilgan 220 kVli bir zanjirli liniyalar uchun nomogrammlar



10.4.3- rasm. Chuqurliklarda yotqizilgan AOAB markali 20 kVli kabellar uchun nomogrammlar

Yuklama o'sishini hisobga olish

Yuklamani yil bo'yicha o'zgarishi hisobga olinganda hisobiy tokni o'rtacha qiymati olinadi. Masalan, agar yuklama o'sishi bir xil bo'lsa (α %), unda hisobiy tok aniqlanadi:

$$I'_{\text{his}} = \beta I_1$$

Bu yerda, I_1 – liniyaning 1 – yil ishlashidagi maksimal toki.

β - hisobli yuklamani nisbiy o'sishi.

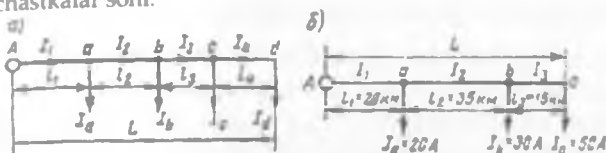
Iqtisodiy intervallar nomogrammalari bo'yicha $\sqrt{\xi}$ va I'_{his} koordinatalari bilan iqtisodiy kesim yuzasi tanlanadi. $\beta = f(T \text{ va } \alpha)$ bog'lanishi 9.3.2-rasmda ko'rsatilgan. [2]

Ko'p miqdordagi yuklamalarni hisobga olish.

Liniyalar bo'yicha ko'p miqdorda yuklamalar ta'minlanayotganda hisobiy tok sifatida shunday I'_{his} tok qabul qilinadiki, u liniyada haqiqiy yuklama toki hosil qilgan isrofni hosil qilsin:

$$L_{\text{um}}^2 \cdot L = L_1^2 \cdot l_1 + L_2^2 \cdot l_2 + \dots = \sum_{i=1}^n L_i^2 \cdot l_i$$

Bu yerda m – uchastka tartibi;
 n – uchastkalar soni.



10.4.4-rasm. Ko'p miqdorli yuklamalarni hisobga olish sxemasi

Keyin masala yuqoridagiga o'xshab yechiladi.

Shunday qilib, iqtisodiy intervallar usuli:

1) $K_i = f(F)$ kapital xarajatlari nochiqli bog'lanishini hisobga oladi, tokning zichligi esa chiziqli bog'lanishda hisoblangan.

2) maksimal yuklamada ishlash vaqti T_{mak} (yoki τ) haqiqiy qiymatlarini uzluksiz o'zgarishi hisobga olinsa, tokni iqtisodiy zichligi j esa T_{mak} , uzlukli (diskvit) keng (1000-300 gacha, 3000-5000 gacha, 5000-8760 gacha) oraliqda o'zgarishiga chiqarilgan.

3) kesim yuzalarni pog'onaliligini hisobga oladi.

4) nomogrammalar yordamida $E_n, \rho, \alpha, \varphi, C$, larning haqiqiy qiymatlarini va ularning o'zgarishini hisobga oladi.

5) me'yoriy tartibda qizish bo'yicha cheklashni, bu nomogrammalarning gorizontal qismida ko'rsatilgan bo'lib, tojlanishiga bog'liq bo'lgan cheklashni ham hisobga oladi, buning uchun mumkin bo'lmagan kesim yuzalar nomogrammalarda ko'rsatilmaydi.

6) yuklamalarning ko'p miqdorli sonini va ularni o'sish dinamikasini hisobga olish imkonini beradi.

7) minimal xarajatlar bermaydigan kesim yuzalarni ko'rsatadi.

8) kabellarning katta kesim yuzalarini qo'shaloq bo'lgan kichik kesim yuzalar o'rniga ishlatish doimo tejimli. Bir vaqtning o'zida issiqlikka bardoshlilik nuqtai nazaridan bu foydalidir. Qo'shaloq kesim yuzalilarni faqat katta yuklamalarda, ya'ni yakka kesim yuzalilar ishonchlilik sharti bo'yicha yetarli bo'lmasa, ishlatish tavsiya etiladi.

9) kesim yuzasini tokni iqtisodiy zichligi j bo'yicha tanlash, optimal kesim yuzasini 1,5-2 barobar kichrayishini, bu esa elektr energiya isrofini oshirib, xarajatlarni ko'payishini ko'rsatadi.

Masalan, Rasmdan, j bo'yicha tanlangan F_n kesim yuzasi m – nuqtaga, iqtisodiy intervallar bo'ya tanlangan $F_{iq,n}$ - n nuqtaga to'g'ri keladi. Bu

holatda, iqtisodiy intervallar bo'yicha tanlangan kesim yuzasiga to'g'ri keladigan xarajatlar $Z_{iq, j}$ bo'yicha tanlangan kesim yuzasi xarajatlardan Z_j ancha kam.

$$Z_{iq, j} < Z_j$$

Transformatorlar uchun iqtisodiy intervallar nomogrammasi.

Iqtisodiy intervallar usulining barcha qoidasi transformatorlarning optimal quvvatini tanlash uchun ham to'g'ri keladi. 7.4.5- rasmda xarajatlarni 3 turli transformatorlarning nominal quvvatiga bog'liqligi ko'rsatilgan.

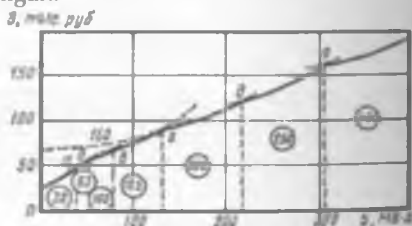
Transformatorlar uchun amaliyotda qo'llash uchun qulay bo'lgan nomogrammalari qurish liniyalarga nisbatan murakkab, chunki ularda ikki xil isrof mavjud: ΔP_{om} va ΔP_{el} .

Bir vaqtning o'zida transformatorlarning optimal quvvatini tanlash, yuklama grafigiga va atrof muhit haroratiga bog'liq holda transformatorning o'ta yuklanish qobiliyatini hisobga olib, amalga oshirilishi kerak.

P4.1-P4.81 – rasmlarda [2] ikki va uch chulg'amli transformator va avto-transformatorlarning optimal quvvatini tanlash uchun ma'qul taxminlarni hisobga olib qurilgan iqtisodiy intervallar nomogrammalari keltirilgan.

U yerda gorizonttal chiziqlar orqali transformatorni o'ta yuklanish qobiliyati oraliqlari ham ko'rsatilgan.

10.4.5-rasm. Turli nominal quvvatli transformator uchun xarajatlarni quvvati S bog'liqligi



Liniya simlari ortiqcha yuklanganda o'zining o'rnatilgan haroratiga tez erishishidan farqli, o'lchamlari katta bo'lgani uchun transformatorlarning harorati ancha sekin ko'tariladi. Shuning uchun transformatorlarning ruxsatlagan o'ta yuklanishi yuklanish vaqtiga bog'liq bo'ladi. Shunga ko'ra, nomogrammalarda bitta gorizonttal chiziq emas, ikkita to'g'ri chiziq orasidagi zanjir ko'rsatilgan. Uzoq vaqtli o'ta yuklanishda pastki to'g'ri chiziqni, qisqa vaqtisida esa – yuqoridagi to'g'ri chiziqni (1,5 S_{nom}) ishlatish kerak.

Transformatorlarning optimal quvvatini tanlash uchun nomogrammalarda, transformatorning haqiqiy maksimal quvvatini S_{tr} , koeffitsiyent $\Psi, [\sqrt{kV \cdot yil / so'm}]$ ga bog'lanishi hisoblanadi.

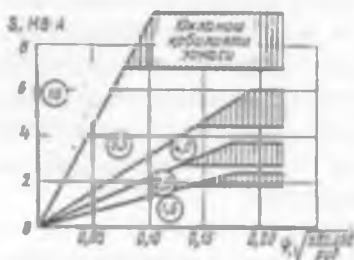
Bu yerda:

$$\Psi = \sqrt{I/r \cdot C_v}$$

bunda S_k – qisqa tutashuv quvvat isrofi narxi, [so'm/kVt.s]

Salt yurish quvvat isrofining S_{oyu} narxi $T=8760$ s uchun o'zgarmas deb qabul qilingan.

10.4.6-rasm. 6-10 kV Yu.OR li
2 chulg'amli transformatorlar
uchun nomogrammalar
(1-rayon).



16 mVA li transformatorlar iqtisodiy tomondan foydali emas.

Nazorat savollari:

1. Havo liniyalari simlarining kesim yuzasi iqtisodiy intervallar usulida qanday tanlanadi?
2. Liniyalar uchun iqtisodiy intervallar nomagrammalari qanday qo'llaniladi?
3. Yuklamalar o'sish va ko'p miqdordagi yuklamalarda bu usul qanday qo'llaniladi?
4. Transformatorlar uchun iqtisodiy intervallar nomagrammasi qanday qo'llaniladi?

10.5. Liniya simi va kabellarining kesim yuzasini kuchlanish qiymatini ruxsat etilgan yo'qotilishi bo'yicha aniqlash.

Tarmoqning oxirgi punktlarida bo'ladigan kuchlanish yo'qotilishi elektr iste'molchilaridagi kuchlanish og'ishini me'yorga solingan qiymati orqali yoki nominal kuchlanishga nisbatan foiz hisobida aniqlanadi.

Elektr energiya sifatiga tegishli talablar bajarilishi uchun me'yoriy va avariya holatlarida $U < U_n$ sharti qoniqtirilishi kerak.

10 (6)- 20 kV kuchlanishli shahar elektr tarmoqlarini simlari va kabellarining kesim yuzasini tanlashda kuchlanish yo'qotilishi 5% dan

oshmasligi kerak, 0.38 kV kuchlanishli tarmoqlarda esa (binoning ichiga kirguncha) 4-6% dan oshmasligi kerak.

Qandaydir taqsimlangan yuklamani U kuchlanish bilan ta'minlaydigan liniyada berilgan ΔU_{max} qiymati asosida simning eng kichik kesim yuzasini tanlashni ko'rib chiqamiz. Bunday liniyalarda kuchlanishni yo'qotilishi:

$$\Delta U = \sum_i P_i \cdot R_i / U_N + \sum_i Q_i \cdot X_i / U_N \quad (10.5.1)$$

(10.5.1) ifodadan ko'rinadiki, kuchlanish yo'qotilishi liniyaning aktiv va reaktiv quvvati va qarshiliklari bilan bog'langan ΔU_a va ΔU_r dan tashkil topgandir. Bunda aktiv qarshilik liniya simlarining kesim yuzasiga to'g'ri bog'liqdir (yuzaga teskari munosabatda), induktiv qarshilikni bog'liqligi esa murakkab (faza simlari orasidagi o'rtacha masofa D_{or} logarifm belgisi ostiga kiradi), bu esa yuzani tanlash masalasini analitik ravishda yechishni qiyinlashtiradi.

Ammo, X_0 ni kesimga bog'liq holda juda kam o'zgarishi tufayli (havo liniyalari uchun $X_0=0,36-0,46$ Om/km; 6-10 kV li kabel liniyalarida $X_0=0,06-0,09$ Om/km; 35 kVli kabellar uchun $X_0=0,11-0,13$ Om/km) uni o'rtacha qiymatini olib kuchlanish yo'qotilishining tarkibiy qismini taxminan topish mumkin:

$$\Delta U_r = \sum_i \frac{Q_i \cdot \ell_i \cdot x_0}{U_N}$$

ΔU_{max} ni qiymatidan ΔU_r ni ayirib, aktiv qarshilik roga bog'liqli kuchlanish yo'qotilishining ruxsatlangan tarkibiy qismi topiladi.

$$\Delta U_{\text{max}} = \Delta U_a - \sum_i \frac{Q_i \cdot \ell_i \cdot x_0}{U_N}$$

(10.5.1) ga asosan,

$$\Delta U_{\text{max}} = \sum_i \frac{P_i \ell_i \cdot r_a}{U_N}$$

Unda, simlarning kesim yuzasi:

$$F = \frac{\sum_i P_i \ell_i}{\gamma \cdot \Delta U_{\text{max}} \cdot U_N} \quad (10.5.2)$$

Agarda uzoqdagi iste'molchilarda kuchlanish yo'qotilishi ruxsatlangan qiymatdan katta bo'lsa, bu iste'molchi qabul qiladigan energiya sifatini qoniqarli deb aytish mumkin emas. Dastlabki hisoblarda, rostlash uskunalari mavjud bo'lsa, mahalliy elektr tarmoqlarida ruxsatlangan

kuchlanish yo'qotilishi normal holda 15%, shikastlanganda (avariyada)- 20% deb, hisobga olish mumkin.

Simning kesim yuzasini, bu yuza liniyaning butun uzunligi bo'yicha o'zgarmas bo'lganida aniqlash. Ko'pincha amaliy nuqtai nazarda loyihalanayotgan liniyaning tuzilishini bir turda bajarish maqsadida, uning butun uzunligi bo'yicha markasi va kesim yuzasi bir xil bo'lgan sim qo'llaniladi. Bu esa tayanchlar qismlarini, simlarni tayyorlashda osonlik kiritadi va simning qurilishga mo'ljallangan uzunligini yaxshi ishlatishga (barabandagi sim qoldig'ini kamaytiradi) imkon beradi.

Bu holda, qachonki qurilayotgan liniyaning butun uzunligi bo'yicha F_{qconst} bo'lganda, simning kesim yuzasini ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishi bo'yicha aniqlash juda soddalashadi.

$$\Delta U_{aruz} = r \cdot \sum_1^n \frac{P_i \ell_i}{U_H} = \frac{\rho}{FU_H} \sum_1^n P_i \ell_i$$

Bu yerdan, qidirilayotgan yuza

$$F = \frac{\rho}{\Delta U_{aruz} \cdot U_H} \sum_1^n P_i \ell_i \quad (10.5.3)$$

yoki xuddi shuning o'zi

$$F = \frac{\sum_1^n P_i \ell_i}{\gamma \cdot \Delta U_{aruz} \cdot U_H} \quad (10.5.4)$$

Hisoblangan yuza standartgacha yaxlitlanadi, buning uchun ma'lumotnomadagi jadvaldan m va X_0 aniqlanadi va keyin tekshiruv hisobi orqali haqiqiy kuchlanish yo'qotilishi aniqlanadi, agarda bu ruxsatlangan qiymatdan katta bo'lsa, bir pog'ona yuqori kesim yuzasi qabul qilinadi.

Tekshiruv hisoblarni bajarish shart emas, agarda kesim yuzasi yaqin katta qiymatgacha yaxlitlangan bo'lsa va simning haqiqiy X_0 qiymati oldindan qabul qilingan o'rtacha qiymatdan kichik bo'lsa, qabul qilingan simning qat'iy kesim yuzasi, yuklama tokining qizdirish darajasi bo'yicha tekshirilishi kerak.

Simning kesim yuzasini quvvat isrofining minimumi shartiga asosan aniqlash. Adabiyotdan ma'lumki, liniyalarda quvvat isrofining minimallik sharti, bu hamma uchastkalarda tok zichligining bir xilligidir.

Isrofning minimumiga to'g'ri keladigan tok zichligining qiymati shuningdek aktiv r qarshilikka bog'liqli ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishi orqali aniqlanadi.

$$\Delta U_{\text{apn}} = \frac{\rho}{U_*} \sum_1 \frac{P_i \ell_i}{F_i} = \frac{\rho}{U_*} \sum_1 \frac{\sqrt{3} U_* I_i (\cos \varphi_i) \ell_i}{F_i} = \sqrt{3} \rho \sum_1 \frac{I_i (\cos \varphi_i) \ell_i}{F_i} \quad (10.5.5)$$

Shart bo'yicha $I/F = j_{\Delta p} = \text{const}$ bo'lgani uchun uni yig'ish belgisidan tashqaridan chiqarsak, hosil bo'ladi:

$$\Delta U_{\text{apn}} = \sqrt{3} \rho j_{\Delta p} \sum_1 (\cos \varphi_i) \ell_i$$

Bundan

$$j_{\Delta p} = \frac{\Delta U_{\text{apn}}}{\sqrt{3} \rho \sum_1 \ell_i \cos \varphi_i} \quad (10.5.6)$$

Minimum isrofga to'g'ri keladigan tok zichligini bilib, har bir uchastkadagi simning kesim yuzasini topamiz.

$$F_i = \frac{I_i}{j_{\Delta p}} \quad (10.5.7)$$

Bu yerda I_i ko'rilayotgan uchastkadan oqayotgan tok.

Tokning iqtisodiy zichligi j_i bo'yicha simlarning kesim yuzasini aniqlash usuli elektr energiyani ishlab chiqarishdagi va taqsimotidagi hamma texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini umumlashtirishga imkon berganligi tufayli tarmoqlarni hisoblashda asosiy deb olinadi.

Ammo, uzunligi katta bo'lgan liniyalarda tokning iqtisodiy zichligiga asosan tanlangan simlarning kesim yuzasi ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishini ta'minlamasligi ehtimoli bor, bu esa qaytadan hisoblash zaruriyatiga olib kelishi mumkin.

Qaytadan hisoblamaslik uchun, ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishi ta'minlaydigan tokning zichligi $j_{\Delta p}$ oldindan aniqlanadi. Agarda $j_{\Delta p} > j_i$ bo'lib qolsa, unda kesim yuzasi iqtisodiy zichligi kesim j_i orqali, teskari hollarda $j_{\Delta p}$ orqali tanlanadi.

Tanlangan kesim yuzasini iqtisodiy kesim yuzasidan ancha katta bo'lishi, tarmoq uchun yuqoriroq nominal kuchlanish qo'llash zarurligini (masalan 6 kV o'rniga 10 kV qo'llash) yoki kuchlanish yo'qotilishini kamaytiradigan maxsus choralarni ishga solish masalan reaktiv quvvatni

ko'ndalangiga yoki bo'ylamasiga kompensatsiya qilish kerakligini ko'rsatadi.

Nazorat savollari:

1. Liniya simining kesim yuzasi kuchlanishi ruxsatlangan yo'qotilishi bo'yicha qanday aniqlanadi?

2. Dastlabki hisoblarda x_0 ni qiymati havo va kabel liniyalari uchun qaysi oraliqda olinadi?

3. Simlarni kesim yuzasi liniyaning butun uzunligi bo'yicha o'zgarmas bo'lganda qanday aniqlanadi?

4. Simning kesim yuzasi quvvat isrofining minimumi sharti bo'yicha qanday aniqlanadi?

10.5.1. Mavzuga doir misollar

1-Misol. 1000 kVA transformator o'rnatilgan podstansiya 10 kV kuchlanishli 2,5 km uzunlikdagi alyumin simdan tayyorlangan havo elektr uzatuv liniyasidan ta'minlanadi. Alyumin simlar qirralarda 1 m massofada joylashgan. Podstansiyaning iste'mol qiladigan quvvati 750+j600 kVA. Liniyada ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishi 4,5% kesim yuzani aniqlab simni markasini tanlang.

Yechish: Liniyadagi ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishi

$$\Delta U_{\text{rux}} = \frac{10000 \cdot 4,5}{100} = 450 \text{ B}$$

1 km uzunlikdagi liniyaning intuktiv qarshiligini 0,38 Om/km qabul qilib reaktiv quvvat hisobidan undagi kuchlanish yo'qotilishini aniqlaymiz.

$$\Delta U_x = \frac{Qx_0 I}{U_N} = \frac{600 \cdot 0,38 \cdot 2,5}{10} = 57 \text{ V}$$

Kuchlanish yo'qotilishini aktiv tashkil etuvchisini topamiz.

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{rux}} - \Delta U_x = 450 - 57 = 393 \text{ V}$$

(10.5.2) formula orqali liniya simini kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$F = \frac{PI}{\Delta U_a \cdot U_N} = \frac{750 \cdot 2,5 \cdot 10^3}{393 \cdot 32 \cdot 10} = 14,9 \text{ mm}^2$$

A-16 standart simni tanlaymiz va jadvaldan unga tegishli ma'lumotlarni olamiz. $\rho_{\text{roq}} = 0,195 \text{ Om/km}$; $x_0 = 0,391 \text{ Om/km}$; unda liniyadagi kuchlanishni yo'qotilishi.

$$\Delta U = \frac{P\rho_{\text{roq}} + Qx_0}{U_N} \cdot l = \frac{750 \cdot 0,195 + 600 \cdot 0,391}{10} \cdot 2,5 = 424 \text{ V}$$

Shunday qilib $\Delta U = 424,8 < \Delta U_{\text{rux}} = 450$ V tanlangan sim kuchlanishni ruxsatlangan qiymati bo'yicha qoniqtiradi. Tanlangan kesim yuzali simni qizish darajasi bo'yicha tekshiramiz. Jadvaldan A-16 uchun 105 A. Liniyadagi maksimal tok $I = \frac{\sqrt{750^2 + 600^2}}{\sqrt{3}U} = 55,5$ A.

Tanlangan sim qizish darajasi bo'yicha ham qoniqtiradi.

2. Rasmda ko'rsatilgan ikki iste'molchini ta'minlaydigan 6 kV EUL uchun simni kesim yuzasi va markasini aniqlang. Liniya fazalari orasidagi o'rtacha geometrik masofa 800 mm bo'lgan po'lat-al'yumin simdan tayyorlangan. Liniyada kuchlanishni ruxsatlangan qiymati 4 %. Rasmda tok amperda liniya uchastkalari km, quvvat ko'effitsiyenti $\cos \varphi$ ko'rsatilgan.



Yechish: Kuchlanishni ruxsatlangan qiymati $\Delta U_{\text{rux}} = 0,04 \cdot 6000 = 240$ V

Liniyani induktiv qarshiligini $x_0 = 0,4$ Om/km qabul qilib, reaktiv quvvatdan bo'ladigan kuchlanish yo'qotilishini aniqlaymiz.

$$\Delta U_p = \sqrt{3}(I_2 I_1 \sin \varphi + I_1 I_2 \sin \varphi) x_0 = \sqrt{3} \cdot (15 \cdot 2 \cdot 0,6 + 35,5 \cdot 0,6) \cdot 0,4 = 85$$
 V

Kuchlanish yo'qotilishini aktiv tashkil etuvchisini aniqlaymiz

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{rux}} - \Delta U_p = 240 - 85 = 155$$
 V

(10.5.4) formula orqali liniya simini kesim yuzasini aniqlaymiz

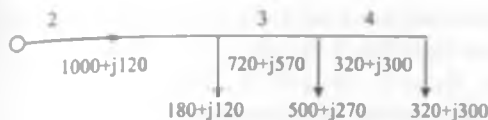
$$F = \frac{\sqrt{3} \cos \varphi (I_1 I_1 + I_2 I_2)}{\gamma \Delta U_a} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^4 \cdot 0,8 \cdot (35,5 + 15 \cdot 2)}{32 \cdot 155} = 57,2$$
 mm²

Standart A-70 sim tanlaymiz, jadvaldan $r_0 = 0,42$ Om/km, $x_0 = 0,327$ Om/km; Unda liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi

$$\begin{aligned} \Delta U_x &= \sqrt{3}[(I_1 I_1 + I_2 I_2) \cdot (r_0 \cos \varphi + x_0 \cos \varphi)] = \\ &= \sqrt{3} \cdot [(35,5 + 15 \cdot 2) \cdot (0,42 \cdot 0,8 + 0,327 \cdot 0,6)] = 188,7$$
 V

Shunday qilib $\Delta U = 188,7$ V $< \Delta U_{\text{rux}} = 240$ V va tanlangan sim kuchlanish yo'qotilishi bo'yicha qoniqtiradi.

3. Rasmda ko'rsatilgan masofada joylashgan podstansiya 6 kVli havo liniyasi orqali ta'minlanadi. Liniya po'lat al'yumin simdan tayyorlangan bo'lib, simlar teng qirrali uchburchakning cho'qqilarida 800 mm masofada joylashgan. Kuchlanishni mumkin bo'lgan yo'qotilishi 6 % (360 V). O'tkazgich materiallarni minimum sharti bo'yicha liniya uchastkalarini kesim yuzasini aniqlang. Rasmda yuklama kilovoltamperda va uchastkalar uzunligi kilometrda ko'rsatilgan.



Yechish: $x_0=0,38 \text{ Om/km}$ qabul qilib, reaktiv yuklama tufayli kuchlanish yo'qotilishini aniqlaymiz.

$$\Delta U_1 = x_0 \sum_{i=1}^3 \frac{Q_i I_i}{U_N} = 0,38 \cdot \frac{690 \cdot 2 + 570 \cdot 1 + 300 \cdot 4}{6} = 199,5 \text{ V}$$

Quvvat isrofini aktiv tashkil etuvchisini aniqlaymiz.

$$\Delta U_s = \Delta U_{\text{rus}} - \Delta U_p = 360 - 198,5 = 160,5 \text{ V}$$

(7.5.4) formulaga asosan uchinchi oxirgi uchastkadagi simni kesim yuzasini aniqlaymiz.

$$F_1 = \frac{\sqrt{P_1} \cdot 10^3}{\gamma \cdot \Delta U_s \cdot U_{\text{nom}}} (I_1 \sqrt{P_1} + I_2 \sqrt{P_2} + I_3 \sqrt{P_3}) = \frac{\sqrt{320}}{32 \cdot 160,5 \cdot 6} (2\sqrt{1000} + 1\sqrt{800} + 4\sqrt{320}) = 94,7 \text{ mm}^2$$

Standart AC-95 kesim yuzali simni tanlaymiz. Jadvaldan ma'lumotlarni yozib olamiz. $r_{03q} 0,316 \text{ Om/km}$; $x_{03q} 0,318 \text{ Om/km}$;

Ikkinchi uchastkadagi simning kesim yuzasi

$$F_2 = F_1 \sqrt{P_1 / P_2} = 94,7 \sqrt{1000 / 320} = 167,4 \text{ mm}^2$$

Standart AS-185 kesim yuzali simni tanlaymiz. Jadvaldan ma'lumotlarni yozib olamiz. $r_{03} 0,316 \text{ Om/km}$; $x_{03} 0,318 \text{ Om/km}$;

Tanlangan kesim yuzali simlardagi kuchlanishni yo'qotilishi:

$$\Delta U_1 = \frac{\sum (P_{r_{03}} + Q_{x_{03}}) I_i}{U_s} = \frac{(1000 \cdot 0,154 + 690 \cdot 0,298) \cdot 2}{6} + \frac{(820 \cdot 0,195 + 570 \cdot 0,305) \cdot 1}{6} + \frac{(320 \cdot 0,316 + 300 \cdot 0,318) \cdot 4}{6} = 306,5 \text{ V}$$

Demak, $\Delta U = 306,5 \text{ V} < \Delta U_{\text{rus}} = 360 \text{ V}$ va tanlangan simlar kuchlanishni yo'qotilishi sharti bo'yicha qoniqtiradi.

Tanlangan kesim yuzali simlarni qizish sharti bo'yicha tekshiramiz. Liniya uchastkalaridagi va ruxsatlangan toklarning qiymati.

$$I_1 = \frac{\sqrt{1000^2 + 690^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 117 \text{ A} < I_{\text{rus}} = 510 \text{ A} \quad \text{AC-185 sim uchun};$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{820^2 + 570^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 96 \text{ A} < I_{\text{rus}} = 445 \text{ A} \quad \text{AC-150 sim uchun};$$

$$I_3 = \frac{\sqrt{320^2 + 300^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 42 \text{ A} < I_{\text{rus}} = 330 \text{ A} \quad \text{AC-95 sim uchun}.$$

Shunday qilib, tanlangan simlar qizish darajasi bo'yicha ham qoniqtiradi.

4. Ikki seh podstansiyasini ta'minlovchi 10 kV kuchlanishli elektr uzatuv liniyasi AAB kabelidan tayyorlangan. Liniyadagi kuchlanish yo'qotilishini ruxsatlangan qiymati 3% (300V). Tok zichligini liniya uchastkalarida bir xilligi sharti bilan kabel tomirlarini kesim yuzasini aniqlang. Rasmda toklar amperda, quvvat ko'rsatqisi ($\cos\phi$) va liniya uzunliklari KM da ko'rsatilgan.



Yechish. Kabel liniyasining $I_1^{32,8 \cdot 0,92}$ qarshiligi $34,7 \cdot 0,92$ bo'lganligi uchun uni hisobga olamiz ($\phi_0=0$); unda $\Delta U_R = \Delta U_{R_{\text{max}}}$.

Liniyadagi tokning zichligini aniqlaymiz

$$j = \frac{\gamma \Delta U_R}{\sqrt{3}(I_1 \cos \phi_1 + I_2 \cos \phi_2) \cdot 10^3} = \frac{32 \cdot 300}{\sqrt{3} \cdot (2,8 \cdot 0,92 + 3,4 \cdot 0,92) \cdot 10^3} = 0,99 \text{ A/mm}^2$$

Ikkinchi uchastkadagi kabel tomirlarining kesim yuzasi

$$F_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{34,7}{0,99} = 35,05 \text{ mm}^2$$

Tomirlar kesim yuzasi 35 mm², standart kabel tanlaymiz $r_{02}=0,89$ Om/km; $x_{02}=0,095$ Om/km;

Birinchi uchastkadagi kabel tomirlarining kesim yuzasi

$$F_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{67,5}{0,99} = 68,2 \text{ mm}^2$$

Tomirlar kesim yuzasi 70 mm² li standart kabel tanlaymiz $r_{01}=0,443$ Om/km; $x_{01}=0,086$ Om/km;

Tanlangan kesim yuzali kabellarda liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi

$$\begin{aligned} \Delta U &= \sqrt{3} \cdot [I_1 l_1 \cdot (r_{01} \cos \phi_1 + x_{01} \sin \phi_1) + I_2 l_2 \cdot (r_{02} \cos \phi_2 + x_{02} \sin \phi_2)] = \\ &= \sqrt{3} \cdot [67,5 \cdot 2,8 \cdot (0,443 \cdot 0,92 + 0,086 \cdot 0,39) + 34,7 \cdot 3,4 \cdot (0,89 \cdot 0,92 + 0,095 \cdot 0,39)] = \\ &= 318,98 > \Delta U_{\text{max}} = 300 \text{ V} \end{aligned}$$

Hisoblangan kuchlanish yo'qotilishi ruxsatlangan qiymatdan katta bo'lganligi uchun ikkinchi uchastka uchun 50 mm² li kabel tanlaymiz. $r_{02}=0,62$ Om/km; $x_{02}=0,09$ Om/km; unda liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi

$$\begin{aligned} \Delta U &= \sqrt{3} \cdot [67,5 \cdot 2,8 \cdot (0,443 \cdot 0,92 + 0,086 \cdot 0,39) + 34,7 \cdot 3,4 \cdot (0,62 \cdot 0,92 + 0,09 \cdot 0,39)] = \\ &= 267,8 > \Delta U_{\text{max}} \end{aligned}$$

10.6. Liniya simlari kabellarning kesim yuzasini qizish darajasi bo'yicha tekshirish

Simdan o'tayotgan tok uni va izolyatsiyani qizdiradi. Simlarni uzoq ishlashini ta'minlash uchun ularning harorati ruxsatlangan haroratdan oshmasligi kerak. Bu haroratga uzoq muddatli yuklamaning mumkin bo'lgan qiymati, (uzoq muddatli oqadigan ruxsatlangan tok) ma'lum bir sharoitda ma'lum bir tashqi muhit haroratidagi sovutishga to'g'ri keladi.

Masalan, simlarning uzoq muddatli ruxsatlangan haroratini qiymati va atrof muhitning o'rtacha harorati quyida keltirilgan:

Shinalar va ochiq similar		70°C	+25°C
kabellar, kV gacha	3	80°C	+15°C
Rezina izolyatsiyali oddiy	6	65°C	+15°C
kabel va similar	10	60°C	+15°C
Izolyatsiyasi issiqlikka bardosh	20	55°C	+15°C
beruvchi rezinadan bo'lgan oddiy	35	50°C	+15°C
kabel va simlar		55°C	+15°C
		65°C	+15°C

Har xil turdagi simlar uchun ruxsatlangan harorat har xil sharoitlar uchun aniqlangan, masalan, HL larini ochiq simlari uchun yuqorida keltirilgan ruxsatlangan harorat, simlarning uchastkalarini bir-biri bilan elektr va mexanik ravishda ulaydigan biriktiruvchi kontaktlarini normal ishlash sharoitini hisobga olib aniqlangan. Binolar ichida o'tkazilgan ochiq simlar uchun ruxsatlangan harorat yong'indan saqlash talablariga asosan aniqlanadi.

Kabellar uchun, yuqori haroratda kabel qog'ozini shikastlanishidan saqlash va kabel ichidagi tarkibiy gaz qismchalarining sonini oshib ketishiga yo'l qo'ymaslik ko'zda tutiladi, chunki bu gazni ionlanishiga va kabelni teshilishiga olib keladi.

Agar, ruxsatlangan qizish harorati ma'lum bo'lsa, unda I_{rx} toki tufayli vaqt birligi bo'yichagi simdagi ajralayotgan issiqlikni quyidagi ifodadan aniqlash mumkin.

$$P = RI_{rx}^2 \quad (10.6.1)$$

Bu vaqt bo'yicha atrof muhitga tarqalayotgan issiqlikning miqdori

$$P' = sF(\theta_{rx} - \theta_{ov}) \quad (10.6.2)$$

Bu yerda s -issiqlik uzatish koeffitsiyenti, 1 sm^2 sim yuzasining haroratlar farqi 1 O s bo'lganda tarqatadigan issiqlik miqdoriga tengdir; $Vt/\text{sm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ F -simning yuzasi, sm^2 .

Ma'lumki joriylashtirilgan tokni doimiy oqishida issiqlik muvozanati $P = P'$ boshlanadi, ya'ni

$$RI' = cF(\theta_{\text{sim}} - \theta_{\text{at}})$$

$F = \pi d l$ bo'lganda (d - simning diametri, sm ; l - uning uzunligi, sm).

$$R = \rho l / F = \rho l / (\pi d^2 / 4) = 4 \rho l / \pi d^2$$

$$4 \rho l^2 / \pi d^2 = c \pi d (q_{\text{sim}} - q_{\text{at}})$$

Bu yerdan

$$l_{\text{sim}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{cd^2(\theta_{\text{sim}} - \theta_{\text{at}})}{\rho}} \quad (10.6.3)$$

Ko'rinib turibdiki, qizish sharoitlari o'zgargan holda (ruxsatlangan simdagi harorati - θ' , atrof muhitning harorati θ_{at}) o'zaro munosabat to'g'ri keladi:

$$\frac{l'}{l_{\text{sim}}} = \sqrt{\frac{\theta' - \theta_{\text{at}}}{\theta_{\text{sim}} - \theta_{\text{at}}}}$$

va yangi qizdirish toki quyidagi ifodadan topilishi mumkin

$$I' = I_{\text{sim}} \sqrt{\frac{\theta' - \theta_{\text{at}}}{\theta_{\text{sim}} - \theta_{\text{at}}}}$$

Ya'ni har qanday kesim yuzasi simi uchun jadvaldagi ma'lumotlarga ko'ra qizish sharoitlarini har xil o'zgarishlariga tegishli mumkin bo'lgan qizdirish tokini aniqlash mumkin.

Amaliy hisoblarda boshlang'ich shartlarni aniqlash murakkab bo'lganligi uchun (10.6.3) ifodadan foydalanilmaydi, balki har xil turli simlar uchun ularni ishlatilish sharoitlariga bog'liq bo'lgan ruxsatlangan yuklama toklari keltirilgan jadvaldan foydalaniladi. Simlarning kesim yuzasini qizishiga tekshirish quyidagidan iboratdir: faraz qilaylik, shu berilgan yuklama uchun simning kesim yuzasi tokning iqtisodiy zichligi yoki boshqa shartlar bo'yicha tanlangan. Bu kesim yuzasi uchun jadvaldan qizish darajasi bo'yicha ruxsatlangan yuklama tokini aniqlaymiz. Agarda bunda

$$I_{\text{sim}} \leq I_{\text{max}} = K_{\text{sim}} \cdot I_{\text{max, sim}} \quad (10.6.4)$$

bo'lsa, tanlangan kesim yuzasi qizish darajasi bo'yicha qoniqtiradi.

Tuzatuv koeffitsiyenti K_{tuz} simni rasmiy ish sharoitidan haqiqiy ish sharoitining farqini hisobga oladi. Tuzatuv koeffitsiyenti kirgiziladi, masalan, atrof-muhitning haroratiga, oralaridagi masofaga bog'langan ravishda bir transheyada joylashgan kabellar soniga, suvda yotqiziladigan kabellar uchun, bloklardagi kabellar va boshqalar uchun, bu koeffitsiyentlar tegishli jadvallarda keltirilgan. Agarda bir necha tuzatuv koeffitsiyentlarini hisobga olish kerak bo'lsa, unda umumiy tuzatuv koeffitsiyenti K_{tuz} ularni ko'paytmasiga teng bo'ladi. Shunday hollarda, qachonki simlarning kesim yuzasi qizish shartiga asosan topilgan, uzoq muddatli ruxsatlangan qizdirish toki quyidagi ifodadan aniqlanadi

$$I_{max} \geq \frac{I_{uz}}{K_{tuz}}$$

Bu yerda I_{uz} – uzoq muddatli maksimal yuklama tokining qiymati. So'ngra jadvaldan qidirayotgan kesim yuzasi aniqlanadi.

Bir qator iste'molchilar (7.6.1-rasm) qaytariladigan – qisqa vaqtli yuklama bilan ishlaydi. Bu yuklamalarni ta'minlaydigan simlar uchun quyidagi ifodadan aniqlanadigan uzoq muddatli toklarni qiymatiga qaraganda katta toklarga ruxsat etiladi:



10.6.1-rasm. Qaytariladigan qisq vaqtli yuklama holati.

(10.6.5)

Bu yerda UV – ulanish vaqti koeffitsiyenti, ish vaqti t_{ish} ning davr vaqti t_{uz} ni nisbatiga teng bo'ladi. Bu ifodadan mis simlarning kesim yuzasi 6 mm^2 dan va alyumin simlarning kesim yuzasi 10 mm^2 dan katta bo'lganda foydalanish mumkindir.

Kesim yuzasi katta bo'lganda bir kabelning o'rniga bir necha kichik yuzali kabellarni qo'llash qulaydir, (ammo almashtiriladigan kabel 150 mm^2 dan kichik bo'lmasligi kerak. Buni quyidagidan tushuntirsa bo'ladi: kesim yuzasi katta bo'lgan simlar va kabellarda qizish darajasi bo'yicha ruxsatlangan tokni zichligi kichik yuzalilarga qaraganda kichik bo'ladi, chunki sim va

kabellarning kesim yuzasi qancha katta bo'lsa uning o'lchov birligiga to'g'ri keladigan sovitish maydoni shuncha kichik bo'ladi.

Nazorat savollari:

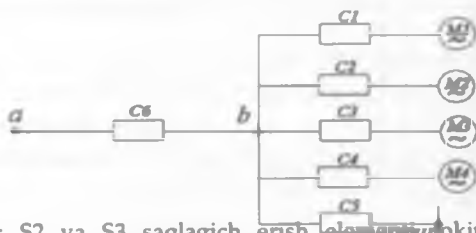
1. Liniya simlarining kesim yuzasi qizish darajasi bo'yicha qanday tanlanadi?
2. Ruxsatlangan tok tufayli simdan ajralayotgan issiqlik va atrof muhitga tarqalayotgan issiqlik orasida bog'lanish ifodasini yozib bering.
3. Tuzatuv koeffitsiyenti qanday aniqlanadi.
4. Qisqa vaqtli yuklamada ishlaydigan iste'molchilar uchun tok qiymati qanday aniqlanadi.

10.6.1. Mavzuga doir misollar

1-Misol. 380/220 V li taqsimlovchi tarmoqdan M1-M4 motorlari va 25 kVt, $\cos\phi=1$ yoritgich yuklamasi (rasmda ko'rsatilgan) ta'minlanadi.

Motorlar M1 va M2 ni ish toki 28A ga. Ishga tushirish tokining darajasi 7 ga teng. Motorlar M3 va M4 ni ish toki 40,5 A ga, ishga tushirish tokining darajasi 2, ishga tushirish tartibi og'ir.

Eruvchan elementni nominal tokini toping va tarmoqni kesim yuzasini kuchlanishni yo'qotilishi va saqlagichga to'g'ri kelishi bo'yicha tanlang.



Yechish: S2 va S3 saqlagich erish elementini tokini quyidagi shart bo'yicha aniqlaymiz:

$$I_s \geq I_r = 28 \text{ A}$$

$$I_s \geq \frac{7 \cdot I_r}{2,5} = \frac{7 \cdot 28}{2,5} = 78,4 \text{ A}$$

Jadvaldan 80 A nominal tok uchun saqlagichlarni erish elementini tanlaymiz.

Trubada yotqizilgan bir tomirli alyumin simni kesim yuzasini tanlaymiz. Qizish sharti bo'yicha ruxsatlangan tok ishchi tokdan katta bo'lishi kerak.

$$I_{\text{max}} \geq I_r = 28 \text{ A}$$

Himoya sharti bo'yicha

$$I_{\text{rub}} \geq \frac{I_1}{3} = \frac{80}{3} = 26,7 \text{ A}$$

Jadvaldan 4 mm² kesim yuzali sim tanlaymiz. Ruxsatlangan tok $I_{\text{rub}}=28$

A

Saqlagichlar s4 va s5 uchun erish elementini nominal tokini aniqlaymiz

$$I_e \geq I_1 = 40,5 \text{ A}; \quad I_e \geq \frac{2 \cdot I_1}{1,5} = \frac{2 \cdot 40,5}{1,5} = 50,6 \text{ A}$$

Jadvaldan 60 A nominal tok uchun yaqin standart erish elementini tanlaymiz.

Trubada yotqiziladigan bir tomirli alyumin simni kesim yuzasini tanlaymiz.

$$I_{\text{rub}} \geq I_1 = 40,5 \text{ A}; \quad I_{\text{rub}} \geq \frac{I_1}{3} = 60 \text{ A}$$

Jadvaldan 10 mm² kesim yuzali sim tanlaymiz $I_{\text{rub}}=47 \text{ A}$

Me'yoriy tartibda yoritgich liniyasining ish toki

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_p} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 38 \text{ A}$$

Saqlagich S5 erish elementining nominal tokini quyidagi shartdan aniqlaymiz

$$I_e \geq I_1 = 38 \text{ A};$$

Jadvaldan yaqin standart erish elementini tanlaymiz. Nominal toki 45 A.

Trubada yotqiziladigan bir tomirli alyumin sim kesim yuzasini tanlaymiz.

$$I_{\text{rub}} \geq I_1 = 38 \text{ A}; \quad I_{\text{rub}} \geq \frac{I_1}{3} = \frac{45}{3} = 15 \text{ A}$$

Jadvaldan 10 mm² kesim yuzali sim tanlaymiz $I_{\text{rub}}=47 \text{ A}$ a, v liniyadagi ish toki

$$I_1 = m \cdot (2I_1 + 2I_2 + I_3) = 0,8 \cdot (2 \cdot 28 + 2 \cdot 40,5 + 38) = 140 \text{ A}$$

Motorlarni ishga tushirishda, eng katta ishga tushirish tokida liniyadagi tok.

$$I_{\text{max}} = m \cdot (I_1 + 2I_2 + I_3) + \frac{I_4}{2,5} = 0,8 \cdot (28 + 2 \cdot 40,5 + 38) + \frac{7 \cdot 28}{2,5} = 196 \text{ A}$$

Saqlagich s⁶ erish elementining nominal tokini quyidagi shartdan aniqlaymiz

$$I_e \geq I_1 = 139 \text{ A}; \quad I_e \geq I_{\text{max}} = 196 \text{ A};$$

Jadvaldan yaqin standart erish elementini tanlaymiz nominal toki 200 A.

Seh devoridan yotqiziladigan uch tomirli alyumin kabelni kesim yuzasini quyidagi shartdan tanlaymiz.

$$I_{\text{kor}} \geq I_1 = 139 \text{ A}; \quad I_{\text{kor}} \geq \frac{I_x}{3} = \frac{200}{3} = 67 \text{ A}$$

Jadvaldan 70 mm² kesim yuzali kabel tanlaymiz. Ruksatlangan toki 140 A.

10.7. Liniya kesim yuzasini tojlanish sharoiti va qisqa tutashuv toklarini qizdirishi bo'yicha tekshirish

Iqtisodiy zichlikka asosanib tanlangan 110 kV va undan yuqori kuchlanishli HL larining simlari tojlanishni paydo bo'lish sharoitlari va radio aloqa uskunalariga xalaqit darajasi bo'yicha tekshirilishi shart.

Tojlanishga bo'lgan isrof elektr maydonining kuchlanganligiga bog'liqdir. Simning diametri oshishi bilan maydonning ish paytidagi kuchlanganligiga teskari bog'langan holda kamayadi. Shunday qilib, tojlanishga bo'lgan isrofnı kamaytirish uchun simning kesim yuzasini oshirish (yoki fazani bo'lish) kerak. 2-jadvalda tojlanishga bo'lgan energiya isrofi sharti bo'yicha simning eng kichik kesim yuzasi va markasi keltirilgan. Texnik – iqtisodiy hisoblarnı tojlanishga bo'lgan isrof 330 kV va undan yuqori kuchlanishli (E-28 kV/sm bo'lganda) liniyalarda hisobga olinadi. Fazaning eng kichik kesim yuzasi uning bo'linishini hisobga olganda 330 kV kuchlanish uchun 500 mm²ga yaqin bo'ladi. 900 mm² -500 kV uchun, 1200 mm²-750 kV uchun va 2400 mm²-1150 kV uchun [A].

Kuchlanganlikni pasaytirish uchun eng ta'sirli tadbir, faza simlarini bo'lishdir, bu tufayli tojlanishga bo'lgan o'rtacha yillik quvvat isrofinı bir necha marta kamaytiriladi. 330-500 kV HL larini loyihalashdagi ko'p tajribalarga asosan amaliyotda 330 kV kuchlanishli liniyalarning fazasi bo'lingan ikki simga egadir, 500 kV kuchlanishli liniyalarning fazasi esa 3 simga egadir.

Tojlanishga bo'lgan energiya isrofinı aniqlash uchun avval elektr maydonining ish paytidagi kuchlanganligini aniqlash kerak. Chetdagi simlar uchun faza bo'lingandagi kuchlanganlik, kV/sm, teng:

$$E = \frac{0,354U}{nrg \frac{D_{\text{sr}}}{r_{\text{m}}}} (1 + 0,25fgn) \quad (10.7.1)$$

Bu yerda U – liniya kuchlanishi
n – fazadagi simlar soni

r- har bir simning radiusi

O'rtadagi sim uchun kuchlanganlikni qiymati 10% ga katta qilib olinadi, chunki bu sim ikki chetki simning ta'sirida bo'ladi. 10.7.1-rasmda faza simning radiusi 1 sm bo'lgan liniyaning 1 km uzunligi uchun o'rtacha yillik solishtirma energiya isrofi ni kuchlanganlikka bog'liqlik taxminiy egri chizig'i keltirilgan.

Shunday qilib, chetki (chet) va o'rta simlarning atrofidagi kuchlanganlikni aniqlab tojlanishga bo'lgan solishtirma energiya isrofining hama fazalar uchun yigindisini aniqlash mumkin.

Tojlanishga bo'lgan isrofning qiymati [A-1] ham keltirilgan.

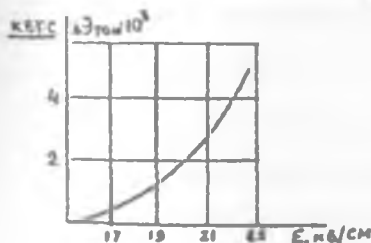
Kabellarni qisqa tutashuv toklari qizdirishiga chidamlngi bo'yicha tekshirishi. Qisqa tutashuv toki simdan oqib, uni tez qizdirgani tufayli izolyatsiya shikastlanishi va kabelning bir qismi yonib ketishi mumkin. Bu esa qisqa tutashuv vaqtida simda ajraladigan miqdoriga borliq.

Hajm birligi uchun qisqa tutashuv paytida ajraladigan issiqlik energiya miqdori quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$E = \frac{R}{l \cdot F} \int_0^{t_q} i^2 dt \quad (10.7.2)$$

yoki $R = \frac{l}{\gamma \cdot F}$ -ni qo'yib topamiz

$$E = \frac{R}{\gamma \cdot F^2} \int_0^{t_q} i^2 dt \quad (10.7.3)$$



10.7.1-rasm. 1 km liniyaning 1 fazasining tojlanishga bo'lgan energiya isrofining elektr maydoni kuchlanganligiga bog'liqligi.

Bu yerda, i_q - lahzali tutashuv toki;

t_q - qisqa tutashuv davom etgan vaqt;

i_q - ning qiymati qisqa tutashuv bo'yicha o'zgarganligi uchun amaliyotda (10.7.3) integralni hisoblashda soddalashtirilgan ifodasi qo'llaniladi. Bunda, yoki haqiqiy vaqt t_q va soxta tok ishlatiladi (shunday o'zgarmas tokki, bunda ajraladigan energiyaning miqdori haqiqiy tokdagiga teng bo'ladi) yoki I_{q1} toki vaqtning ayrim lahzalarida, masalan I_{om} va soxta vaqt

(shunday vaqtiki, bunda shunday energiya ajratadiki. bu haqiqiy vaqtdagiga teng).

Kabel yonmasligi uchun (10.7.3) orqali hisoblangan energiya qiymati mumkin bo'lganidan oshmasligi kerak. E ning qiymatini kamaytirish uchun quyidagi mumkin bo'lgan tadbirlar kuriladi:

- kabelning kesim yuzasini kattalashtirish;
- t_q vaqtini kamaytirish uchun tezda harakatlanuvchi himoyani qo'llash;
- tokni cheklovchi qurilmalar (reaktorlar va boshqalar) yordamida k.t. tokini kamaytirish.

Ko'p jihatdan eng arzon usul tez harakatlanuvchi himoyani qo'llash bo'ladi. Bunda qisqa tutashuv vaqtida kabelning qizishga turg'unligini ta'minlash uchun uning kesim yuzasini maqbulligidan oshirish talab etilmaydi. EUTQ (elektr uskunalarini tuzilishi qoidalari)ga asosan saqlagichlar yordamida chimoyalanadigan simlar va kabellar qisqa tutashuv toklari qizdirishiga chidamligi bo'yicha tekshirilmaydi, chunki kabel ruxsatlangan haroratga yetguncha saqlagich oldinroq yonib ketadi.

Jadvallarda simlar uchun qisqa tutashuv vaqtidagi mumkin bo'lgan harorat keltirilgan.

Nazorat savollari:

1. Nima uchun simlarni kesim yuzasi tojlanishga tekshiriladi?
2. Tojlanishga bo'lgan energiya isrofi va kuchlanganlik o'rtasida qanday bog'lanish bor?
3. Tojlanishga bo'lgan energiya isrofi qanday kamaytiriladi?

10.8 Po'lat simlardan tayyorlangan liniyalarni hisoblash

Ko'p hollarda kichik qishloq yoki temir yo'l inshootlarini (masalan avtomatik boshqarish liniyalarini) ta'minlaydigan va boshqa yuklamasi zich bo'lmagan mahalliy elektr tarmoqlarida rangli metall simlari yetarli darajada ishlatilmaydi.

Bundan kelib chiqadi, qachonki mis va alyumin simlarining kesim yuzasi kuchlanishni yo'qotilishi yoki ruxsatlangan yuklama toki bo'yicha emas, balki mexanik mustahkamligi bo'yicha olinsa, demak u havo liniyalari uchun ruxsatlangan minimal yuzadan kattalashtirilib tanlaniladi.

Shuningdek, 6 kV-li havo liniyalari uchun EUTQ-da minimal kesim yuzasi sifatida A-25 alyumin simi ruxsat etiladi.

Faraz qilamiz, masalan 6 kV-li liniya 12 km uzunlikka $R=60$ kVt quvvatni ($\cos\phi=0,8$, $Q=42,6$ kVAr) uzatish kerak. A-25 simli liniya uchun $r_0=1,88$ Om/km $x_0=0,377$ Om/km bo'lganda, kuchlanish yo'qotilishini topamiz.

$$\Delta U_{\%} = \frac{I \cdot (P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_N^2 \cdot 10^3} = \frac{12 \cdot (60 \cdot 1,88 + 42,6 \cdot 0,377)}{6 \cdot 6000} \cdot 100\% \approx 3\%$$

bu esa mumkin bo'lgan 10% kuchlanish yo'qotilishidan ancha kichikdir. Demak mexanik mustahkamligi nuqtai nazaridan minimal kesim yuzali A-25 simni yetarli ishlatilmaydi, chunki berilgan holatda ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishi $\Delta U_{\%}$ -ga asosan kesim yuzasi 6 mm² alyumin simni qo'llash maqsadga muvofiq. Ammo, bu mumkin emas, shuning uchun bunday hollarda alyumin simlari katta mexanik mustahkamlikka, lekin past elektrik ko'rsatkichlarga ega bo'lgan po'lat simlar bilan almashtirilishi kerak.

Po'lat simlarni qo'llanishi liniyani qurishdagi xarajatlarni kamaytirishga va eng muhimi rangli metallardan tayyorlangan kamyob simlarni kamyob bo'lmaganlari bilan almashtirishga imkon beradi.

Po'lat simlardan tayyorlangan tarmoqlarni hisoblash quyidagi ketma-ketlikda bajariladi: liniya uchastkalaridagi tokni qiymatlari aniqlanadi, keyin har bir uchastkaga tegishli bir-ikki variantda simning kesim yuzasi mo'ljallaniladi (bir tola yoki ko'p tolali) va jadvaldan ruxsatlangan qizish toki I_{rux} bo'yicha tanlaniladi.

So'ngra har bir uchastka uchun aktiv qarshilik va induktiv qarshilik $x_0 = x'_0 + x''_0$ aniqlanadi (jadval). Aktiv qarshilik va ichki reaktiv qarshilik x''_0 -ni qurilayotgan uchastkadan oqayotgan tokni qiymati bo'yicha, tashqi reaktiv qarshilik x'_0 -ni esa liniyaning geometrik ko'rsatkichlariga asosan aniqlanadi.¹²

Jadvalda har xil diametr uchun oqayotgan tokning qiymatiga bog'liq bo'lgan, tajribadan aniqlangan r_0 va $x_0 = x'_0 + x''_0$ ning qiymatlari keltirilgan.

So'ngra kuchlanish yo'qotilishi quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\sum_i P_i \cdot r_0 \cdot I_i + Q_i \cdot (x'_0 + x''_0) \cdot I_i}{U_n}$$

¹² Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley - Interscience A John Wiley&Sons, INC Publication, 2007, 260 p.

va javob ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishining qiymati bilan taqqoslanadi.

Shuni qayd qilish kerakki qizish bo'yicha ruxsatlangan tok I_q – ga asosan tanlangan simni kesim yuzasi odatda juda katta kuchlanish yo'qotilishga olib keladi.

Bunday natijada simni kesim yuzasini kattalashtirib, qaytadan, kuchlanish yo'qotilishi bo'yicha tekshiriladi. Yakuniy kesim yuzasini tanlash bir qancha ketma-ket yaqinlashishlardan kelib chiqadi. Tokning iqtisodiy zichligiga asosan po'lat simlarni tanlash amaliyotda qo'llanilmaydi.

Nazorat savollari:

1. Po'lat simlardan tayyorlangan liniya simlarining kesim yuzasi qanday tanlangan.

2. Po'lat simlardan tayyorlangan liniyalarda kuchlanishni aniqlovchi ifodani tushuntirib bering.

10.8.1. Mavzuga doir misollar

1-masala. (80+40) MVA quvvat iste'mol qiluvchi korxona ikki sistemali 110 kV kuchlanishli liniya orqali ta'minlanishi kerak. Maksimal yuklamada ishlash vaqti 4500 soat. Po'lat-alumin liniya simlarining kesim yuzasini aniqlang.

Yechish. Liniyadagi hisobiy tokni aniqlaymiz:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2} \cdot 10^3}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{\sqrt{80^2 + 40^2} \cdot 10^3}{2 \cdot 1,73 \cdot 110} = 232 \text{ A}$$

2-ilovadagi 8-jadvaldan tokning iqtisodiy zichligi $j_{iq}=1,1 \text{ A/mm}^2$ ni topamiz. Iqtisodiy mumkin bo'lgan liniya simining kesim yuzasi:

$$F_n = \frac{I}{j_{iq}} = \frac{232}{1,1} = 211 \text{ mm}^2$$

Standart AC-240 kesim yuzasini tanlab, uni qizishga tekshiramiz. Binodan tashqarida $t=25^\circ \text{C}$ da 1-ilovadagi 1-jadvalga asosan ruxsat etilgan tok $I_{rn}=605 \text{ A}$. Tanlangan kesim yuzali simni qizishga tekshiramiz. $I < I_{rn}$. Avariya dan so'nggi ish tartibi bitta liniya o'chirilganda ishda qolgan liniyadagi ish toki:

$$I_{rh}=2 \cdot 232=464 \text{ A} < I_{rn}$$

2-masala. 7.2.1-rasmda ko'rsatilgan 110 kV kuchlanishli magistral tarmoqdan quvvat iste'mol qiladigan uchta sex podstantsiyalari – birinchisi

– 4,8 mVA, ikkinchisi – 5,2 mVA, uchinchisi – 13,5 mVA ta'minlanadi. Agar maksimal yuklamada ishlash vaqti 4200 soat bo'lsa, tarmoq uchastkalari simlarining kesim yuzasini aniqlang.

Yechish. Quvvat isrofini hisobga olmasdan uchastkalardagi quvvat oqimini aniqlaymiz. Uchinchi uchastkadagi quvvat oqimi 13,5 MVA, ikkinchisida:

$$S_1 = S_3 + S_2 = 13,5 + 5,2 = 18,7 \text{ MVA}$$



7.2.1-rasm

birinchisida:

$$S_{A1} = S_1 + S_2 + S_3 = 18,7 + 4,8 = 25,5 \text{ MVA}$$

Liniya uchastkalaridagi ish tokini aniqlaymiz:

$$I_{A-1} = \frac{25,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 134 \text{ A}; \quad I_{1-2} = \frac{18,7 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 98,3 \text{ A};$$

$$I_{2-3} = \frac{13,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 71 \text{ A}$$

$T_{\max} = 4200$ soatda po'lat-alumin simlar uchun $j_{\text{q}} = 1,12 \text{ A/mm}^2$. Uchastka simlarining kesim yuzasi:

$$F_{A-1} = \frac{134}{1,12} \approx 122 \text{ mm}^2; \quad F_{1-2} = \frac{98,3}{1,12} \approx 89,5 \text{ mm}^2;$$

$$F_{2-3} = \frac{71}{1,12} = 64,5 \text{ mm}^2$$

Yaqin joylashgan standart kesim yuzasini tanlaymiz.

$F_{A-1} = 120 \text{ mm}^2$, $I_{\text{rux}} = 380 \text{ A}$; $F_{1-2} = 95 \text{ mm}^2$, $I_{\text{rux}} = 330 \text{ A}$; $F_{2-3} = 70 \text{ mm}^2$, $I_{\text{rux}} = 265 \text{ A}$.

Hamma tanlangan kesim yuzalari qizish shartini qoniqtiradi, chunki liniya uchastkalaridagi ish toki $I_{\text{ish}} < I_{\text{rux}}$.

3-masala. 1000 kVA transformator o'rnatilgan korxona, podstantsiyasi 10 kV kuchlanishli havo liniyasi orqali ta'minlanadi. Oraliq masofasi 1 m bo'lgan uchburchak shaklida joylashgan alumin simdan tayyorlangan liniyaning uzunligi 2,5 km. Podstantsiyaning yuklamasi (750+j650) kVA. Kuchlanish yo'qotilishining ruxsat etilgan qiymati 4,5 % ga teng. Liniya simining kesim yuzasini toping.

Yechish. Kuchlanish yo'qotilishining ruxsat etilgan qiymati:

$$\Delta U_{\text{res}} = \frac{10000 \cdot 4,5}{100} = 450 \text{ V}$$

1 km liniyaning induktiv qarshiligi $x_0=0,38$ Om/km, reaktiv yuklama tufayli hosil bo'lgan kuchlanish yo'qotilishini topamiz:

$$\Delta U = \frac{Qx_0 l}{U} = \frac{600 \cdot 0,38 \cdot 2,5}{10} = 57 \text{ V}$$

Kuchlanish yo'qotilishining aktiv tarkibiy qismi:

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{res}} - \Delta U_r = 450 - 57 = 396 \text{ V}$$

Simga kerak bo'lgan kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$F = \frac{Pl}{\Delta U_a \gamma U_l} = \frac{750 \cdot 2,5 \cdot 10^3}{393 \cdot 32 \cdot 10} = 14,7 \text{ mm}^2$$

Standartga yaqin: ААШБ-16 simni tanlaymiz. Simning qarshiliklari: $r_0=1,98$ Om/km, $x_0=0,39$ Om/km. Tanlangan sim bo'yicha liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi:

$$\Delta U = \frac{Pr_0 + Qx_0 l}{U} = \frac{750 \cdot 1,98 + 600 \cdot 0,39}{10} \cdot 2,5 = 430 \text{ V}$$

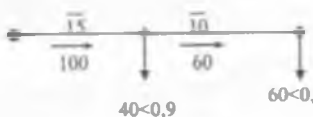
Shunday qilib, $\Delta U=430\text{V} < \Delta U_{\text{res}}=450\text{V}$ va tanlangan kesim yuzasi kuchlanish yo'qotilishining ruxsat etilgan qiymati shartini qoniqtiradi. Tanlangan simni kesim yuzasini qizish shartiga ko'ra tekshiramiz. ААШБ-16 sim uchun $I_{\text{m}}=105$ A, liniyaning maksimal toki:

$$I = \frac{\sqrt{750^2 + 600^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 55,5 \text{ A}$$

Shunday qilib, tanlangan kesim yuzasi qizish shartini qoniqtiradi.

4-masala. 35/6 kV podstantsiyasini ta'minlovchi 35 kV kuchlanishli elektr uzatuvchi havo liniyasi simlarining kesim yuzasini aniqlang. Liniyaga AC markali simlar oraliq masofasi 3 m dan gorizontaal osish mo'ljallanmoqda. Kuchlanish yo'qotilishining ruxsat etilgan qiymati 6%.

Liniya ayrim uchastkalari simlarining kesim yuzasi, tokning iqtisodiy zichligi bir xil bo'lishi uchun tanlanishi kerak. Rasmda toklar (A)da quvvat ko'effisienti ($\cos\phi$) uchastkalar uzunligi (km) da ko'rsatilgan.



7.2.2-rasm

Yechish. Kuchlanish yo'qotilishining ruxsat etilgan qiymati:

$$\Delta U_{\text{rux}} = 0,06 \cdot 35000 = 2100 \text{ V}$$

1 km liniyaning $x_0 = 0,38 \text{ Om/km}$ induktiv qarshiligini qabul qilib, reaktiv yuklama tufayli undagi kuchlanish yo'qotilishini aniqlaymiz:

$$\Delta U = \sqrt{3}(I_1 l_1 \sin \varphi_1 + I_2 l_2 \sin \varphi_2) x_0 =$$

$$\sqrt{3}(100 \cdot 15 \cdot 0,43 + 60 \cdot 10 \cdot 0,43) \cdot 0,38 = 539,6 \text{ V}$$

Kuchlanish yo'qotilishini aktiv tarkibiy qismini topamiz:

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{rux}} - \Delta U_p = 2100 - 593,6 = 1506,4 \text{ V}$$

Liniyadagi tok zichligini topamiz:

$$j = \frac{\gamma \Delta U_a}{\sqrt{3}(l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2) \cdot 10^3} = \frac{32 \cdot 1506,4}{\sqrt{3}(15 \cdot 0,9 + 10 \cdot 0,9) \cdot 10^3} = 1,23 \text{ A/mm}^2$$

Uchastkalar uchun simning kesim yuzasini tanlaymiz:

$$F_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{100}{1,23} = 81,3 \text{ mm}^2; \quad F_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{60}{1,23} = 48,8 \text{ mm}^2$$

Standart AC-95 sim uchun 1-ilovadagi 2-jadvaldan 1 km uzunlik qarshiliklari $r_{01} = 0,35 \text{ Om/km}$, $x_{01} = 0,397 \text{ Om/km}$ va AC-50 uchun 1 km uzunlik qarshiliklari $r_{02} = 0,65 \text{ Om/km}$, $x_{02} = 0,418 \text{ Om/km}$ ni tanlaymiz.

Tanlangan simning kesim yuzasida tarmoqdagi kuchlanishning yo'qotilishi:

$$\Delta U = \sqrt{3}[I_1 l_1 (r_{01} \cos \varphi_1 + x_{01} \sin \varphi_1) + I_2 l_2 (r_{02} \cos \varphi_2 + x_{02} \sin \varphi_2)] =$$

$$= \sqrt{3}[100 \cdot 15(0,35 \cdot 0,9 + 0,397 \cdot 0,43) + 60 \cdot 10(0,69 \cdot 0,9 + 0,418 \cdot 0,43)] = 2046 \text{ V}$$

Shunday qilib, $\Delta U = 2046 \text{ V} < \Delta U_{\text{rux}} = 2100 \text{ V}$ va tanlangan kesim yuzasi ruxsat etilgan kuchlanish yo'qotilishi shartini qoniqtiradi.

Tanlangan kesim yuzasini qizish shartiga tekshiramiz, 1-ilovadagi 1-jadvaldan AC-95 sim uchun $I_{\text{rux}} = 330 \text{ A}$, $I_1 = 100 \text{ A}$, AC-50 sim uchun $I_{\text{rux}} = 210 \text{ A}$, $I_2 = 60 \text{ A}$.

Shunday qilib, tanlangan kesim yuza qizish shartini ham qoniqtirdi.

5-masala. Sanoat korxonasi 7.3.3-rasmda ko'rsatilgan 110 kVli berk zanjirli tarmoqdan ta'minlanadi. Uchastkalardagi quvvatlar megovol'tlarda rasmda ko'rsatilgan maksimal yuklamada ishlash vaqti 4800 soat. Tarmoq simlarini kesim yuzasini aniqlang.

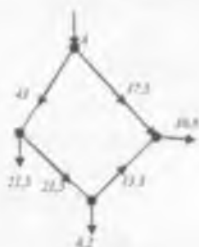
Yechish. Tarmoq uchastkalarida oqayotgan ish tokini aniqlaymiz:

$$I_1 = \frac{S_1 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{43 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 226 \text{ A}$$

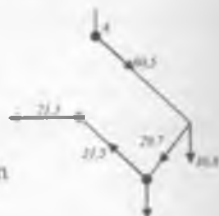
$$I_2 = \frac{S_2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{21,5 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 113 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{S_3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{13,3 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 70 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{S_4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{17,3 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 92 \text{ A}$$



7.2.3-rasm



Po'lat-alumin simlar uchun $T_{\max}=4800$ soat bo'lganda 2-ildovadagi 8-jadvaldan j_{iq} ning qiymatini olamiz. $j_{\text{iq}}=1,1 \text{ A/mm}^2$ teng bo'lganda uchastkalardagi simlarning kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$F_1 = \frac{226}{1,1} = 205 \text{ mm}^2, \quad F_2 = \frac{113}{1,1} = 102,7 \text{ mm}^2,$$

$$F_3 = \frac{70}{1,1} = 63,6 \text{ mm}^2, \quad F_4 = \frac{92}{1,1} = 83,6 \text{ mm}^2$$

Yaqin standart kesim yuzasini tanlaymiz:

$$F_1 = 240 \text{ mm}^2, \quad I_{\text{mux}} = 610 \text{ A}, \quad F_2 = 120 \text{ mm}^2, \quad I_{\text{mux}} = 380 \text{ A},$$

$$F_3 = 70 \text{ mm}^2, \quad I_{\text{mux}} = 265 \text{ A}, \quad F_4 = 95 \text{ mm}^2, \quad I_{\text{mux}} = 330 \text{ A}.$$

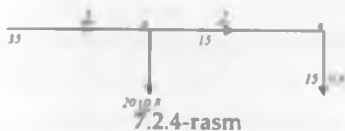
Hamma tanlangan kesim yuzalari to'planish shartini qoniqtiradi. Eng og'ir avariya holati, tarmoqning birinchi uchastkasi uzilganda bo'ladi. Ushbu holatlarda tarmoq uchastkalarida quvvat oqimi 7.2.3-rasmda ko'rsatilgandek bo'ladi.

Avariya dan keyingi holatda eng katta tok tarmoqning to'rtinchi uchastkasidan oqadi, uning qiymati:

$$I_{\text{av}} = \frac{60,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 318 \text{ A}$$

Uning qiymati AC-95 markali simning ruxsat etilgan $I_{\text{rus}}=330$ A dan kichik.

6-masala. Rasmda ko'rsatilgan ikki iste'molchini ta'minlaydigan 6 kV EUL uchun simning kesim yuzasi va markasini aniqlang. Liniya fazalari orasida o'rtacha geometrik masofa 800 mm bo'lgan po'lat-alumin simdan tayyorlangan. Liniyada kuchlanishning ruxsat etilgan qiymati 4%. Rasmda tok amperda liniya uchastkalari km, quvvat koefitsienti $\cos \varphi$ da ko'rsatilgan.



Yechish. Kuchlanishni ruxsat etilgan qiymati:

$$\Delta U_{\text{rus}} = 0,04 \cdot 6000 = 240 \text{ V}$$

Liniyaning induktiv qarshiligini $x_0=0,4$ Om/km deb qabul qilib, reaktiv quvvatdan bo'ladigan kuchlanish yo'qotilishini aniqlaymiz:

$$\Delta U_r = \sqrt{3}(I_2 I_2 \sin \varphi + I_1 I_1 \sin \varphi) x_0 = \sqrt{3} \cdot 0,4(15 \cdot 2 \cdot 0,6 + 35 \cdot 5 \cdot 0,6) = 85 \text{ V}$$

Kuchlanish yo'qotilishining aktiv tashkil etuvchisini aniqlaymiz:

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{rus}} - \Delta U_r = 240 - 85 = 155 \text{ V}$$

Liniya simining kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$F = \frac{\sqrt{3} \cos \varphi (I_2 I_2 + I_1 I_1)}{\Delta U_a} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^1 \cdot 0,8(15 \cdot 2 + 35 \cdot 5)}{32 \cdot 155} = 57,2 \text{ mm}^2$$

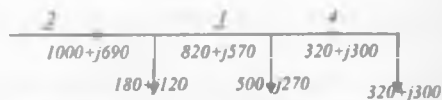
Standart AC-70 sim uchun 1-ilovadagi 2-jadvaldan $r_0=0,42$ Om/km, $x_0=0,327$ Om/kmni tanlaymiz

Unda liniyadagi kuchlanishning yo'qotilishi:

$$\Delta U_s = \sqrt{3}[(I_2 I_2 + I_1 I_1)(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)] = \sqrt{3}[(15 \cdot 2 + 35 \cdot 5)(0,42 \cdot 0,8 + 0,327 \cdot 0,6)] = 188,7 \text{ V}$$

Shunday qilib, $\Delta U = 188,7 \text{ V} < \Delta U_{\text{rus}} = 240 \text{ V}$ va tanlangan sim kuchlanishi yo'qotilishi bo'yicha qoniqtiradi.

7-masala. 7.2.5-rasmda ko'rsatilgan masofada joylashgan podstantsiya 6 kV li havo liniyasi orqali ta'minlanadi. Liniya po'lat-alumin simdan tayyorlangan bo'lib, simlar teng qirrali uchburchakning cho'qqilarida 800 mm masofada joylashgan. Kuchlanishning mumkin bo'lgan yo'qotilishi 6% (360 V) bo'lganda, o'tkazgich materiallarning minimum sharti bo'yicha liniya uchastkalari kesim yuzasini aniqlang. 7.2.5-rasmda yuklama kilovoltamperda va uchastkalar uzunligi km da ko'rsatilgan.



7.2.5-rasm

Yechish. $x_0=0,38$ Om/km deb qabul qilib, reaktiv yuklama tufayli kuchlanish yo'qotilishini aniqlaymiz:

$$\Delta U_p = X_0 \sum_{i=1}^n \frac{Q_i I_i}{U_n} = 0,38 \frac{690 \cdot 2 + 570 \cdot 1 + 300 \cdot 4}{6} = 199,5 \text{ V}$$

Kuchlanish yo'qotilishining aktiv tashkil etuvchisini aniqlaymiz:

$$\Delta U_a = \Delta U_{pyx} - \Delta U_x = 360 - 199,5 = 160,5 \text{ V}$$

Uchinchi oxirgi uchastkadagi simning kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$F_1 = \frac{\sqrt{P_1} 10'}{\gamma \Delta U_a U_n} (U_1 \sqrt{P_1} + I_1 \sqrt{P_2} + I_2 \sqrt{P_3}) = \frac{\sqrt{320}}{32 \cdot 160,5 \cdot 6} (2\sqrt{1000} + 1\sqrt{800} + 4\sqrt{320}) = 94,7 \text{ mm}^2$$

Standart AC-95 sim uchun 1-ilovadagi 2-jadvaldan qarshiliklarni aniqlaymiz: $r_0=0,316$ Om/km, $x_0=0,318$ Om/km.

Ikkinchi uchastkadagi simning kesim yuzasi:

$$F_2 = F_3 \sqrt{\frac{P_2}{P_3}} = 94,7 \sqrt{\frac{800}{320}} = 167,4 \text{ mm}^2$$

Standart AC-185 sim uchun 1-ilovadagi 2-jadvaldan qarshiliklarni aniqlaymiz: $r_{01}=0,154$ Om/km, $x_{01}=0,298$ Om/km.

Tanlangan kesim yuzali simlardagi kuchlanishning yo'qotilishi:

$$\Delta U_1 = \frac{\sum (P_i r_{0i} + Q_i x_{0i}) l_i}{U_n} = \frac{(1000 \cdot 0,154 + 690 \cdot 0,298) \cdot 2}{6} + \frac{(820 \cdot 0,195 + 570 \cdot 0,305) \cdot 1}{6} + \frac{(320 \cdot 0,316 + 300 \cdot 0,318) \cdot 4}{6} = 306,5 \text{ V}$$

Shunday qilib, $\Delta U = 306,5 \text{ V} < \Delta U_{rx} = 360 \text{ V}$ va tanglangan simlar kuchlanish yo'qotilishi bo'yicha qoniqtiradi.

Tanlangan kesim yuzali simlarni qizish sharti bo'yicha tekshiramiz. Liniya uchastkalaridagi va ruxsat etilgan toklarning qiymati:

$$I_1 = \frac{\sqrt{1000^2 + 690^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 117 \text{ A} < I_{rx} = 510 \text{ A} \quad \text{AC-185 sim}$$

uchun;

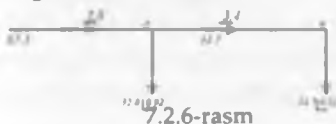
$$I_2 = \frac{\sqrt{820^2 + 570^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 96 \text{ A} < I_{rx} = 445 \text{ A} \quad \text{AC-150 sim uchun}$$

$$I_3 = \frac{\sqrt{320^2 + 300^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 42 \text{ A} < I_{\text{max}} = 330 \text{ A}$$

AC-95 sim uchun.

Shunday qilib, tanglangan simlar qizish darajasi bo'yicha ham qoniqtiradi.

8-masala. Ikki sex podstantsiyasini ta'minlovchi 10 kV li kuchlanishli elektr uzatish liniyasi AAB kabelidan tayyorlangan: Liniyadagi kuchlanish yo'qotilishini ruxsat etilgan qiymati 3% (300V). Tok zichligini liniya uchastkalarida bir xilligi sharti bilan kabel tomirlarini kesim yuzasini aniqlang. 7.2.6-rasmda toklar A da, quvvat koeffisienti $\cos \varphi$ va liniya uzunligi km da ko'rsatilgan.



7.2.6-rasm

Yechish. Kabel liniyasining induktiv qarshiligi kichik bo'lganligi uchun uni hisobga olmaymiz, $x_0=0$ unda $\Delta U_a = \Delta U_{\text{rx}}$.

Liniyadagi tokning zichligini aniqlaymiz:

$$j = \frac{\Delta U_a}{\sqrt{3}(I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2) \cdot 10^3} = \frac{32 \cdot 300}{\sqrt{3}(2,8 \cdot 0,92 + 3,4 \cdot 0,92) \cdot 10^3} = 0,99 \text{ A/mm}^2$$

Ikkinchi uchastkadagi kabel tomirlarining kesim yuzasi:

$$F_2 = \frac{I_2}{j_{\text{iq}}} = \frac{34,7}{0,99} = 35,05 \text{ mm}^2$$

Tomirlar kesim yuzasi 35 mm²li standart kabel tanglaymiz, $r_{\text{rx}}=0,89 \text{ Om/km}$, $x_{01}=0,095 \text{ Om/km}$.

Birinchi uchastkadagi kabel tomirlarining kesim yuzasi:

$$F_1 = \frac{I_1}{j_{\text{iq}}} = \frac{67,5}{0,99} = 68,2 \text{ mm}^2$$

Tomirlar kesim yuzasi 70 mm²li standart kabel tanglaymiz, $r_{\text{rx}}=0,443 \text{ Om/km}$, $x_{01}=0,086 \text{ Om/km}$.

Tanlangan kesim yuzali kabellarda liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi:

$$\begin{aligned} \Delta U_r &= \sqrt{3}[I_1 l_1 (r_{01} \cos \varphi_1 + x_{01} \sin \varphi_1) + I_2 l_2 (r_{02} \cos \varphi_2 + x_{02} \sin \varphi_2)] = \\ &= \sqrt{3}[67,5 \cdot 2,8(0,443 \cdot 0,92 + 0,086 \cdot 0,93) + 34,7 \cdot 3,4(0,89 \cdot 0,92 + 0,095 \cdot 0,39)] = \\ &= 318,9 \text{ V} > \Delta U_{\text{rux}} = 300 \text{ V} \end{aligned}$$

Hisoblangan kuchlanish yo'qotilishi ruxsat etilgan qiymatdan katta

bo'lganligi uchun ikkinchi uchastka uchun 50 mm²li kabel tanlaymiz.
 $r_{02}=0,62 \text{ Om/km}$, $x_{01}=0,09 \text{ Om/km}$.

Unda liniyadagi kuchlanishning yo'qotilishi:

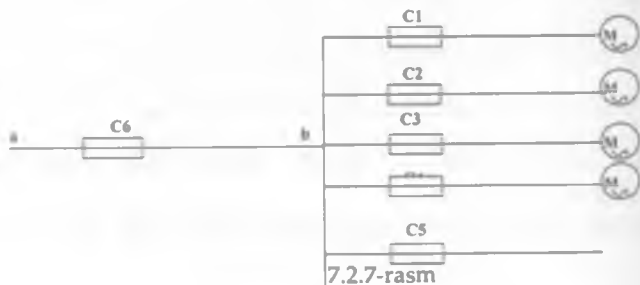
$$\Delta U = \sqrt{3}[67,5 \cdot 2,8(0,443 \cdot 0,92 + 0,086 \cdot 0,93) + 34,7 \cdot 3,4(0,62 \cdot 0,92 + 0,09 \cdot 0,39)] = 267,8 \text{ V} < \Delta U_{\text{mux}}$$

9-masala. 380/220 Vli taqsimlovchi tarmoqdan M1-M4 motorlari va 25 kW, $\cos \varphi = 1$ yoritgich yuklamasi rasmda ko'rsatilgandek ta'minlanadi. Motorlar M1 va M2 ning ish toki 28 A ga, ishga tushirish tokining darajasi 7 ga teng. Motorlar M3 va M4 ning ish toki 40,5 A ga, ishga tushirish tokining darajasi 2, ishga tushirish darajasi og'ir. Eruvchan elementning nominal tokini toping. Tarmoqni kesim yuzasi kuchlanishining yo'qotilishi va saqlagichga to'g'ri kelishi bo'yicha tanlang.

Yechish. C2 va C3 saqlagich erish elementi tokini quyidagi shart bo'yicha aniqlaymiz:

$$I_e \geq I_m = 28 \text{ A}$$

$$I_e \geq \frac{7I_m}{2,5} = \frac{7 \cdot 28}{2,5} = 78,4 \text{ A}$$



2-ilovadagi 9-jadvaldan 80 A nominal tok uchun saqlagichlarning erish elementini tanlaymiz.

Trubada yotqizilgan bir tomirli alumin simning kesim yuzasini tanlaymiz. Qizish sharti bo'yicha ruxsat etilgan tok ishchi tokdan katta bo'lishi kerak.

$$I_{\text{mux}} \geq I_n = 28 \text{ A}$$

Himoya sharti bo'yicha:

$$I_{\text{mux}} \geq \frac{I_e}{3} = \frac{8}{3} = 26,7 \text{ A}$$

1-ilovadagi 5-jadvaldan 4 mm² kesim yuzali sim tanlaymiz. Ruxsat etilgan tok $I_{\text{rux}}=27 \text{ A}$.

Saqlagichlar C4 va C5 uchun erish elementini nominal tokini aniqlaymiz:

$$I_e \geq I_n = 40,5 \text{ A}; \quad I_e \geq \frac{2I_n}{1,6} = \frac{2 \cdot 40,5}{1,6} = 50,6 \text{ A}$$

2-ilovadagi 9-jadvaldan 60 A nominal tok uchun erish elementini tanlaymiz.

Trubada yotqiziladigan bir tomirli alumin simning kesim yuzasini tanlaymiz:

$$I_{\text{rux}} \geq I_n = 40,5 \text{ A}; \quad I_{\text{rux}} \geq \frac{I_n}{3} = 60 \text{ A}$$

1-ilovadagi 5-jadvaldan 10 mm² kesim yuzali sim tanglaymiz. Ruxsat etilgan tok $I_{\text{rux}}=42 \text{ A}$. Normal ish holatida yoritgich liniyasining ish toki:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3}U_n} = \frac{2,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 38 \text{ A}$$

Saqlagich C5 erish elementining nominal tokini aniqlaymiz:

$$I_e \geq I_n = 38 \text{ A}$$

2-ilovadagi 9-jadvaldan standartga yaqin erish elementini tanlaymiz. Nominal toki 45 A:

Trubada yotqiziladigan bir tomirli alumin simning kesim yuzasini tanlaymiz:

$$I_{\text{rux}} \geq I_n = 38 \text{ A}; \quad I_{\text{rux}} \geq \frac{I_e}{3} = \frac{45}{3} = 15 \text{ A}$$

1-ilovadagi 5-jadvaldan 10 mm² kesim yuzali sim tanlaymiz. Ruxsat etilgan tok $I_{\text{rux}}=42 \text{ A}$.

ab liniyadagi ish toki:

$$I_i = m(2I_1 + 2I_2 + I_3) = 0,8(2 \cdot 28 + 2 \cdot 40,5 + 38) = 140 \text{ A}$$

Motorlarni ishga tushirishda va eng katta ishga tushirish tokida liniyadagi tok:

$$I_{\text{max}} = m(I_1 + 2I_2 + I_3) + \frac{I_{\text{um}}}{2,5} = 0,8(2,8 + 2 \cdot 40,5 + 38) + \frac{7 \cdot 28}{2,5} = 196 \text{ A}$$

Saqlagich C6 erish elementining nominal tokini aniqlaymiz:

$$I_e \geq I_n = 139 \text{ A}; \quad I_e \geq I_{\text{max}} = 196 \text{ A}$$

2-ilovadagi 9-jadvaldan standartga yaqin erish elementini tanlaymiz. Nominal tok 200 A.

Sex devorida yotqiziladigan uch tomirli alumin simning kesim yuzasini tanlaymiz.

$$I_{\text{rus}} \geq I_n = 139 \text{ A};$$

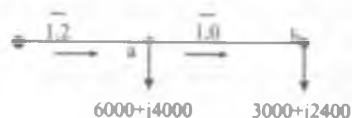
$$I_{\text{rus}} \geq \frac{I_c}{3} = \frac{200}{3} = 67 \text{ A}$$

1-ilovadagi 5-jadvaldan 70 mm² kesim yuzali kabel tanlaymiz. Ruksat etilgan tok $I_{\text{rus}}=140 \text{ A}$.

10.8.2. Mavzuga doir mustaqil tayyorlash uchun misollar

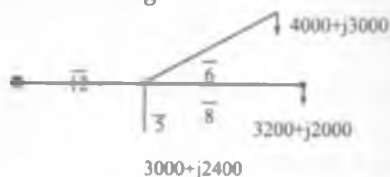
1-misol. (40+30) MVA quvvat iste'mol qiluvchi korxonaning bosh pasaytiruvchi podstansiyasi 110 kV kuchlanishli ikkita liniya orqali ta'minlanadi. $T_{\text{max}}=5200 \text{ s}$. Podstansiyani ta'minlovchi liniya simlarining markasi va kesim yuzasini tanlang.

Bir-biridan uncha uzoq bo'lmagan masofada joylashgan ikki podstansiya 35 kV li bitta liniyadan ta'minlanishi kerak. Liniyani bir xil kesim yuzali po'lat-alumin simdan tayyorlab, faza simlarini 3,5 m oraliq masofada osilishi mo'ljallanmoqda. 7.3.1-rasmda berilgan maksimal yuklama (kVA) va uzunlik km da ko'rsatilgan. Liniyada kuchlanish yo'qotilishi 5 % dan oshmaydi deb liniya simlarining markasi va kesim yuzasini tanlang.



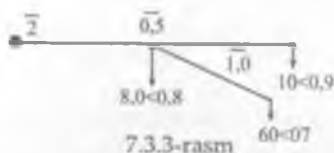
7.3.1-rasm

2-misol. 35 kV kuchlanishli rayon podstansiyasidan ko'rsatilgan sxema bo'yicha 3 ta korxona ta'minlanadi. Elektr uzatish liniyasi faza simlari o'rtacha geometrik oraliq masofasi 3 m dan po'lat-alumin simdan tortiladi. Ruksat etilgan kuchlanish yo'qotilishi 6,8 %. 7.3.2-rasmda maksimal yuklama (kVA) uchastkalar uzunligi (km) da ko'rsatilgan. Tarmoqning hamma uchastkalarida tok zichligining bir xillik sharti bilan, uchastka simlarning markasini tanlang.



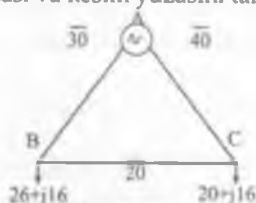
7.3.2-rasm

3-misol. Korxonadagi sex podstansiyalari 10 kV kuchlanish bilan ta'minlanadi. Tarmoq kabelda bajariladi. Ruksat etilgan kuchlanish yo'qotilishi 5,5 %. 7.3.3-rasmda tarmoq uchastkalarining toki (A), uzunligi (km) va quvvat ko'effitsienti ($\cos\phi$) ko'rsatilgan. Tarmoq uchastkalari uchun kabel tanlang.



7.3.3-rasm

4-misol. A va B bosh pasaytiruvchi podstansiyalar rayon podstansiyasidan 110 kV kuchlanishda halqasimon tarmoq orqali elektr energiyasi oladi. Tarmoq uchastkalari bir xil kesim yuzali simdan tayyorlangan. Tarmoq uchastkalarining yuklamasi (MVA), uzunligi (km)da ko'rsatilgan. $T_{max,B}=2900$ soat, $T_{max}=5600$ soat. Tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha simning markasi va kesim yuzasini tanlang.



7.3.4-rasm

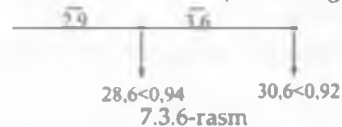
5-misol. A, B, C podstansiyalari havo liniyalari orqali 6 kV kuchlanishda ta'minlanadi. Liniya po'lat-alumin simdan tayyorlangan bo'lib, tomonlari teng uchburchakning cho'qqilarida 800 mm masofada joylashgan. Liniyada kuchlanishning ruksat etilgan yo'qotilishi 5% (300 V) ga teng. Materialning minimal sarfi sharti bo'yicha simning kesim yuzasini toping. 7.3.5-rasmda yuklama (kVA) liniya uchastkalarining uzunligi (km) da ko'rsatilgan.



7.3.5-rasm

6-misol. Sex podstansiyalarini ta'minlovchi 10 kV kuchlanishli elektr uzatish liniyasi AAB kabeldan tayyorlangan. Ruksat etilgan kuchlanishning yo'qotilishi 3 % (300V)ga teng. Liniya uchastkalarida

tokning iqtisodiy zichligi o'zgarmaslik sharti bo'yicha, kabel tomirlarining kesim yuzasini toping. 7.3.6-rasmda liniya uchastkalaridagi tok (A), uzunligi (km)da va quvvat ko'rsatilgan.



7-misol. Ikkita korxonani ta'minlovchi magistral tarmoq bir xil kesim yuzali simdan tayyorlangan. Birinchi korxona $i_1=140$ A ($T_{max}=3400$ soat) iste'mol qilib, ta'minlovchi manbadan 4 km masofada joylashgan. Ikkinchi korxona $i_2=80$ A ($T_{max}=4300$ soat) iste'mol qilib, ta'minlovchi manbadan 7 km masofada joylashgan. Magistral simning iqtisodiy kerakli kesim yuzasini tanlang.

ILOVALAR

Havo liniyalarini hisoblash uchun ma'lumotlar

1 jadval

Ochiq po'lat-alumin simlarning xarakteristikasi (binodan tashqari)

Sim markasi	Tashqi diametri, mm	Uzoq vaqt ruxsat etilgan yuklama toki, A	1km liniyaning aktiv qarshiligi, Om/km
AC-35	8,4	175	0,85
AC-50	9,6	210	0,65
AC-70	11,4	265	0,46
AC-95	13,5	330	0,33
AC-120	15,2	380	0,274
AC-150	17,0	445	0,21
AC-185	19,0	510	0,17
ACO-240	21,6	606	0,13
ACO-300	23,5	690	0,108
ACO-400	27,2	825	0,08
ACO-500	30,2	945	0,065

2 jadval

AC markali 35-220 kV kuchlanishli havo liniyalarini (100 km) hisoblash uchun ma'lumotlar

Simning markasi	m, Om	35 kV		110 kV			220 kV		
		x_0 , Om	b_0 , sim, 10^4	x_0 , Om	b_0 , sim, 10^4	q_0 , MVA _r	x_0 , Om	b_0 , sim, 10^4	q_0 , MVA _r
AC-35	95	44,5	2,59	-	-	-	-	-	-
AC-50	63	43,3	2,65	-	-	-	-	-	-
AC-70	45	42,0	2,73	44,0	2,85	3,40	-	-	-
AC-95	33	41,1	2,81	42,9	2,65	3,5	-	-	-
AC-120	27	43,0	2,85	42,3	2,69	3,6	-	-	-
AC-150	21	39,8	2,9	41,6	2,74	3,65	-	-	-
AC-185	17	38,4	2,9	40,9	2,82	3,7	-	-	-
ACO-240	13	-	-	40,1	2,85	3,75	43,0	2,66	14,1
ACO-300	10,8	-	-	39,2	2,91	3,85	42,2	2,71	14,4
ACO-400	8	-	-	-	-	-	41,4	2,73	14,5
ACO-500	6,5	-	-	-	-	-	41,0	2,79	14,8

3-jadval

Qizish sharti bo'yicha AC va ACO markali havo liniyalari uchun uzoq vaqt ruxsat etilgan quvvat, MVA da

Simning kesim yuzasi, mm ²	Kuchlanish, kV		
	35	110	220
35	10,7	-	-
50	14,0	-	-
70	17,5	55,0	-
95	21,4	67,0	-
120	24,0	75,8	-
150	28,2	88,8	-
180	32,7	103,0	-
240	-	122,0	244
300	-	142	276
400	-	-	346
500	-	-	388

4-jadval

Maksimal yuklamada ishlash vaqti $T_{\max}$ bilan quvvat isrof vaqti τ orasidagi bog'liqlik

$T_{\max}$ (soat)	τ ning $\cos \phi$ bo'yicha qiymati, soat		
	$\cos \phi = 0,6$	$\cos \phi = 0,8$	$\cos \phi = 1,0$
2000	-	1000	800
3000	2800	2000	1200
4000	3300	2700	2000
5000	4000	3500	3000
6000	5000	4600	4000
7000	6000	5900	5500
8000	7300	7300	7300
8760	8760	8760	8760

5-jadval

1 kV kuchlanishgacha bo'lgan kabel liniyalarini hisoblash uchun ma'lumotlar

Simning kesim yuzasi, mm ²	Yuklama tokining ruxsat etilgan qiymati, A	r_0 , Om/km	x_0 , Om/km
2,5	19	-	-
4	27	7,74	0,095
6	32	5,17	0,09
10	42	3,1	0,073
16	60	1,94	0,0675
25	75	1,24	0,0662
35	90	0,89	0,0637
50	110	0,62	0,0625
70	140	0,443	0,0612
95	170	0,326	0,0602
120	200	0,258	0,0596
150	235	0,206	0,0596

2-ilova

Transformatorli podstantsiyalarning hisobi uchun ma'lumotlar

1-jadval

3-20 kVli moyli transformatorlar

Transformator turi	S _{ni} , kVA	U _n , kV		ΔP_{yyu} , kVt	ΔP_{qt} , kVt	U _{qt} , %	I _{yyu} , %
		YuK	PK				
TM	1000	10	0,4	-	-	-	-
		20	11,0	2,75	11,6	6,5	1,5
TMH	1000	10	0,69	2,45	12,2	5,5	1,4
		10	3,15	2,45	11,6	5,5	1,4
TM	1600	10	0,4	3,3	18	5,5	1,3
		10	0,69	2,8	18	5,5	1,3
		20	0,4	3,65	18	6,5	1,4
		20	0,69	3,65	18	6,5	1,4
TMH	1600	10	0,4	-	-	-	1,3
		20	0,4	3,65	18	6,5	1,4
		20	6,3	3,65	16,5	6,5	1,4
TM	2500	10	0,4	4,6	25,5	5,5	1,0
		10	0,69	4,6	25	5,5	1,60
		10	3,15	4,6	23,5	5,5	1,0
		15,75	6,3	-	-	-	-
		20	0,69	5,1	25,0	6,5	1,1
		20	6,2	5,1	23,5	6,5	1,1
		20	10,5	5,1	23,5	6,5	1,1
		20	11,0	5,1	23,5	6,5	1,1
TMH	2500	6	3,15	-	-	-	-
		10	0,4	4,6	25	5,5	1,0
		10	0,69	4,6	25	5,5	1,0
		20	0,69	5,1	25	6,5	1,0

2-jadval

35 kV li uch fazali ikki chulg'amli transformatorlar

S _{ni} , MVA	Transformator turi	U _n , kV		$\Delta P_{po'l}$, kW	$\Delta Q_{po'l}$, kVAr	R _r , Om	X _r , Om
		YuK	PK				
10	TΔHC-	36,75	6,3;10,5	14,5	80	1,14	18,0
16	100000/35	36,75	6,3;10,5	21,0	120	0,48	6,75
25	TΔH-16000/35	36,75	6,3;10,5	29,0	175	0,31	5,1
32	TPΔH-25000/35	36,75	6,3;10,5	33,0	224	0,23	4,85
40	TPΔH-32000/35	38,5	6,3;10,5	39,0	260	0,15	2,87
40	TΔ-40000/35	36,75	6,3;10,5	30,0	260	0,20	2,90
63	TPΔH-40000/35	36,76	6,3;10,5	55,0	378	0,1	2,50
80	TPΔH-63000/35	38,5	6,3;10,5	65,0	480	0,07	1,53
	TΔC-80000/35						

3-jadval

110 kV li uch fazali ikki chulg'amli transformatorlar

S _{ni} , MVA	Transformator turi	U _n , kV		$\Delta P_{po'l}$, kW	$\Delta Q_{po'l}$, kVAr	R _r , Om	X _r , Om
		YuK	PK				
16	TΔH-16000/110	115	6,6;11	21	135	4,38	86,7
25	TPΔH-25000/110	"-	6,6;11	29	200	2,54	55,9
32	TPΔH-32000/110	"-	6,6;11	35	240	1,87	43,5
40	TPΔH-40000/110	"-	6,6;11	42	280	1,44	34,8
40	TΔ-40000/110	121	6,3;10,5	52	280	1,44	34,8
63	TPΔЦH-	151	6,3;10,5	59	410	0,87	22,0
80	63000/110	"-	6,3;10,5	70	480	0,65	17,3
80	TPΔЦH-	121	6,3;10,5	70	480	0,65	17,3
125	80000/110 TΔ-	"-	10,5	120	678	0,33	11,1
200	80000/110	"-	13,8	170	100	0,23	6,95
250	TΔЦ-125000/110	"-	15,75	200	1250	0,17	5,55
	TΔЦ-200000/110						
	TΔЦ-250000/110						

4-jadval

220 kV li uch fazali ikki chulg'amli transformatorlar

S _{nt} , MVA	Transformator turi	U _n , kV		$\Delta P_{po'l}$, kW	$\Delta Q_{po'l}$, kVAr	R _r , Om	X _r , Om
		Yu K	PK				
32	ТРАДН-32000/220	230	6,6	53	288	8,66	32
63	ТРАЦН-63000/220	230	6,6;11	82	504	4,0	63
80	ТАЦ-80000/220	242	6,3;11	105	480	2,64	80
100	ТРАЦН-100000/220	230	11	115	700	0,90	100
125	ТАЦ-125000/220	242	6,3;11	135	625	1,27	125
160	ТРАЦН-160000/220	230	11	167	960	1,08	160
200	ТРАЦН-200000/220	242	13,8	200	900	0,77	200
250	ТАЦ-250000/220	242	13,8	240	1125	0,55	250

5-jadval

110 kV li uch fazali uch chulg'amli transformatorlar va ularning
passport ma'lumotlari

S _{nt} , MVA	Transformator turi	U _n , kV			$\Delta P_{po'l}$, kW	$\Delta Q_{po'l}$, kVAr
		YuK	UK	PK		
25	ТАДН-25000/110	115	38,5	6,6; 11	36	25
40	ТАДН-40000/110	115	38,5	6,6; 11	50	360
63	ТТДН-63000/110	115	38,5	6,6; 11	70	536
80	ТАЦН-80000/110	115	38,5	6,6; 11	82	640

S _{nt} , MVA	Transformator turi	R _r , Om			X _r , Om		
		YuK	UK	PK	YuK	OK	PK
25	ТАДН-25000/110	1,5	1,5	1,5	54	0	33
40	ТАДН-40000/110	0,95	0,95	0,95	35,4	0	20,6
63	ТТДН-63000/110	0,52	0,52	0,52	22,6	0	13,1
80	ТАЦН-80000/110	0,4	0,4	0,4	17,6	0	10,3

6-jadval

**220 kV li uch fazali uch chulg'amli transformatorlar va
avtotransformatorlar**

S _{nt} , MVA	Transformator turi	U _n , kV			$\Delta P_{po'l}$, kW	$\Delta Q_{po'l}$, kVA _r
		YuK	UK	PK		
25	TΔTH-25000/220	230	38,5	6,6; 11	50	300
32	ATΔTH-32000/220/110	230	121	6,6; 11	32	192
40	TΔTH-40000/220	230	38,5	6,6; 11	66	440
63	TΔЦTH-63000/220	230	38,5	6,6; 11	91	630
80	ATΔTH-63000/220/110	230	121	6,6; 11	45	315
80	ATΔЦTH-80000/220/110	230	121	6,6; 10,5	-	-
100	ATΔЦTH-100000/220/110	230	121	6,6; 11	75	500
125	ATΔЦTH-125000/220/110	230	122	6,6; 11	85	625
160	ATΔЦTH-160000/220/110	230	121	6,6; 11	100	8000
200	ATΔЦTH-200000/220/110	230	121	6,6; 11	125	1000

S _{nt} , MVA	Transformator turi	R _r , Ом			X _r , Ом		
		YuK	UK	PK	YuK	OK	PK
25	TΔTH-25000/220	5,72	5,72	5,72	276	0	148
32	ATΔTH-32000/220/110	3,74	3,74	7,5	198	0	364
40	TΔTH-40000/220	3,97	3,97	3,97	165	0	126
63	TΔЦTH-63000/220	2,13	2,13	2,13	109	0	92,5
80	ATΔTH-63000/220/110	1,43	1,43	2,9	100	0	193
80	ATΔЦTH-80000/220/110	-	-	-	-	-	-
100	ATΔЦTH-100000/220/110	0,69	0,69	0,69	60,8	0	103
125	ATΔЦTH-125000/220/110	0,5	0,5	1,0	48,6	0	82,5
160	ATΔЦTH-160000/220/110	39	0,78	-	38,0	0	68
200	ATΔЦTH-200000/220/110	0,39	0,2	1,5	30,4	0	54

7-jadval

**Yuklama ostida rostdlash qurilmali 35-220 kV kuchlanishli pasaytiruvchi
va avtotransformatorlar rostlovchi shoxobchalarining nominal
kuchlanishi**

35 kV		110 kV		220 kV		Avtotransfarmato r O'K tomonida	
Pog'ona %	Kuch-sh, kV	Pog'on a %	Kuch-sh, kV	Pog'on a %	Kuch-sh, kV	Pog'ona %	Kuch- sh, kV
-	-	+16,02	133,45	-	-	-	-
+12	41,15	+14,24	131,4	+12	257,6	-	-
+10,5	40,6	+12,46	129,35	+10,5	254,15	-	-
+9	40,05	+10,68	127,3	+9	250,7	+12	145,45
+7,5	39,5	+8,9	125,25	+7,5	247,25	+10	130,05
+6	38,95	+7,12	123,2	+6	243,8	+8	130,64
+4,5	38,4	+5,34	121,15	+4,5	240,35	+6	128,23
+3	37,85	+3,56	119,1	+3,6,9	236,9	+4	125,82
+1,5	37,3	+1,78	117,05	+1,5	233,45	+2	123,41
0	36,75	0	115	0	230	0	121
-1,5	36,2	-1,78	112,95	-1,5	226,55	-2,0	118,59
-3	35,65	-3,56	110,9	-33	223,1	-4	116,18
-4,5	35,10	-5,34	108,85	-4,5	219,65	-6	113,77
-6	34,55	-7,12	106,8	-6	216,2	-8	111,95
-9,0	33,45	-10,68	102,7	-9,0	209,3	-12	106,5
-7,5	34,0	-8,9	104,75	-7,5	212,75	-10	108,95
-10,5	32,90	-12,46	100,65	-10,5	205,85	-12	-
-12	32,35	-14,20	98,60	212	202,4	-	-
		-16,02	96,55	-	-	-	-

Tokning iqtisodiy zichligi qiymatlari

Simlarning turlari	Tokning iqtisodiy zichligi j , A/mm ² T_{max} qiymatlarida		
	1000-3000	3001-5000	5001-8760
Ochiq simlar va shinalar: Mis va alumin	2,5	2,1	1,8
Rossiya, Kavkaz orti, Uzoq Sharq	1,3	1,1	1,0
Markaziy Sibir, Qozog'iston, O'rta Osiyo	1,5	1,4	1,3
Mis va aluminiy tomirli rezinali va polixlorvinil va izolatsiyali simlar va qog'oz izolatsiyali kabellar	3,0	2,5	2,0
Rossiya, Kavkaz orti, Uzoq Sharq	1,6	1,4	1,2
Markaziy Sibir, Qozog'iston, O'rta Osiyo	1,8	1,6	1,5
Mis va aluminiy tomirli rezinali va plastmassali izolatsiyali kabellar	3,5	3,1	2,7
Rossiya, Kavkaz orti, Uzoq Sharq	1,9	1,7	1,6
Markaziy Sibir, Qozog'iston, O'rta Osiyo	2,2	2,0	1,9

Eruvchan saqlagichlarning nominal toklari

Eruvchan saqlagichning nominal toki, A	Erish elementining nominal toki, A
15	6, 10, 15
60	15, 20, 25, 35, 45, 60
100	60, 80, 100
200	100, 125, 160, 200
350	200, 225, 260, 300, 350
600	350, 430, 500, 600
1000	600, 700, 850, 1000

GLOSSARIY

Chastotaning tebranishi – bu chastotaning o'zgarish tezligi sekunddagi 0,2 Hz dan kichik bo'lmaganda, tartib parametrlarini tez o'zgarishda asosiy chastotaning eng yuqori va eng kichik qiymatlari orasidagi farq hisoblanadi.

Kuchlanishning og'ishi – bu ish rejimining o'zgartirishida kuchlanishning haqiqiy qiymatini uning nominal qiymatidan farqiga aytiladi.

Kuchlanishning tebranishi – bu ish rejimi yetarlicha tez o'zgarganda, ya'ni kuchlanish o'zgarish tezligi sekundiga 1% dan kam bo'lmaganda, kuchlanishning ta'sir etuvchi eng katta va eng kichik qiymatlari o'rtasidagi farqga aylanadi.

Tashkiliy isroflar – xizmat ko'rsatishni yaxshilash tarmoq sxemalarini va ish rejimlarini me'yoriylash tadbirlarini ko'zda tutadi.

Texnikaviy isroflar – tarmoqni qayta qurish, uskunalarini almashtirish yoki qo'shimcha uskunalar o'rnatish tadbirlarini ko'zda tutadi.

Iqtisodiy isroflar – xizmat ko'rsatish sifatini yaxshilashni ko'zda tutadigan va iste'molchilar bilan hisob-kitob vaqtida energonazorat tomonidan hisobga olinadigan isroflar.

Liniyaning zaryad toki - liniyaga ulangan o'zgaruvchan kuchlanish ostida liniyaning sig'implarida o'zgaruvchan elektr maydoni paydo bo'lib elektr zaryadlarini harakati yuzaga keladi, ya'ni reaktiv o'zgaruvchan tok hosil bo'ladi.

Kabel - germetik qobiqda joylashgan, ustiga, kerak bo'lganida, himoya qoplamasi qo'yilgan bir yoki bir necha izolyatsiya qilingan tok o'tkazuvchi sim tomirlarining yig'indisiga aytiladi.

Aktiv qarshilik - simdan oqayotgan o'zgaruvchan tokka nisbatan bo'lgan qarshilikni ko'rsatadi.

Izolyatorlar simlarni tayanchlarga mahkamlash uchun va kuchlanish ostidagi simlar bilan tayanchlar orasida kerakli izolyatsiya oralig'i hosil qilish uchun ishlatiladi.

Induktiv qarshilik - o'zgaruvchan tok liniyadan oqayotganida simlar atrofida hosil bo'lgan magnit maydoni simda teskari yo'nalgan o'zinduksiya EYuK, ni hosil qiladi.

Havo elektr uzatuv liniyasi (EUL) - deb ochiq havoda joylashgan izolyatorlar va armaturalar yordamida tayanchlarga yoki muhandislik inshootlari kronshteynlariga mahkamlangan simlar orqali elektr energiyani uzatish qurilmalari aytiladi.

O'tish oralig'i - shunday oraliqqa aytiladiki, uni bo'yicha HLsi muhandislik inshootlari (yo'llar, kanallar, liniyalar) bilan kesishgan bo'ladi.

Shamol oralig'i - tayanchlar shamol ta'sirini o'ziga qabul qiladigan oraliqqa aytiladi.

Og'irlik oralig'i - simlar va trosalar massasini tayanch o'z ustiga oladigan uchastka uzunligiga aytiladi.

Ishdagi ishonchlilik - elektr tarmoqlarining ishonchliligi deganida biz iste'molchilarni kerakli vaqt bo'yicha to'xtamasdan sifatli energiya bilan ta'minlanishini tushunamiz.

Elektr ta'minoti ishonchliligi bo'yicha birinchi toifali iste'molchi - shunday elektr iste'molchilar kiradiki, agarda ularning elektr ta'minoti uzilib qolsa, insonlar hayotiga xavf tug'ilishi, xalq xo'jaligiga katta zarar yetkazilishi, texnika uskunalarini shikastlanishi, ommaviy ravishda yaroqsiz mahsulot ishlab chiqarilishi, murakkab texnologiya jarayonlari ishdan chiqishi va shahar xo'jaligining muhim elementlari buzilishi mumkin.

Elektr ta'minoti ishonchliligi bo'yicha ikkinchi toifali iste'molchi - shunday iste'molchilar kiradiki ularning elektr ta'minoti uzilishi korxonalarining mahsulotini kamayib ketishi bilan, ishlab chiqarish mexanizmlari va sanoat transporti turib qolishi bilan va shahar aholisining katta qismini normal turmush sharoitlari buzilishi bilan bog'langan.

Elektr ta'minoti ishonchliligi bo'yicha uchinchi toifali iste'molchi - uncha mas'uliyatli bo'lmagan iste'molchilar kiradi: masalan, mahsuloti seriyali bo'lmagan kichik sexlar, kichik qishloqlar, kichik korxonalar va hokazo.

Energiyaning sifati - har bir iste'molchi sifatli energiya bilan ta'minlanishi zarur. Bu sifat kuchlanish va chastotani qiymati, uch fazali kuchlanishni simmetriyasi va kuchlanish egri chizig'ini shakli bilan belgilanadi.

Elektr qurilmalari - elektr energiyani ishlab chiqarish, o'zgartirish, transformatsiyalash, uzatish, taqsimlash va boshqa turdagi energiyaga o'zgartiruvchi mashinalar, apparatlar, liniyalar va yordamchi uskunalar (ular o'rnatilgan inshoot va xonalar bilan birga) majmuiga aytiladi.

Energetik sistema - bir-biri bilan o'zaro bog'langan elektr stantsiyalar, elektr va issiqlik tarmoqlari majmuining elektr energiyasini uzluksiz ishlab chiqarish, o'zgartirish va taqsimlash jarayonlarini umumiy rejimda birlashganligi va shu rejimning umumiy holda boshqarilishiga aytiladi.

Elektr energetik sistema - energetik sistemaning elektr qismiga va undan ta'minlanuvchi, elektroenergiyani ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va iste'mol qilish umumiy jarayonlari bilan bog'langan elektroenergiya qabul qiluvchilarga aytiladi.

Elektr ta'minoti sistemasi - iste'molchilarni elektroenergiya bilan ta'minlab berish uchun mo'ljallangan elektr qurilmalar majmuiga aytiladi.

Elektr tarmog'i - ma'lum bir hududda ishlovchi podstantsiyalar, taksimlovchi qurilmalar, havo va kabel elektr uzatuv liniyalaridan tashkil topgan, elektroenergiyani uzatish va taqsimlash uchun mo'ljallangan elektr qurilmalar majmuiga aytiladi.

Elektr energiya qabul qiluvchisi deb elektr energiyasini boshqa turdagi energiyaga aylantiruvchi apparat, agregat, mexanizmga aytiladi.

Elektr energiya iste'molchisi - texnologik jarayon bilan birlashgan va ma'lum bir hududda joylashgan elektr qabul qiluvchiga yoki bir guruh elektr qabul qiluvchilarga aytiladi.

Mustaqil energiya manbai - kuchlanish boshqa energiya manbalarida yuqolganida, ushbu qoidalarda avariya dan keyingi rejim uchun belgilangan oraliqda, kuchlanish saqlanib qoluvchi energiya manbaiga aytiladi.

Zaminlash - elektr qurilmasining qandaydir qismini zaminlovchi qurilmaga elektr ulanishga aytiladi.

Apparatlar - barcha turdagi kuchlanish o'chirgichlari, bo'lgichlar, ajratkichlar, uzgichlar, qisqa tutashtirgichlar, saqlagichlar, razryadniklar, tokni chegaralovchi reaktorlar, kondensatorlar.

Havo elektr uzatuv liniyasi - elektr energiyasini simlar orqali uzatish uchun mo'ljallangan, ochik havoda joylashgan va izolyatorlar va armaturalar bilan tayanchlarga yoki kronshteynlarga va muhandislik inshootlaridan stoykalarga qotirilgan moslamaga aytiladi.

Taqsimlovchi qurilma - elektr energiyani qabul qilib, uni taqsimlash uchun xizmat qiladigan va kommutatsion apparatlardan, yig'ma va ulanma shinalardan, yordamchi qurilmalardan, shuningdek, himoya va

avtomatika qurilmalari va o'lchov moslamalaridan tashkil topgan elektr qurilmaga aytiladi. Komplektli taqsimlovchi qurilma - to'liq yoki

qisman yopiq shkalardan yoki apparatlar o'rnatilgan bloklardan, himoya va avtomatika qurilmalaridan tashkil topgan taqsimlovchi qurilmaga aytiladi.

Podstantsiya - elektr energiyani o'zgartirish va taqsimlash uchun xizmat qiladigan elektr qurilmaga aytiladi va u transformatorlar va boshqa energiya uzgartirgichlardan, taqsimlovchi qurilmalardan, boshqarish qurilmalari va yordamchi moslamalardan iborat bo'ladi.

SI sistemasida kattaliklarning birliklari

Kattalikning nomlanishi	Birliklarning nomlanishi	SI birligida yozilishi	Birliklarning belgilanishi	
			rus	xalqaro
Uzunlik	metr	m	м	m
Massa	kilogram	kg	кг	kg
Vaqt	sekund	s	с	s
Yuza	kv.metr	m ²	м ²	m ²
Hajm	kub metr	m ³	м ³	m ³
Kuch, og'irlik	Nyuton	kg*m/s ²	H	N
Zichlik	kilogramning metr kubga nisbati	kg/m ³	кг/м ³	kg/m ³
Kuch momenti	Nyuton-metr	kg*m ² /s ²	Hм	Nm
Ish, energiya	Joul	kg*m ² /s ²	Дж	J
Quvvat	Vatt	kg*m ² /s ² -J/s	Вт	W
Burchak tezligi	radianning sekundga nisbati	s ⁻¹	рад/с	rad/s
Burchak tezlanishi	radianning sekund kvadratiga nisbati	s ⁻²	рад/с ²	rad/s ²
Davr	sekund	s	с	s
Davriy jarayon chastotasi	Gers	s ⁻¹	Гц	Hz

SI sistemasida elektromagnit kattalilarning birliklari

Kattalikning nomlanishi	Birliklarning nomlanishi	SI birligida yozilishi	Birliklarning belgilanishi	
			rus	xalqaro
Elektr kattaliklar				
Elektr tok kuchi	Amper	A	A	A
Elektr miqdori, zaryad	Kulon	$A \cdot c = K_I$	K_I	C
Elektr potensial, kuchlanish EYuK	Volt	$Kg \cdot m^2 / (A \cdot c^3) = B$	B	B
Elektr maydon kuchlanganliki	Voltning metrga nisbati	$Kg \cdot m / (A \cdot c^3) = B/m$	B/m	V/m
Absolut dielektrik singdiruvchanlik	Faradning metrga nisbati	$A^2 \cdot c^4 / (kg \cdot m^3)$	Φ/m	F/m
Dipolning elektr momenti	Kulon-metr	$A \cdot c \cdot m = K_I \cdot m$	$K_I \cdot m$	C·m
Elektr siljish	Kulonning metr kvadratga nisbati	$A \cdot c / m^2 = K_I / m^2$	K_I / m^2	C/m ²
Qutblanish	Kulonning metr kvadratga nisbati	$A \cdot c / m^2 = K_I / m^2$	K_I / m^2	C/m ²
Elektr sig'im	Farada	$A^2 \cdot c^4 / (kg \cdot m^2) = c / Om$	Φ	F
To'k zichligi	Amperning metr kvadratga nisbati	A / m^2	A / m^2	A/m ²
Elektr qarshilik	Om	$kg \cdot m^2 / (A^2 \cdot c^3) = B/A$	Om	Ω
Elektr o'tkazuvchanlik	Simens	$A^2 \cdot c^3 / (kg \cdot m^2) = 1 / Om$	Cm	S
Solishtirma elektr qarshilik	Om/metr	$kg \cdot m^3 / (A^2 \cdot c^3) = Om/m$	Om/m	Ω/m
Solishtirma elektr o'tkazuvchanlik	Simensning metrga nisbati	$A^2 \cdot c^3 / (kg \cdot m^3) = 1 / Om \cdot m$	Cm/m	S/m
To'la quvvat	Volt-amper	$kg \cdot m^2 / c^3$	BA	VA
Aktiv quvvat	Vatt	$kg \cdot m^2 / c^3$	Bt	Wt
Reaktiv quvvat	Var	$kg \cdot m^2 / c^3$	Bap	VAR
Magnit kattaliklar				
Magnit oqim	Veber	$kg \cdot m^2 / (A \cdot c^2) = Bc$	Bb	

Magnit induksiyasi	Tesla	$\text{kg}/(\text{Ac}^2)=\text{Bc}/\text{m}^2$	Tl	
Absolyut magnit o'tkazuvchanlik	Genrining metr ga nisbati	$\text{kg}^*\text{m}/(\text{A}^2\text{c}^2)$	$\Gamma\text{H}/\text{M}$	
Elektr tokning magnit momenti, dipolning magnit momenti	Amperning metr kvadratga ko'paytmasi	A^*m^2	A^*M^2	
Magnitlanish	Amperning metr ga nisbati	A/m	A/M	
Magnit maydon kuchlanganligi	Amperning metr ga nisbati	A/m	A/M	A
Induktivlik, o'zaro induktivlik	Genri	$\text{kg}^*\text{m}^2/(\text{A}^2\text{c}^2)=\text{Bc}/\text{A}=\text{Vb}/\text{A}-\text{OM}^*\text{c}$	ΓH	
Magnit yurutuvchi kuch, skalyar magnit potentsiallar farqi	Amper	A	A	A
Magnit qarshilik	Amperning veberga nisbati	$\text{c}^2\text{A}^2/(\text{kg}^*\text{m}^2)=\text{A}/\text{Vb}=1/\text{Gn}$	$\text{A}/\text{B}\delta$	A/Wb
Magnit o'tkazuvchanlik	Veberning amperga nisbati	$\text{kg}^*\text{m}^2/(\text{c}^2\text{A}^2)=\text{Gn}$	$\text{B}\delta/\text{A}$	Wb/A
Vektor magnit potentsial	Veberning metr ga nisbati	$\text{kg}^*\text{m}/(\text{Ac}^2)=\text{Bc}/\text{m}$	$\text{B}\delta/\text{m}$	Wb/m

Fizik kattaliklarning birliklari

Energiya birliklari

	J	kVt	kgk m	Kkal
1 J	1	$2,78*10^{-7}$	0,102	$2,39*10^{-4}$
1 kVt*s	$3,60*10^6$	1	$3,67*10^5$	$860,0*10^{-4}$
1 kgk*m	9,81	$2,72*10^6$	1	$2,34*10^{-4}$
1 kkal	$4,19*10^3$	$1,16*10^{-3}$	427	1

Quvvat birliklari

	Vt	kVt	kgs m/s	o.k.	kk/s
1 Vt	1	10^{-3}	0,102	$1,36*10^{-3}$	$2,39*10^{-4}$
1 kgs m/s	9,81	$9,81*10^{-3}$	1	$1,33*10^{-3}$	$2,34*10^{-3}$
1 l.s.	736	0,736	75	1	0,176
1 kkl/s	$4,39*10^3$	4,19	427	5,69	1

Amaliyotda foydalinaladigan fizik kattaliklar birliklari

Uzunlikning boshqa birliklardagi o'lchov birliklari

1 mk (micron-esk.)=1 mikrometr(mkm)= 10^{-6} m= 10^{-4} sm

1 nm (millimikron-esk.)=1 nanometr= 10^{-9} m= 10^{-6} mm

1 A(angstrom-01.01.1980 yilgacha)= 10^{-10} m= 10^{-8} sm

1 d. milya(dengiz milyasi)=1852 m

Ish va energiya o'lchov bitliklari

1 kal (xalqaro)=4,1866 J

1 ot kuch kuchi(o.k.c)= $2,648 \cdot 10^3$

1 tert=29,3kvt.s= $105,5 \cdot 10^6$ J

Quvvat o'lchov birliklari

1 kilokalloriya soat=1,163 Vt

1 ot kuchi (o.k.)=75 kgk m/s= $735,499$ Vt

Kuch o'lchov birliklari

1 din(dina)= 10^{-5} N

1 gk (gramm-kuch)= $9,80665 \cdot 10^{-3}$ N

1 kgk (kilogramm-kuch)=9,80665 N

1 tk (tonna-kuch)=9806,65 N

Bosim o'lchov birliklari

1 kgk/sm²=98066,5 Pa

1 ta(texnik atmosfera)= 1 kgk/sm²=98066,5 Pa

1 atm(fizik atmosfera)= $10,1325 \cdot 10^4$ Pa

1 bar=1,02 ta= 10^5 Pa

1 mm s. ust.(millimeter simob ustuni)= $13,595$ kgk/m²=133,322 Pa

1 mm suv ust.=1 kgk/m²=9,80665 Pa

Tezlik o'lchov birliklari

1 km/soat=0,278 m/sek

1 uz.(uzel)=1 dengiz milyasi soatda=1,852 km/soat=0,514 m/s

Elektr kattaliklarning o'lchov birliklari

10 m mm²/m= 10^{-6} Om m

1 Mks(Maksvell)= 10^{-8} Vb

1 Gs(Gauss)= 10^{-4} Tl

1 Gb(Gilbert)=($10/4\pi$)A

1 E(ersted)=($10/4\pi$)A/m

1 erg(erg)= $1 \cdot 10^{-7}$ J

Elektrotexnikada foydalaniladigan fizik konstantalar

Elementar zaryad (electron zaryadi):

$$e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$$

Elektr doimiysi:

$$\epsilon_0 = 1/\mu_0 C_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} = 1/4\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \text{ F/m},$$

bu yerda: $C_0 = 2997920458 \text{ m/s}$ – nurning vakuumdagi tezligi

Magnit doimiysi:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn/m} = 4\pi \cdot 10^{-9} \text{ Gn/sm}$$

Elektr magnit kattaliklarini belgilash uchun qabul qilingan lotin va yunon alfaviti harflari

A- chiziqli tok zichligi, magnit potentsiali vektori

B- magnit induksiya

B, b- reaktiv o'tkazuvchanlik

C- sig'im

c- elektromagnit to'lqin tarqalish tezligi (co- vakuumda)

D- elektr siljish

E- elektr maydon kuchlanganligi

E, e- elektr yurutuvchi kuch (EYuK)

F – magnit yurutuvchi kuch.

f – tebranish chastotasi (f_0 – rezonans chastotali).

G, g – aktiv o'tkazuvchanlik.

H – magnit maydon kuchlanganligi.

I, i- tok.

J – tok zichligi; inersiya momenti.

k – aloqa koeffitsiyenti

L – xususiy induktivlik.

M – o'zaro induktivlik; magnitlanish; motorning aylanish momenti.

m – magnit moment.

N – chulg'amlar soni; magnitsizlantirish koeffitsiyenti.

n – transformatsiya koeffitsiyenti; chulg'amlar soni nisbati

P – quvvat, aktiv quvvat; qutblanish

P – elektr moment; solishtirma quvvat; qutb juftliklarining soni

Q – reaktiv quvvat; isqilik miqdori.

Q, q – zaryad

R, r – elektr qarshilik; aktiv qarshilik
 S – to'la quvvat; o'tkazgich kesimi
 T – tebranish davri
 U – kuchlanishning effektiv qiymati
 W – elektromagnit energiya
 w – chulg'amlar soni; solishtirma elektromagnit energiya
 X, x – reaktiv qarshilik
 Y, y – to'la o'tkazuvchanlik
 Z, z – to'la qarshilik

Yunon alfaviti xarflari

A – so'nish doimiysi
 α – so'nish koeffitsienti
 B – fazalar doimiysi
 β – faza koeffitsienti
 G – uzatish doimiysi
 γ – tarqalish koeffitsienti; solishtirma elektr o'tkazuvchanlik
 δ – nobudgarchilik koeffitsienti
 ϵ – dielektrik singdiruvchanlik (ϵ_0 – elektr doimiysi)
 θ – tebranishning logarifmik dekrementi.
 x – magnit ta'sirchanlik
 λ – elektromagnit to'lqin uzunligi; quvvat koeffitsienti.
 μ – magnit singdiruvchanlik (μ_0 – magnit doimiysi)
 P – Poynting vektori.
 Q – qaytarish koeffitsienti; elektr zaryadning xajmiy zichligi; solishtirma elektr qarshilik
 σ – elektr zaryadning tashqi zichligi; solishtirma elektr o'tkazuvchanlik
 τ – elektr zaryadning tashqi zichligi; vaqt doimiysi.
 F – magnit oqimi
 ϕ – elektr potensial; tok va kuchlanish orasidagi burchak
 χ – dielektrik ta'sirchanlik
 ψ – oqim ilakishi
 Ω, ω – tebranishning burchak chastotasi; aylanish burchak chastotasi

Indekslarni qo'llashda misollar

ϵ_a – absolut dielektrik singdiruvchanlik.

Z_{TK} – to'liq qarshiligi.
 r_{iq} – ichki qarshilik
 Z_{xq} – harakteristik qarshilik
 L_{dl} – differensial induktivlik
 r_n – qisqa tutashuv qarshiligi
 W_m – magnit energiyasi.
 I_m – tok amplitudasi.
 I_{ma1} – toknin maksimal qiymati.
 I_{min} – tokning minimal qiymati.
 μ_s – nisbatli magnit singdiruvchanlik.
 I_r – toklarning yig'indisi.
 U_i – faza kuchlanishi.
 r_s – salt ishlash qarshiligi.
 $a=a/a_0$ – bazis qiymatga keltirilgan kattalik(a_0).

Adabiyotlar ro'yhati

Steven W.Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007, 260 p.

Лыпкин А.В. Электрические системы и сети (Электронный ресурс): (учеб. пособ.)– Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002.-248 с.

Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях (Электронный ресурс): учеб. пособ. для вузов по направл. «Электроэнергетика» и спец. «Электроэнергетические системы и сети» / В.В. Ежков, Г.К. Зарудский, Э.Н. Зуев; ред. В.А. Строев.- (1файл: 11 МБ). – Москва: Высшая школа, 1999.- 352 с.

Elektr tarmoqlari va sistemalari: uslubiy qo'llanma/ O'zR OO'MTV; Rasulov A.N., Taslimov A.D., Mamarasulova F.S., Raxmonov I.U.– Toshkent: TDTU, 2014.- 90 b.

Электрические системы и сети. Буслова Н.В., Винославский В.Н., Данисенко Т.И., Перхач В.С. Под ред. Данисенко Г. – Киев: Высшая школа, 2006.

Блок В.М. Электрические сети и системы. Высшая школа, 2006.

Иделчик В.И. Электрические сети и системы. М.: Атомиздат, 2003.



ISBN 978-9943-6894-5-9



9 789943 689459