

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

**Nematov L.A., Raxmonov I.U.**

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

*Oliy ta‘lim muassasalari 5312100 – «Energoaudit va sanoat  
korxonalarining energetik tekshiruvi» ta‘lim yo‘nalishi talabalari uchun  
o‘quv qo‘llanma*

**Buxoro-2020**

Elektr energiya ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash. O'quv qo'llanma.  
L.A.Nematov, I.U.Raxmonov – Buxoro: 2020. – 346 b.

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

**SH.V. QURBONOV** – *«Buxoro hududiy elektr tarmoqlari korxonasi» AJ «Tezkor dispatcherlik xizmati» boshlig'i*

**M.I. MAXMUDOV** – *Buxoro muhandislik – texnologiya instituti «Energoaudit» kafedrasini mudiri, t.f.d.*

Mazkur darslikda elektr tarmoqlarining asosiy elementlari va transformatorlar, liniyalar parametrlarini hisoblash, ularda bo'ladigan quvvat va energiya isroflari, tarmoqlardagi quvvat taqsimlanishi, sistemani boshqarish strukturasi, texnik-iqtisodiy hisoblar, liniya va transformatorlar to'g'risida ma'lumotlar keltirilgan.

O'quv qo'llanma 5312100 – «Energoaudit va sanoat korxonalarining energetik tekshiruvi» yo'nalishi bakalavrlari uchun mo'ljallangan.

В данном учебнике рассматриваются основные элементы электрических сетей, расчет параметров линии и трансформаторов, потери мощности и энергии, распределение мощностей в линиях, анализ режимов работы сетей и управление режимами, технико-экономические расчеты, а также приведены справочные материалы.

Учебник предназначен для студентов направления 5312100 - «Энергоаудит и энергетические обследования промышленных предприятий».

In this tutorial shows elements of electric networks, calculation of parameters of the line and transformers, power and energy losses, distribution of capacities in lines, the analysis of operating modes of networks and management of modes are considered, technical and economic calculation and reference materials are given.

The textbook is intended for students of a bachelor degree in 5312100 – «Energy audit and energy survey of industrial enterprises».

## MUNDARIJA

<b>Kirish.</b>	12
<b>1. Elektr tarmoqlari to'g'risida umumiy ma'lumotlar</b>	16
1.1. Aktiv quvvat manbalari	16
1.2. Reaktiv quvvat manbalari	19
1.3. Elektr tarmoqlari hamda sistemalarining tuzilishi va sxemasi.	23
1.4. Elektr tarmoqlariga qo'yiladigan asosiy talablar.	29
1.5. Elektr sistema va tarmoqlarni nominal kuchlanishi. Rostlash tushunchasi.	34
1.6. Har xil kuchlanishli elektr tarmoqlarining neytralini ish holati.	40
<b>2. Elektr tarmoqlari liniyalarining tuzilishi.</b>	46
2.1. Havo liniyalari to'g'risida umumiy ma'lumotlar.	46
2.2. Havo liniyalarining simlari va trosalar.	49
2.3. Havo liniyalarining tayanchlari.	53
2.4. Izolyatorlar va liniyali armaturalar	57
2.5. Kabellarni tuzilishi va kabel liniyalari.	60
<b>3. Elektr sistemasi xarakteristikasi va elementlari</b>	63
3.1. Iste'molchilar yuklamasi, yuklamalar grafigi	63
3.2. Elektr tarmoqlari hisoblarining asosiy turlari.	66
3.3. Elektr uzatuv liniyalari qarshiliklari va o'tkazuvchanliklari almashtiruv sxemasi.	68
3.3.1. Mavzuga doir misollar	81
3.3.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar	86
3.4. Ikki va uch chulg'amli transformatorlarning parametrlari va almashtiruv sxemasi	87
3.5. CHulg'amli bo'lingan transformatorlar	95
3.6. Avtotransformatorlarning parametrlari	97
3.6.1. Mavzuga doir misollar	101
3.6.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar	107
<b>4. Elektr tarmoqlari ish tartibini tahlili</b>	108
4.1. Liniya va transformatorlarda quvvat isrofi	109
4.1.1. Mavzuga doir misollar	115
4.2. Liniya va transformatorlarda energiya isrofi	118
4.2.1. Mavzuga doir misollar	125
4.2.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar	127
4.3. Kuchlanishni pasayishi va yo'qotilishi. Liniyani oxirida (boshida) berilgan ma'lumotlarga asosan sharti hisoblari	128
4.3.1. Mavzuga doir misollar	136
4.3.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar	140
<b>5. Taqsimlovchi shu'lasimon elektr tarmoqlari.</b>	142
5.1. Taqsimlovchi ochiq elektr tarmoqlarini hisoblash	142
5.2. Berk zanjirli taqsimlovchi elektr tarmoqlari. Ikki tarafdan ta'minlanadigan liniyalar.	145
5.3. Ikki tarafdan ta'minlangan liniyalarni hisoblashning ayrim xollari	152
5.4. Oddiy berk zanjirli tarmoqlar hisobi	154
5.4.1. Mavzuga doir misollar	157
<b>6. Ta'minlovchi elektr tarmoqlarni hisoblash hususiyatlari.</b>	162

6.1.	Liniyaning zaryad toki va zaryad quvvati	162
6.1.1.	Mavzuga doir misollar	167
6.2.	Elektr uzatuv liniyasining vektor diagrammasi	168
6.3.	Katta uzunlikka ega bo'lgan liniyalarning hisobi	174
6.4.	Elektr uzatuv liniyasining o'tkazuvchanlik qobiliyati to'g'risida tushuncha	177
<b>7.</b>	<b>Energetika sistemasini berk tarmoqlarida quvvat taqsimlanishini xisoblash.</b>	180
7.1.	Dastlabki ma'lumotlar.	182
7.2.	Tugun kuchlanishlari tenglamalari	186
7.3.	Tugun kuchlanishlari tenglamasini foydalaniladigan ko'rinishi.	189
7.4.	Tugun kuchlanishlari tenglamasi koeffitsientlarini aniqlash.	
7.5.	Tugun kuchlanishlari tenglamalarini iteratsiya (ketma-ketlik) usulida echish.	192
	Quvvat oqimi taqsimlanishini aniqlash.	196
7.6.	Murakkab berk zanjirli elektr tarmoqlarni kontur toklari usulida hisoblash	199
7.7.	Murakkab berk tarmoqlarni o'zgartirish.	
7.8.	Bir necha ta'minlash punktlariga ega bo'lgan murakkab berk zanjirli tarmoqlarni hisoblash xususiyatlari	205
7.8.1.	Mavzuga doir misollar	208
<b>8.</b>	<b>Elektr tarmog'ining ish tartiblari va ularni boshqarish</b>	211
8.1.	Quvvat isrofi turlari	214
8.2.	Reaktiv quvvat manbalari va uning hususiyatlari.	218
8.3.	Reaktiv quvvat balansi va uning buzilishi oqibatlari	220
8.4.	Sistemada aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishini me'yoriylash	222
8.5.	Tartibni boshkaruv sistemasining tarkibi.	224
8.6.	CHastota va aktiv quvvatni boshqarish	228
8.7.	Kuchlanish va reaktiv quvvatni boshqarish.	232
8.8.	Reaktiv quvvat kompensatsiyasi	235
<b>9.</b>	<b>Elektr energiya sifati va uni ta'minlash</b>	236
9.1.	Elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlari	
9.2.	Aktiv va reaktiv quvvat muvozanati va elektr sistemalarda kuchlanishni rostlash xolati. Kuchlanishni rostlash usullari	239
9.3.	Iste'molchilardagi kuchlanishning og'ishiga bog'liq bo'lgan asosiy omillar, kuchlanishni qarama qarshi rostlash	244
9.4.	Elektr stansiyalar va pasaytiruvchi podstansiyalarda kuchlanishni rostlash	248
9.5.	Tarmoq qarshiliklarini o'zgartirib, kuchlanishni rostlash	253
9.6.	Elektr tarmoqlarida nosimmetriya va uni kamaytirish tadbirlari	256
9.7.	Elektr energetika sistemasida nosinusoidallik va uni kamaytirish tadbirlari.	260
<b>10.</b>	<b>Elektr tarmoklarini loyixalash elementlari</b>	264
10.1.	Texnika-iqtisodiy hisoblar, simlar va kabellarning kesim yuzasini tanlash.	266
	Kumulyativ xarajatlar	273
10.2.	Tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha simlarning kesim yuzasini tanlash	280
10.2.1.	Mavzuga doir misollar	283
10.3.	Nominal kuchlanishni tanlash	
10.4.	Havo liniyalar simlari kesim yuzasini va kabellarni iqtisodiy intervallar usuli bilan tanlash	286
10.5.	Liniya simi va kabellarining kesim yuzasini kuchlanish qiymatini ruxsat	293

etilgan yo‘qotilishi bo‘yicha aniqlash	297
10.5.1. Mavzuga doir misollar	301
10.6. Liniya simlari kabellarning kesim yuzasini qizish darajasi bo‘yicha tekshirish	305
10.6.1. Mavzuga doir misollar	
10.7. Liniya kesim yuzasini tojlanish sharoiti va qisqa tutashuv toklarini qizdirishi bo‘yicha tekshirish	307
10.8. Po‘lat simlardan tayyorlangan liniyalarni hisoblash	310
10.8.1. Mavzuga doir misollar	312
10.8.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar	323
Ilovalar	326
Glossariy	336
Adabiyotlar	347

# О Г Л А В Л Е Н И Е

<b>Введение.</b>	12
<b>1. Общие сведения об электрических сетях</b>	16
1.1. Источники активной мощности	16
1.2. Источники реактивной мощности	19
1.3. Структура и схемы электрических сетей и систем	23
1.4. Требования, предъявляемые к электрическим сетям	29
1.5. Номинальные напряжения электрических сетей и систем. Понятие о регулировании	34
1.6. Режимы нетралей электрических сетей различных напряжений	40
<b>2. Конструкции электрических сетей</b>	46
2.1. Общие сведения конструкции воздушных линий	46
2.2. Провода воздушных линий и тросы	49
2.3. Опоры воздушных линий	53
2.4. Изоляторы и линейная арматура	57
2.5. Конструкция кабелей и кабельные линии	60
<b>3. Характеристика и параметры элементов электрических сетей</b>	63
3.1. Нагрузок потребителей и графики электрических нагрузок	63
3.2. Основные виды расчетов электрических сетей	66
3.3. Сопротивления и проводимости электрических сетей. Схемы замещения	68
3.3.1. Задачи по теме	68
3.3.2. Примеры по теме для самостоятельного решения	81
3.4. Параметры двух и трех обмоточных трансформаторов.	86
3.5. Трансформаторы с расщипленной обмоткой	87
3.6. Параметры автотрансформаторов	95
3.6.1. Задачи по теме	97
3.6.2. Примеры по теме для самостоятельного решения	101
<b>4. Анализ режимов работы электрических сетей</b>	107
4.1. Потери мощности в линиях и трансформаторах	108
4.1.1. Задачи по теме	109
4.2. Потери энергии в линиях и трансформаторах	115
4.2.1. Задачи по теме	118
4.2.2. Примеры по теме для самостоятельного решения	125
4.3. Потери и подения напряжения. Расчеты режимов по данным конца (начала) передачи	127
4.3.1. Задачи по теме	128
4.3.2. Примеры по теме для самостоятельного решения	136
<b>5. Разамкнуты распределительные сети</b>	142
5.1. Расчеты разамкнутых электрических сетей	142
5.2. Замкнутые распределительные сети. Линии двухсторонним питанием	145
5.3. Особенности расчета линии двухсторонним питанием	152
5.4. Расчеты простых замкнутых сетей	154
5.4.1. Задачи по теме	157
<b>6. Особенности расчета питающих электрических сетей</b>	162
6.1. Зарядный ток и зарядная мощность линии	162

6.1.1. Задачи по теме	167
6.2. Векторная диаграмма линии электропередачи	168
6.3. Расчёты длинных линий электропередачи	174
6.4. Понятие повышение пропускной способности линии	177
<b>7. Расчёт потокораспределения в замкнутых электрических</b>	<b>180</b>
7.1. Предварительные сведения	180
7.2. Уравнения узловых напряжений	182
7.3. Обращенная форма уравнений узловых напряжений	186
7.4. Определение коэффициентов уравнений узловых напряжений	189
7.5. Решение уравнений узловых напряжений методом итерации.	
Определение распределения потоков мощности	192
7.6. Определение распределения потоков мощности методом контурных токов	196
7.7. Метод преобразования сложнзамкнутых сетей	199
7.8. Особенности расчета сетей при нескольких питающих пунктов	205
7.8.1. Задачи по теме	208
<b>8. Управление режимами электрических сетей</b>	<b>211</b>
8.1. Виды потери мощности	211
8.2. Источники реактивной мощности и их особенности	214
8.3. Баланс реактивной мощности и последствия их нарушения	218
8.4. Оптимизация распределения активных и реактивных мощностей в системе	220
8.5. Структура управления режимами	222
8.6. Управление частотой и активной мощностью	224
8.7. Управление напряжением и реактивной мощностью	228
8.8. Компенсация реактивной мощности	232
<b>9. Качества энергии и их обеспечение</b>	<b>235</b>
9.1. Показатели качества электроэнергии	236
9.2. Баланс активной и реактивной мощности и регулирование в электрической системе. Методы регулирования напряжения	239
9.3. Основные факторы, от которых зависит напряжение у потребителя	244
9.4. Регулирование напряжения на электростанциях и на понижающих подстанциях	248
9.5. Регулирование напряжения изменением сопротивления сети	253
9.6. Несимметрия в электрических сетях и мероприятия по её снижению	256
9.7. Несинусоидальность в электроэнергетических системах и мероприятия по её снижению	260
<b>10. Элементы проектирование электрических сетей</b>	<b>264</b>
10.1. Техничко-экономические расчеты, определение сечения проводов и кабелей, кумулятивные затраты	266
10.2. Определение сечения проводов по экономической плотности	273
10.2.1. Задачи по теме	280
10.3. Выбор номинального напряжения	283
10.4. Определение сечения проводов и кабелей по экономическим интервалом	286
10.5. Определение сечения проводов и кабелей по допустимой потере напряжения	293

10.5.1. Задачи по теме	297
10.6. Проверка сечения проводов и кабелей по условиям допустимого нагрева	301
10.6.1. Задачи по теме	305
10.7. Проверка сечений линий по условиям короны и термической устойчивости к токам короткого замыкания	307
10.8. Расчет линии стальными проводами	310
10.8.1. Задачи по теме	312
10.8.2. Примеры по теме для самостоятельного решения	323
Приложения	326
Глоссарий	336
Список литературы	347



# C O N T E N T S

<b>Introduction</b>	12
<b>1.The General data on electric networks</b>	16
1.1. Sources of active capacity	16
1.2. Sources of jet capacity	19
1.3. Structure and schemes of electric networks and systems	23
1.4. The Requirements shown to electric networks	29
1.5. Rated voltage of electric networks and systems. Concept about regulation	34
1.6. Modes netraley electric networks of various pressure	40
<b>2. Designs of electric networks</b>	46
2.1. The General data of a design of air-lines	46
2.2. Wires of air-lines and cables	49
2.3. Insulators and linear armature	53
2.4. Insulators and linear armature	57
2.5. The Design of cables and cable lines	60
<b>3. The characteristic and parametres of elements of electric networks</b>	63
3.1. Loadings of consumers and a drawing of electric loadings	63
3.2. Principal views gunners electric networks	66
3.3. Resistance and conductivity of electric nteworks. Equivalent circuits.	
3.3.1. Tasks of a subject	68
3.3.2. Examples on a subject for the independent decision	81
3.4. Parameters two and three winding transformers	86
3.5. Transformers with cloven a winding	87
3.6. Parameters of autotransformers	95
3.6.1. Tasks of a subject	97
3.6.2. Examples on a subject for the independent decision	101
<b>4. The analysis of operating modes of electric networks</b>	107
4.1. Capacity Lossers in lines and transformers	108
4.1.1. Tasks of a subject	109
4.2. Energy Losses in lines and transformers	115
4.2.1. Tasks of a subject	118
4.2.2. Examples on a subject for the independent decision	125
4.3. Losses and sinking pressure. Calculations of modes according to the end (beginning) of transfer	128
<b>5. Open ended distributive networks</b>	142
5.1. Calculations open electric networks	142
5.2. The closed distributive networks. Lines two sided a food	145
5.3. Features of calculation of a line a bilateral food	152
5.4. Calculations of the simple closed networks	154
5.4.1. Tasks of a subject	157
<b>6. Features of calculation of feeding electric networks</b>	162
6.1. Charging a current and loading capacity of a line	162
6.1.1. Tasks of a subject	167
6.2. Vector diagram transmission lines	168
6.3. Calculations of long transmission lines	174

6.4.	Concept increase of throughput of a line	177
<b>7.</b>	<b>Calculation flux-distribution in the closed electric</b>	<b>180</b>
7.1.	Preliminary reduction	180
7.2.	The equations of central pressure	182
7.3.	The turned form of the equations of central pressure	186
7.4.	Definition of factors of the equations of central pressure	189
7.5.	The decision of the equations of central pressure a method of iterations.	
	Definition of distribution of streams of capacity	192
7.6.	Definition of distribution of streams of capacity by a method of planimetric currents	196
7.7.	A transformation Method closed it is complicated networks	199
7.8.	Features of calculation of networks at several feeding points	205
<b>8.</b>	<b>Management of modes of electric networks</b>	<b>211</b>
8.1.	Loss Kinds capacity	211
8.2.	Sources of jet capacity and their feature	214
8.3.	Balance of jet capacity and a consequence their infringement	218
8.4.	Optimization of distribution of active and jet capacity in system	220
8.5.	Structure of management of modes	222
8.6.	Management of frequency and active capacity	224
8.7.	Management of pressure and jet capacity	228
8.8.	Compensation of reaction capacity	232
<b>9.</b>	<b>Qualities of energy and their maintenance</b>	<b>235</b>
9.1.	Indicators quality of the electric of the power	236
9.2.	Balance of active and jet capacity and regulation of electric system.	
	Methods regulation pressure	239
9.3.	Major factors on which pressure at the consumer depends	244
9.4.	Pressure Regulations on power stations and on lowering substations	248
9.5.	Regulation of pressure by change of resistance of a network	253
9.6.	Asymmetry in electric networks to action for its decrease	256
9.7.	Ne sinusoidalnost in electro power systems and actions for its decrease	260
<b>10.</b>	<b>Elements designing of electric networks</b>	<b>264</b>
10.1.	Technical and economic calculations, definition of section of wires and cables, cumulative expenses	266
10.2.	Definition of section of wires on economic density	273
10.2.1.	Tasks of a subject	280
10.3.	A rated voltage Choice	283
10.4.	Definition of section of wires and cables on admissible losses pressure	286
10.5.	Definition of section of wires and cables on admissible losses pressure	293
10.5.1.	Tasks of a subject	297
10.6.	Check of section of wires and cables on conditions of admissible heating	301
10.6.1.	Tasks of a subject	305
10.7.	Check of sections of lines on conditions of a crown and thermal stability to currents short circuits	307
10.8.	Line calculation by steel wires	310
10.8.1.	Tasks of a subject	312

10.8.2. Examples on a subject for the independent decision	323
Appendices	326
Glossarys	336
References	347

## 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, tadbir-korlikdami, turmushdami elektrsiz tasavvur qilish mumkin emas.

XX asda 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 Oʻrta 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 ishlaymoqda.

Oʻrnatilgan uskunalarning quvvatlarini yigʻindisi 12.3 mln. kVt boʻlgan, 37 issiqlik va suv elektr stansiyalarini oʻz ichiga olgan Oʻzbekiston 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.

Koʻrsatilgan elektr stansiyalarda yagona quvvati 150dan 300 ming kVt boʻlgan 30 dan ortiq zamonaviy energetika bloklar oʻrnatilgan. Loyiha quvvati 3,2 mln. kVt va yagona energetika blokini quvvati 800 ming kVtli Oʻrta Osiyoda eng katta boʻlgan Tolimarjon issiqlik GRESni qurilishi davom etmoqda.

Suv energetikasi Oʻzbekiston Respublikasini energetika kompaniyasi sistemasidagi bir nechta suv elektr stansiya kaskadlari bilan belgilangan. Bulardan Oʻrta Chirchiq GESlar kaskadi suv havzasiga ega va shu sababli 600 ming kVt quvvatli Chorvoq GESi va 165 ming kVt quvvatli Xojikent GESi quvvatni rostdash tartibida ishlaydi. Qolgan SES asosida suv oqimi boʻlgan tartibda ishlaydi.

Samarqand viloyatida umumiy quvvati 1002 MVA boʻlgan ikki transformatorli 500 kVli Sugʻdiyona podstansiyasi qurilishining yakunlanishi va ishga tushirilishi bilan isteʼmolchilarga yetkazib berilayotgan elektr energiyasining sifatini oshirish, elektr energiyasini uzatishdagi isroflarni kamaytirishga erishildi.

Sirdaryo IES — Sugʻdiyona PS ga 500 kV XL qurilishi boʻyicha ishlar boshlab yuborildi. Toshkent shahrining elektr taʼminoti ishonchligini oshirish maqsadida 110-220 kV kuchlanishli bir qator obyektlar, shu jumladan 110 kV li yopiq podstansiyalar va kabel liniyalarini qurishi koʻzda tutilmoqda.

Hammasi boʻlib 800 kmga yaqin magistral elektr uzatuv liniyalari, shuningdek sistemaga qarashli podstansiyalarda, shu bilan bir qatorda, tiklanayotgan energetikani taraqqiy ettirish borasida birinchi navbatda, suv energetikasi salohiyatidan foydalanish boʻyicha maʼlum 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 korxonalarini 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 turbinalari, 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 (vozbujdeniya) 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 sovutuvchi 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 koeffitsiyentini 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 koeffitsiyenti  $\cos\varphi_n$ ; nominal reaktiv quvvat MVar; foydali ish koeffitsiyenti (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.

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

Ishlab chiqarilayotgan generatorlarni nominal quvvat koeffitsiyenti 0,8-0,9 ga teng. Bilvosita ta’sir qilib sovitishli generatorlarda  $\cos\phi$ ni 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‘zgarimas tokda ishlab chiqaradi, uni sanoat chastetasidagi o‘zgaruvchan tokka o‘zgartiruvchi uskunalari 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. Turbogeneratorni 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 kam<sup>1</sup>.

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.

---

<sup>1</sup> Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley & Sons, INC Publication, 2007, 260 p.

Bugʻsiz tartibda generator kam yuklangan sinxron motori holatiga oʻxshab ishlab, turbinani aylantiradi. Bugʻ faqat turbina kuraklarini ventilyatsiyasiga sarf boʻladi.

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 toʻxtatish talab etiladi.

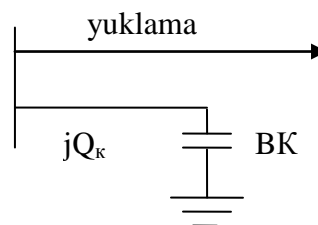
Gidrogeneratorlarini sinxron kompensator tartibiga oʻtkazish, turbogeneratorlarga nisbatan sodda va tez boʻlib, avtomatlashtirish oson boʻlishi mumkin.

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

Yirik podstansiyalarda 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  $750 \text{ ayl/daq}$ , 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 yig'ilgan yirik turg'un kondensator batareyalar komplekti (1.2-rasm) keng tarqalmoqda. Ular pasaytiruvchi podstansiyalarga o'rnatilib, 6; 10; 35 va 110 kV kuchlaninishga ulanishi mumkin. KB va SKni taqqoslab qayd qilamiz.

SK reaktiv quvvatni ham uzatilishi shuningdek iste'mol qilishi mumkin, KB – reaktiv quvvatni sistemaga faqat uzatadi. SK da reaktiv quvvat tekis o'zgaradi, KB da – pog'onali.

SK da reaktiv quvvatni uzatish, qo'zg'atishni tezlatish yo'li bilan ishlab chiqariladi, u aslida keltirilgan kuchlanishga bog'liq emas. KBda uzatilayotgan reaktiv quvvat va keltirilgan kuchlanish o'rtasida kvadrat bog'lanish bo'lib, KBni asosiy kamchiligi hisoblanadi.

Avariya holatlarida kuchlanish pasayadi va KB berayotgan reaktiv quvvatini keskin kamaytiradi, bu esa qo'shimcha kuchlanishni, keyin quvvatni pasayishiga olib keladi. Bu kamchilikni yo'qotish uchun ketma-ket ulangan elementlarni bir qismini uzish, yulduz ulanishdan uchburchakka 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 rostlashda 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:

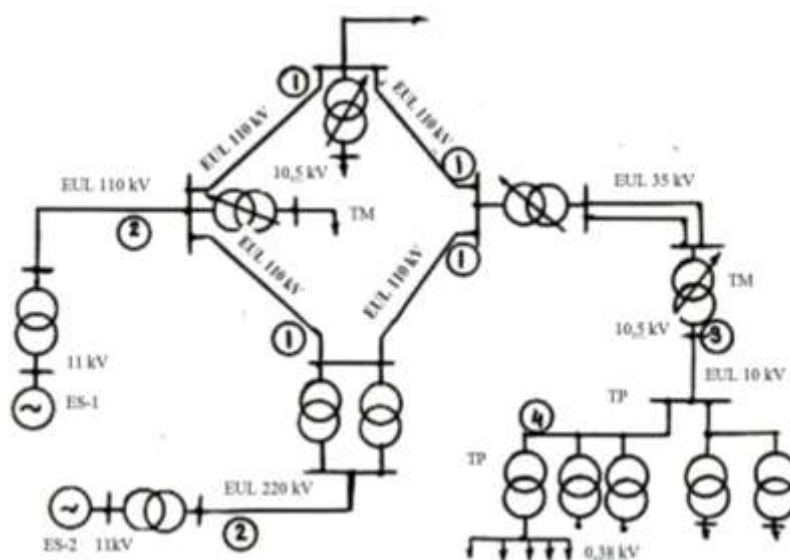
1. Nisbatan katta bo'lmagan, radiusi o'rtacha 30 kilometr gacha bo'lgan hududlarni ta'minlashga xizmat qiladigan 35 kV gacha (35 kV kuchlanish ham

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.<sup>2</sup>

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.

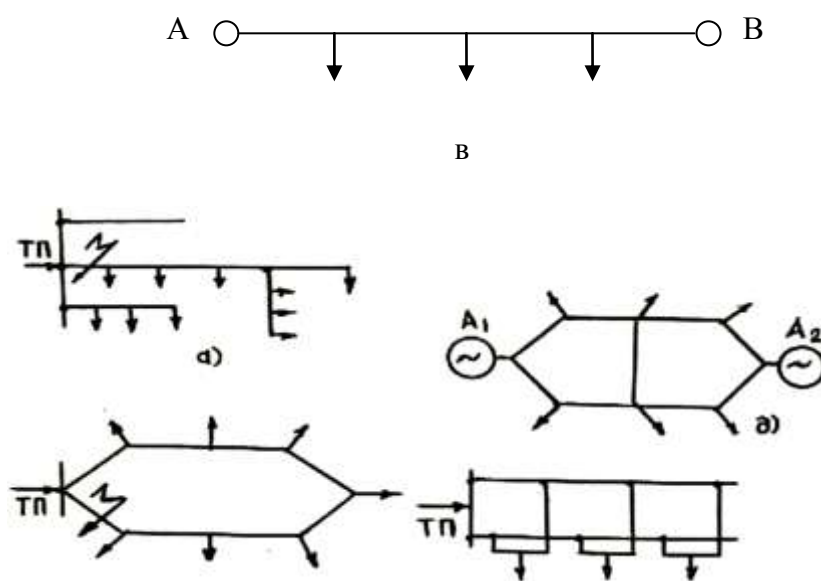
3-kategoriya iste'molchilari uchun energiya ta'minotini bir liniya orqali amalga oshirishga ruxsat etiladi. Elektr energiyasi bilan ta'minlashda tarmoqning zaxiralangan va zaxiralanmagan sxemalaridan foydalanish mumkin.

---

<sup>2</sup> Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley & Sons, INC Publication, 2007, 260 p.

Zaxiralanmagan tarmoq deb zaxira sifatida qo‘shimcha liniya va transformator podstansiyalari bo‘lmagan tarmoq aytiladi. Bu guruh 3-kategoriyali iste‘molchilarni ta‘minlaydigan (ba‘zan 2), sho‘lasimon sxemalarga taalluqlidir (1.3.2-rasm).

Zaxiralangan tarmoq 1 va 2-kategoriyali iste‘molchilarni ta‘minlaydi. Bu guruhga xalqasimon (1.3.2-b rasm), ikki tarafdin ta‘minlanuvchi (1.3.2-v rasm), ikki sistemali magistral (1.2.2-g rasm), tugun nuqtalari bor murakkab berk zanjirli tarmoqlarni (1.2.2-d rasm) kiritish mumkin.



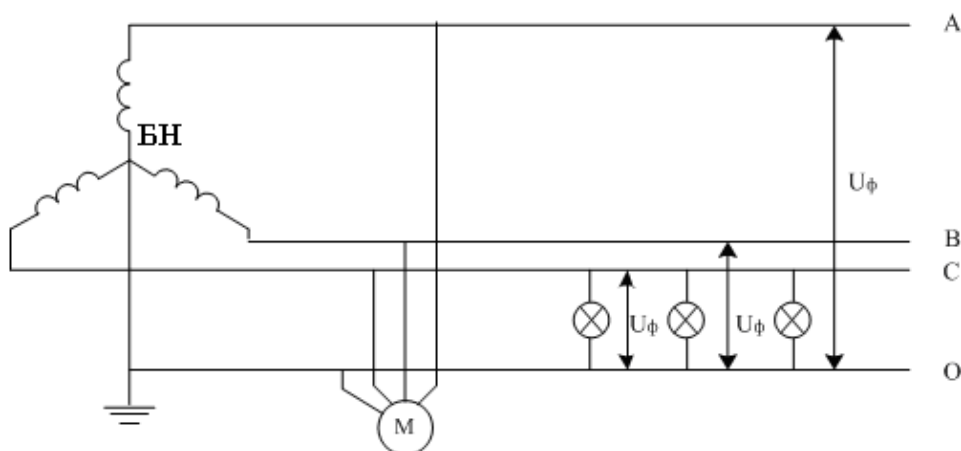
**1.3.2-rasm. Tarmoqlarning mumkin bo‘lgan sxemalari. TP- transformator podstansiyasi, A1 va A2 ta‘minlash tugunlari (stansiya yoki podstansiya)**

Sanoat korxonalarini va qishloq xo‘jaligini asosiy uskunalari uch fazali elektr tokida ishlashga mo‘ljallangan.

Uch fazali sistemani qo‘llashdan maqsad, barobar metall sarfida unda bir fazali sistemaga nisbatan quvvat kam isrof bo‘ladi (taxminan 30 foiz) va sanoatda elektr motorlarini ishlatishda ancha qulaylik yaratadi. Shuning uchun u juda taraqqiy etgan.

Ko‘p hollarda past kuchlanishli uskunalarni ta‘minoti to‘rt simli uch fazali sistemalar yordamida amalga oshiriladi (1.3.3-rasm) bunda betaraf nuqta bevosita yerga ulangan bo‘ladi.

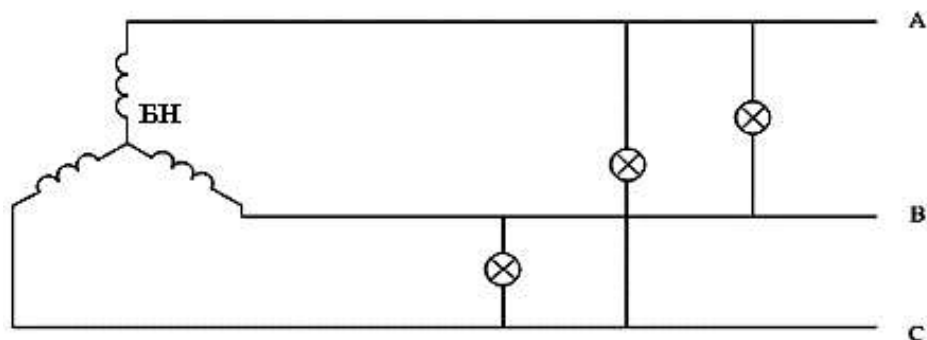
Nol simi yoritkich iste'molchilarini faza kuchlanishiga ulash uchun va fazalar bir xil yuklanmaganida paydo bo'ladigan nosimmetriya toklarini tenglashtirish uchun ishlatiladi. Hamma fazalar bir xil yuklanganda nol simdan tok o'tmaydi.



**1.3.3- rasm. Neytrali yerga bevosita ulangan uch fazali o'zgaruvchan tok to'rt simli sistemaning sxemasi.**

Bir xil quvvat isrofi sharti ko'zda tutilganda, kuchlanish qancha yuqori bo'lsa metall sarfi shuncha kam bo'ladi.

Texnika xavfsizligi shartiga asosan sanoatimiz hozirgacha 220 V kuchlanishdan yuqori bo'lgan cho'g'lanish lampalarini ishlab chiqarmaydi. Hozirgi paytda betaraf nuqtasi yerdan izolyatsiya qilingan uch fazali sistemalar juda kam ishlatiladi. Chunki bu tarmoqlarda, cho'g'lanish lampasining kuchlanishi cheklangan bo'lganligi uchun, liniya kuchlanishini ham 220 V dan oshirish mumkin emas.



**1.3.4-rasm. Betaraf nuqtasi yerdan ajratilgan uch fazali 220 V kuchlanishli sistemaning sxemasi.**

Cho'g'lanish lampalari bevosita ulanmaydigan yuqori kuchlanishli tarmoqlar (1000 V dan yuqori) qoida bo'yicha uch simli qilib bajariladi, chunki nol sim kerak bo'lmaydi.

Uzunligi va quvvati katta bo'lgan tarmoqlarda uzatish kuchlanishini ikki va undan ko'p bosqichda amalga oshirish maqsadga muvofiqdir.

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 podstansiyalarning sxemasiga ham bog'liq.

### **Nazorat savollari:**

1. Energetika sistemasi deb nimaga aytiladi?
2. Elektr sistemasi deb nimaga aytiladi?
3. Podstansiyaning 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 uskunalarning 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 uskunalari 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‘rnida 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 uskunalari (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  $120^\circ$  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 nohiziqli 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 uskunalarni standartlash.** Ma'lumki, texnikada seriyali ishlab chiqarish imkoniyatiga ega bo'lmoliq uchun uskunalarni standartlash, ya'ni ularni katta-kichiklik, massa, tok. kuchlanish yoki boshqa parametrlari bo'yicha bir necha turga bo'lib ishlab chiqarish kerak. Texnikada hamma narsa standartlashtiriladi: kuchlanish (1.5.1-jadval), sim va kabellarning kesim yuzasi, transformatorlarning quvvati, generatorlar va hokazo. Har qanday uskunalarni tanlashda ko'p hollarda kattaroq o'lchamlarga ega bo'lgan standart uskunalarni tanlanadi. Lekin ba'zan shunday hollar bo'ladi (ko'pincha iqtisodiy tushunchalar bo'yicha), qachonki kattasini emas, balki yaqin qiymatni tanlash maqsadga muvofiqdir. Masalan, hisoblar bo'yicha kabelni kesim yuzasi  $105 \text{ mm}^2$  bo'ldi. Qanday  $95 \text{ mm}^2$  yoki  $120 \text{ mm}^2$ , kesim yuzasini tanlash kerak. Iqtisodiy hisoblar shuni ko'rsatadiki,  $95 \text{ mm}^2$  kesim yuzali kabelni tavsiya etmoq to'g'ri bo'ladi.

1.5.1-jadvalda past (220-660 V), o'rta (3-35kV), yuqori (110-220kV) 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 loyihalarnayotgan 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.

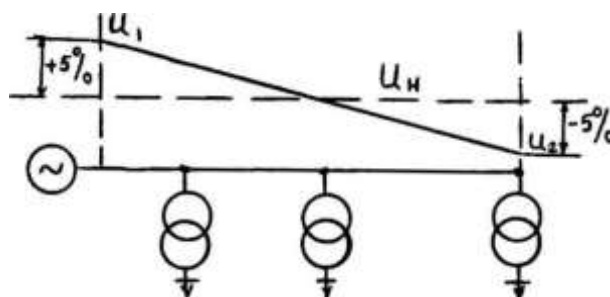
Ammo, elektr tarmoqlarining normal ish holatida elektr iste'molchilarga keltirilgan kuchlanish: nominal qiymatidan og'ishi kerak emas.

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 U1 (1.5.1 – rasm) nominal

kuchlanish U dan 5% ga ortiq oshmasligi, U2 liniya oxiridagi kuchlanish esa Un- dan 5% dan pastga kamaymasligi kerak.

1.5.1-jadval

Tarmoqni va iste'molchilarni nominal kuchlanishi		Iste'mol liniya kuchlanishi			Elektr uskunalarni eng katta ish kuchlanishi
		Generator kuchlanishi	Transformator kuchlanishi		
Liniya-dagi	Faza-dagi			Birlamchi chulg'am	Ikkilamchi chulg'am
Voltda					
220	127	230	220	230	242
380	220	400	380	400	18
650	380	590	560	690	725
Kilovoltda					
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



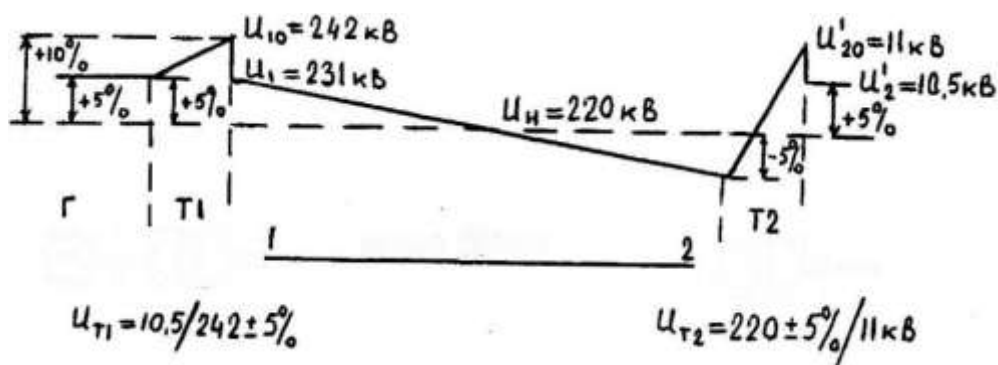
1.5.1-rasm. Tarmoq kuchlanishini o'zgarish grafigi.

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

Shunday qilib, tarmoqni  $U_n = \frac{U_1 + U_2}{2}$  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‘aming 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 gorizontalliniya 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  $U_{20}^1=11$  kV. Shunday qilib, transformator T-2 ni birlamchi chulg'amiga 220 kV kuchlanish berilganda, uning ikkilamchi chulg'amini qisqichlaridagi kuchlanish yuklama ta'sirida  $U_{20}^1=10,5$  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 rostdash masalasi paydo bo'ladi.

**Kuchlanishni rostdash 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, iqtisodiyli va iste'molchilarga yetkazib berilayotgan energiyaning 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. Rostlash 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.<sup>3</sup>

Statik kondensatorlar rostlovchi ko'ndalangiga ulangan kompensatsiya uskunalarida reaktiv quvvatni kompensatsiyalashdan tashqari taqsimlovchi tarmoqda

---

<sup>3</sup> Steven W.Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007, 260 p.

kuchlanish rostdashini 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'ylamaga 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 rostdash deganda nimani tushunasiz?

## 1.6. Har xil kuchlanishdagi elektr tarmoqlari neytralining ish holati

Chulgʻamlariga elektr tarmoqlari ulangan uch fazali transformatorlarning neytrali yerga ulangan (bevosita yoki tarmoqning sigʻimiga moslashtirilgan induktiv qarshilik orqali yoki kuchlanish transformatorlari orqali) yoki neytrali yerdan izolyatsiyalangan.

Agarda transformatorlar chulgʻaming neytrali yerdagi ulash qurilmasiga toʻgʻridan toʻgʻri yoki juda kam qarshilik orqali ulangan boʻlsa, bunday neytral bevosita yerga ulangan deyiladi. Transformator chulgʻamiga ulangan tarmoq esa - neytrali betaraf yerga ulangan tarmoq deyiladi.

Neytral yerdagi ulash qurilmasiga ulanmagan boʻlsa, yoki unga oʻlchov kuchlanish transformatorlari orqali, yoki tarmoqning sigʻim toklarini kamaytirishga (kompensatsiya qilishga) moslashtirilgan induktiv qarshilik orqali ulangan boʻlsa, bunday neytral yerdan izolyatsiyalangan deyiladi. Shu holatda ishlagan tarmoqlar esa neytrali yerdan izolyatsiyalangan tarmoqlarga tegishlidir.

Neytral yerga tarmoqning sigʻim toklarini kompensatsiya qiluvchi moslamalar orqali ulangan boʻlsa, bunday tarmoq neytrali kompensatsiyalangan tarmoq deyiladi.

Bir fazali yerga tutashuvda elektr sistemalarining simmetriyasi holati buziladi; yerga nisbatan fazalar kuchlanishi oʻzgarib, yerga ulanish toki hosil boʻladi va tarmoqlarda kuchlanishni oʻzgarish holati paydo boʻladi. Simmetriyaning oʻzgarish darajasi neytralning holatiga, yaʼni uning yerga ulanish usuliga bogʻliq.

1000 V kuchlanishgacha boʻlgan elektr tarmoqlarida neytralning holati elektr tarmoqlarida xizmat qiluvchi xodimlarning xavfsizligini taʼminlash bilan, yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlarida esa uzluksiz elektr bilan taʼminlashda elektr qurilmalarining ishonchliligi va tejamkorligi bilan asoslanadi.

Bu masalani har xil kuchlanishli elektr tarmoqlari uchun koʻrib chiqamiz.

**1000 V kuchlanishgacha boʻlgan elektr tarmoqlari.** «Elektr uskunalarning tuzilish qoidalari» (EUTQ)ga koʻra, 1000 V kuchlanishgacha boʻlgan elektr tarmoqlarida neytral toʻgʻridan toʻgʻri yerga ulangan yoki ulanmagan (yerdan izolyatsiyalangan) boʻladi.



Shuning uchun bu tarmoqlar neytrali bevosita yerga ulangan (to‘rt simli) yoki yerdan ajratilgan (uch simli) qilib bajarilgan bo‘ladi.

To‘rt simli elektr tarmoqlarida kuchlanish 380/220 V yoki 220/127 V (1.3.3-rasm) qilib belgilanadi, bunda surat liniya kuchlanishga (elektr motorlarni ulash uchun), maxraj esa faza kuchlanishiga (yoritgich yuklamalari uchun) taalluqlidir.

Elektr xavfsizligi uchun motorning korpusi va boshqa metall qismlar yerga yoki nol simga ulanadi. Har bir fazani yer bilan tutashuvi qisqa tutashuvga olib keladi, shu fazadagi saqlagich kuyadi va tarmoqni shikastlanishdan saqlaydi.

Nol simsiz, uch fazali 220 V kuchlanishli elektr tarmoqlari ham bor. Bu tarmoqlarda neytral yerdan izolyatsiyalangan bo‘lib, faza simini yer bilan tutashuvi qisqa tutashuvga olib kelmaydi va iste‘molchilarni elektr energiya bilan ta‘minlanishi uzilmaydi.

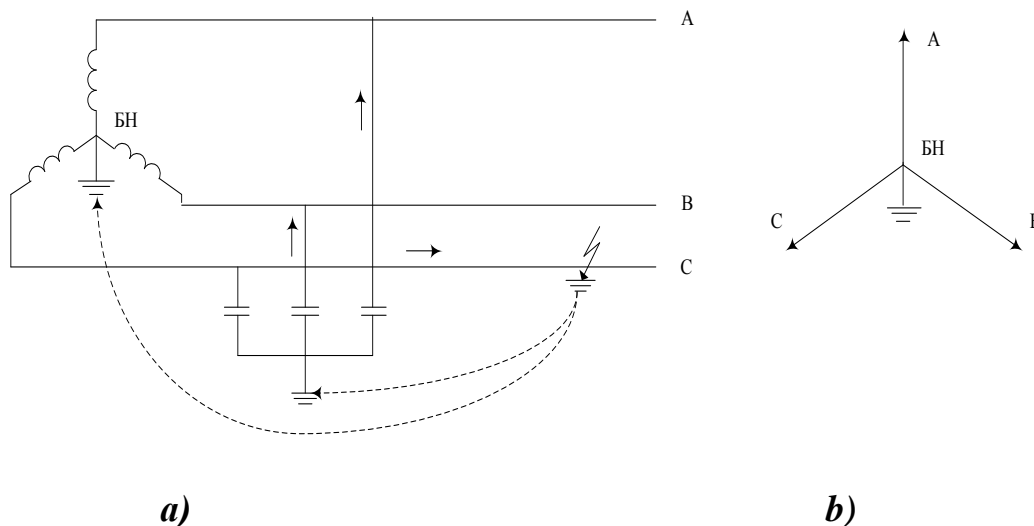
Bunday tarmoqlarda biror faza yer bilan ulanib qolsa, unda boshqa fazalardagi kuchlanish yerga nisbatan  $\sqrt{3}$  marta oshadi (1.3.4-rasm). Bu esa ishlayotgan insonlar uchun xavf keltiradi. Shuning uchun betaraf nuqtasi yerdan izolyatsiyalangan elektr tarmoqlarida izolyatsiyaning holatini doimo kuzatib turish va tezda shikastlangan fazani tuzatish yoki avtomatik ravishda uzish kerak.

Chug‘lanish lampalari ulanmaydigan 660/380 V kuchlanishli elektr tarmoqlari ham qo‘llaniladi.

**Yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlari.** Yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlarida (1000 V dan yuqori) neytral zaminlangan, yerdan izolyatsiyalangan yoki kompensatsiyalangan bo‘ladi.

Neytrali bevosita yerga ulangan elektr tarmoqlari yerga tutashuv toki (faza simi yerga tegib qolgan joydagi tok) juda katta bo‘lgan ( $I_{K.T} > 500 \text{ A}$ ) tarmoqlarga tegishli (1.6.1-rasm).

Haqiqatdan ham, normal holatda tarmoqda yuklanish toklaridan tashqari uch faza simlar orasida sig‘im toklari  $I_C$  ham oqadi. Uch fazali sistema simmetriyali bo‘lganda,  $I_C=0$  va neytral orqali tok oqmaydi.



**1.6.1-rasm. Neytrali zanjirlangan tarmoqning sxemasi (a) va uning vektor diagrammasi (b)**

Agarda bironta faza yerga ulanib qolsa (ko‘pincha uchraydigan holat), masalan, faza S, tok yer bilan tutashgan joydan neytralga oqadi (shtrixlangan liniya).  $I_{Q.T.}$  juda katta, chunki yerning tok oqishiga bo‘lgan qarshiligi kichik. Shuning uchun faza simini yer bilan tutashib qolishi, (tegib qolishi) neytrali bevosita yer bilan tutashgan elektr tarmoqlarida qisqa tutashuvga olib keladi va elektr tarmog‘i saqlagich orqali uziladi. Bunda bir tarafdin ta‘minlanayotgan iste‘molchi avtomatik qayta ulash (AQU) uskunasi ishlaguncha yoki shikastlangan joy tuzatilguncha elektr energiya bilan ta‘minlanmaydi. Sig‘imning qarshiligi juda katta bo‘lgani sababli shikastlangan joydan sig‘imga oqayotgan tok  $I_S$  qisqa tutashuv toki  $I_{QT}$  ga nisbatan juda kichik va iste‘molchilarga sezilarli darajada ta‘sir ko‘rsatmaydi.

Neytrali yerdan izolyatsiyalangan elektr tarmoqlari yerga ulanish toki kichik bo‘lgan elektr tarmoqlarga tegishli.

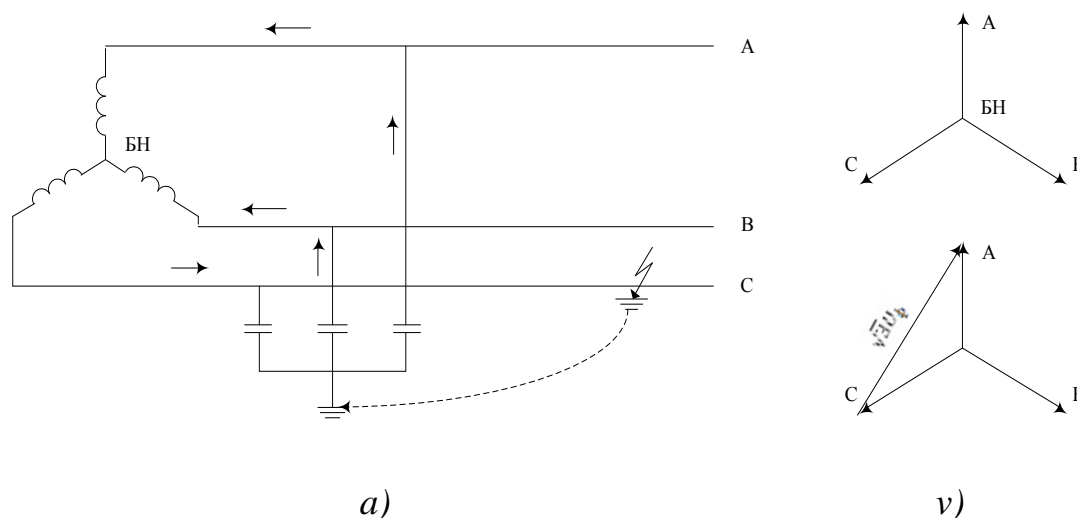
Biror faza yer bilan tutashib qolsa, masalan faza S, tok faza yer bilan tutashgan joydan shikastlanmagan fazalar sig‘imiga va keyin liniyalardan neytral orqali shikastlangan joyga oqadi (1.6.2-rasm).

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 ( $\sqrt{3} U_f$ ).

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)**

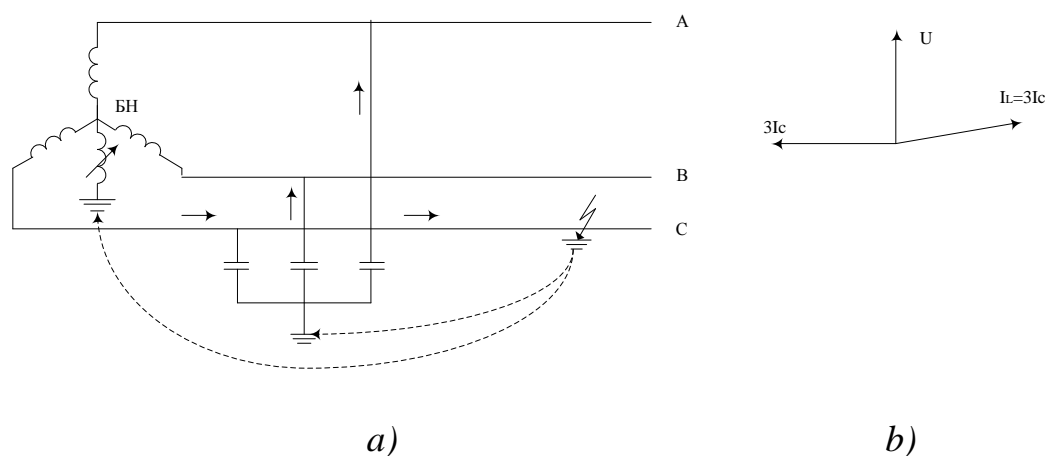
Shunday qilib, neytrali yerdan izolyatsiya qilingan sistemada biror fazani yer bilan tutashuvi iste'molchini o'chirilishiga olib kelmaydi. Lekin izolyatsiya  $\sqrt{3}$  marta kattaroq kuchlanishni ko'tarishga mo'ljallangan bo'lishi kerak.

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'imlari

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 kuchlanishga 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  $180^\circ$  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'chmasligi 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

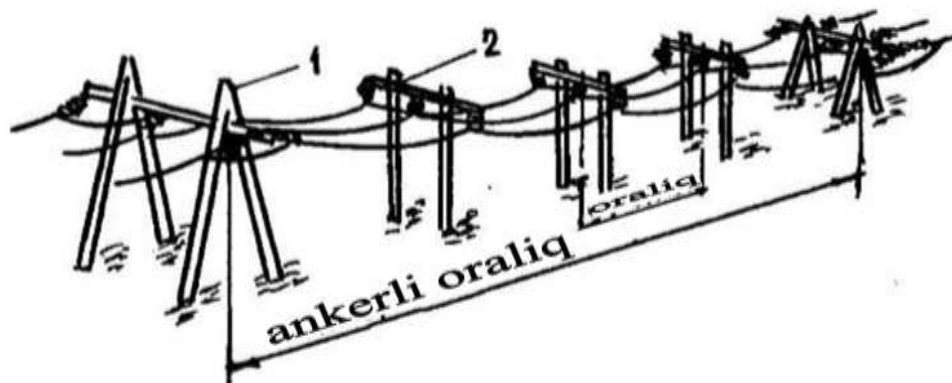
### 2.1. Havo liniyalari to'g'risida umumiy ma'lumotlar

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 troslari, simlar va izolyatorlarni osishga mo'ljallangan tayanchlar, simlarni tayanchlardan izolyatsiya qiladigan izolyatorlar, simlar va troslarni 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 tariflanadi.

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



**2.1.1-rasm. HL tuzilish sxemasi:**

1 - ankerli tayanch, 2 - oraliq tayanchlari.

Simlar va himoya troslarni 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.

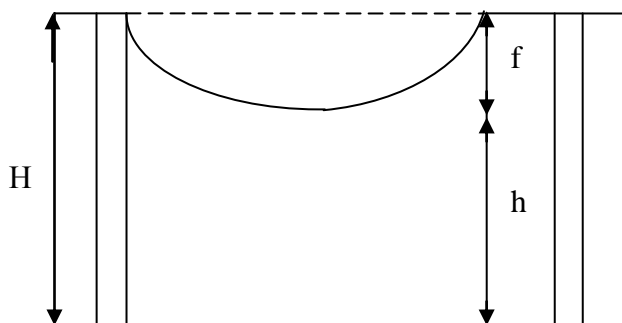
**O'tish oraliq'i** deb shunday oraliqqa aytiladiki, uni bo'yicha HLsi muhandislik inshootlari (yo'llar, kanallar, liniyalar) bilan kesishgan bo'ladi.

**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 yergacha 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 yergacha, 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 provesa) deb aytiladi.



**2.1.2-rasm. HL sini tashqi o'lcham oraliq'ini asosiy xarakteristikalari**

HL sini tashqi o'lchami liniyani tagida yuruvchi insonlar va transportlarning xavfsizlik qoidalari 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 oralig'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:

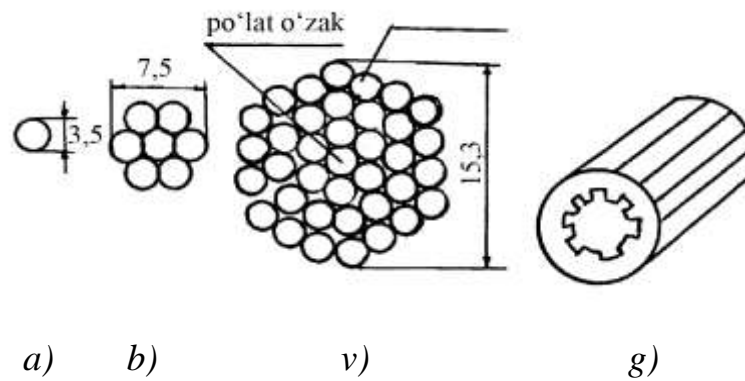
1. Havо liniyasi deganda nimani tushunasiz?
2. Havо liniyasining asosiy elementlari nimalardan iborat?
3. Havо liniyasining tashqi o'lchami deganda nimani tushunasiz?



## 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 bimetall 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.<sup>4</sup>

Simlar va trosslarning 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 trosslar 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).

<sup>4</sup> Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley & Sons, INC Publication, 2007, 260 p.

Mis simlar yuqori elektr o'tkazuvchanligiga ega ( $\gamma=53/3 \text{ m/Om mm}^2$ ) solishtirma qarshiligi  $\rho=18/8 \text{ Om mm}^2/\text{km}$ . 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  $\sigma = 360\text{-}400 \text{ mPA}$ ). 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 mm<sup>2</sup> 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  $\gamma_o=34,7\text{m/Om}\cdot\text{mm}^2$ ,  $\rho 18/8 \text{ Om mm}^2/\text{km}$  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<sub>n</sub> 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.

Po'lat simlar  $\sigma =550\text{-}700 \text{ mPA}$  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 troslarning 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‘yiq 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 podstansiyalarda shinalar sifatida qo‘llaniladi.

Troslar HLLarini atmosferadagi o‘ta yuqori kuchlanishlardan va chaqmoq urishidan saqlash uchun va yana aloqa liniyalarga qilinadigan ta‘sirni 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.

Chaqmoqdan saqlovchi troslar TK belgili bo‘lib, rux bilan qoplangan ko‘p tolali po‘lat simdan tayyorlanadi, kesim yuzasi 35,50 va 70 mm<sup>2</sup> 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, tayanchni ishdan chiqarishi mumkin. Ish muddatini uzaytirish uchun ularga kimyoviy 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.

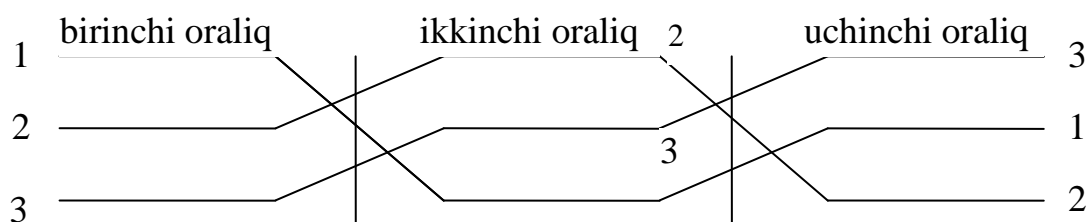
Transpozitsiyali tayanchlar--bu faza simlarining joyini o‘zgartirishga imkon beradigan (transpozitsiya qilish) qo‘shimcha izolyator tizmalari va konstruktiv elementlarga ega bo‘lgan ankerli tayanchlardir.

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.

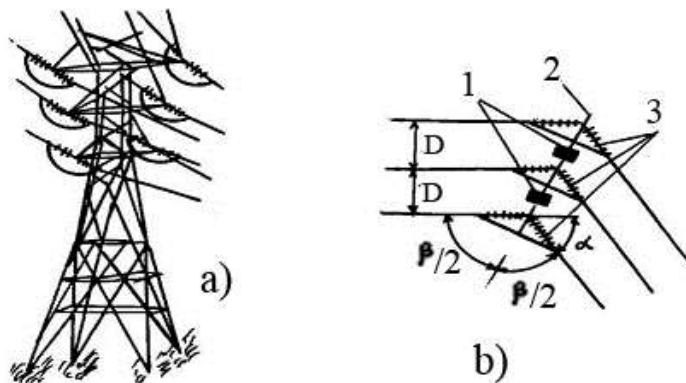
Tarmoqlaydigan tayanchlar tarmoqlangan simlarni asosiy liniyaga ulash va ajratish uchun xizmat qiladi.

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 troslarning 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.



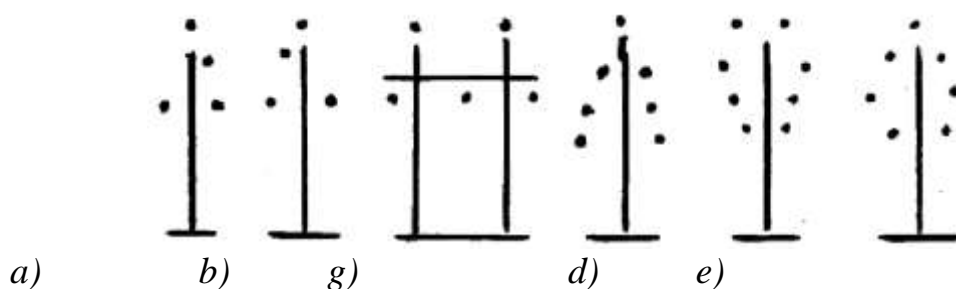
**2.3.2-rasm. Burchakli tayanchlar-a, EULsi burilish burchagi-b.**

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.<sup>5</sup>

Burchakli tayanchlar (2.3.2-rasm) HLLarning burilish nuqtalariga qo'yiladi. Liniyaning burilish burchagi deb, (2.3.2 b - rasm) ichki burilish burchagi  $\beta$  ni  $180^\circ$ gacha to'ldiruvchi burchakka aytiladi.



**2.3.3- rasm. Bir va ikki sistemali HLLarning simlar va troslarni tayanchlarda joylashishi.**

Bir sistemali tayanchlarda simlar uchburchakning cho'qqisida yoki gorizontal 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.

<sup>5</sup> Steven W.Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007, 260 p.

Teskari "archa" oson jihozlangani bilan ikki himoya trosini talab qiladi. Simlarni: "bochka" simon joylash juda keng qoʻllanilmoqda. HL larni nominal kuchlanishga qarab simlar orasidagi masofa 2.1.1 - jadvalda koʻrsatilgan.

**Nazorat savollari:**

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



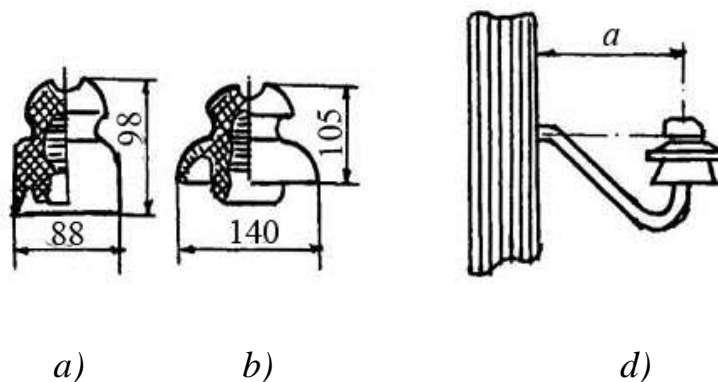
## 2.4. Izolyatorlar va liniyali armaturalar

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,



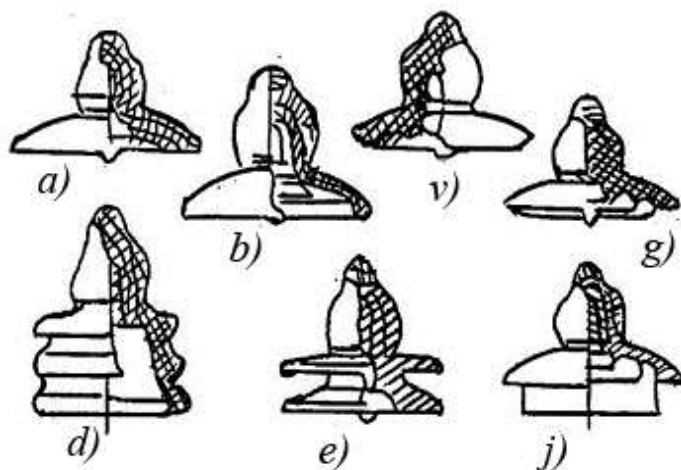
### 2.4.1-rasm. Shtirli izolyatorlar (a-b) va ularni tayanchlarga ilmoqar yordamida mahkamlanishi (d)

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 qoʻllaniladi, PFG, PSG xillari ifloslanish darajasi yuqori boʻlgan rayonlardagi HLLarida oʻrnatiladi.

Osmali izolyatorlar (2.4.2-rasm) tutib turuvchiga (simlarni oraliq tayanchlariga mahkamlash uchun) va tortib turuvchi (simlarni ankerli tayanchlarga mahkamlash uchun) sistemalariga yigʻiladi. Sistemalardagi izolyatorlarning soni liniyaning kuchlanishiga, atmosferaning ifloslanish darajasiga, tayanchning materialiga va qoʻllanilayotgan izolyatorning turiga borliq. Tortib turuvchi sistemalar 110 kV kuchlanishgacha boʻlgan HLLarida qoʻllanilganida, ancha yengil sharoitda ishlaydigan osmali tizmalariga nisbatan bitta ortiqcha izolyatorli boʻladi.



**2.4.2 -rasm . Osmali 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 osmali, ham shtirli qilib ishlatish mumkin. Sterjen shaklidagi izolyatorning shtirli turi butun silindr yoki bir xil joylashgan qovurgʻali konus shaklini ifodalaydi.

Sterjen shaklidagi izolyatorlarning osmali xili (2.4.2- rasm) bir xil joylashgan oddiy yoki vint koʻrinishdagi qovurgʻasi boʻlgan uzun sterjendan iboratdir.

Sterjen izolyatorlarning kamchiligi - yuqori boʻlmagan mexanik mustahkamligi, bu esa oʻz navbatida liniyaning ishonchliligini kamaytiradi.

**Nazorat savollari:**

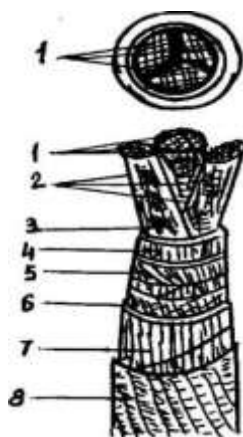
1. Havо liniyalarida izolyatorlarni vazifasi nimadan iborat?
2. O‘zining vazifasiga ko‘ra izolyatorlar necha turga bo‘linadi?
3. Izolyatorlar uchun qanday materiallar ishlatiladi?

## 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.

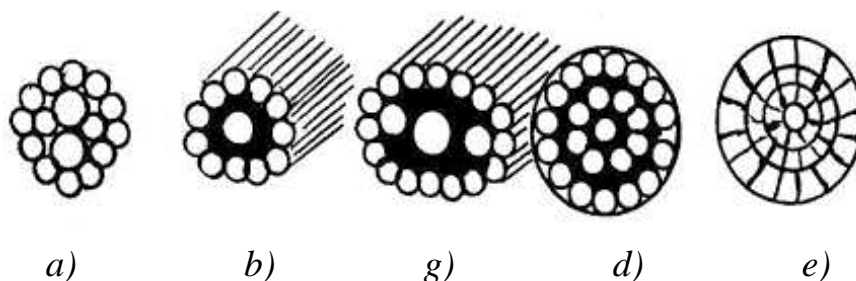
Kabelning sim tomiri deb bir, yoki bir necha buralgan, ustiga faza izolyatsiyasi o'ralgan simlar (tolalar)ga aytiladi. Tok o'tkazuvchi sim tomirlar mis va alyumindan tayyorlanadi.

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'zgarimas tok kabel liniyalarida (KL) va 110 kV va undan yuqori kuchlanishli uch fazali o'zgaruvchan tok KL larida, ikki sim tomirlisi-

faqat o‘zgarmas tok KL larida, uch sim tomirlisi - 1 kV dan yuqori bo‘lgan uch fazali o‘zgaruvchan tok KL larida, 1 kV dan past kuchlanishli KL larida esa to‘rt sim tomirlisi qo‘llaniladi.

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

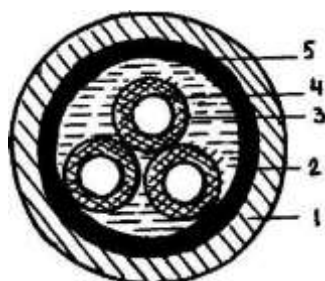


**2.5.2-rasm. Kabelning tok utkazuvchi sim tomirlarining har xil ko‘rinishi.**

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.

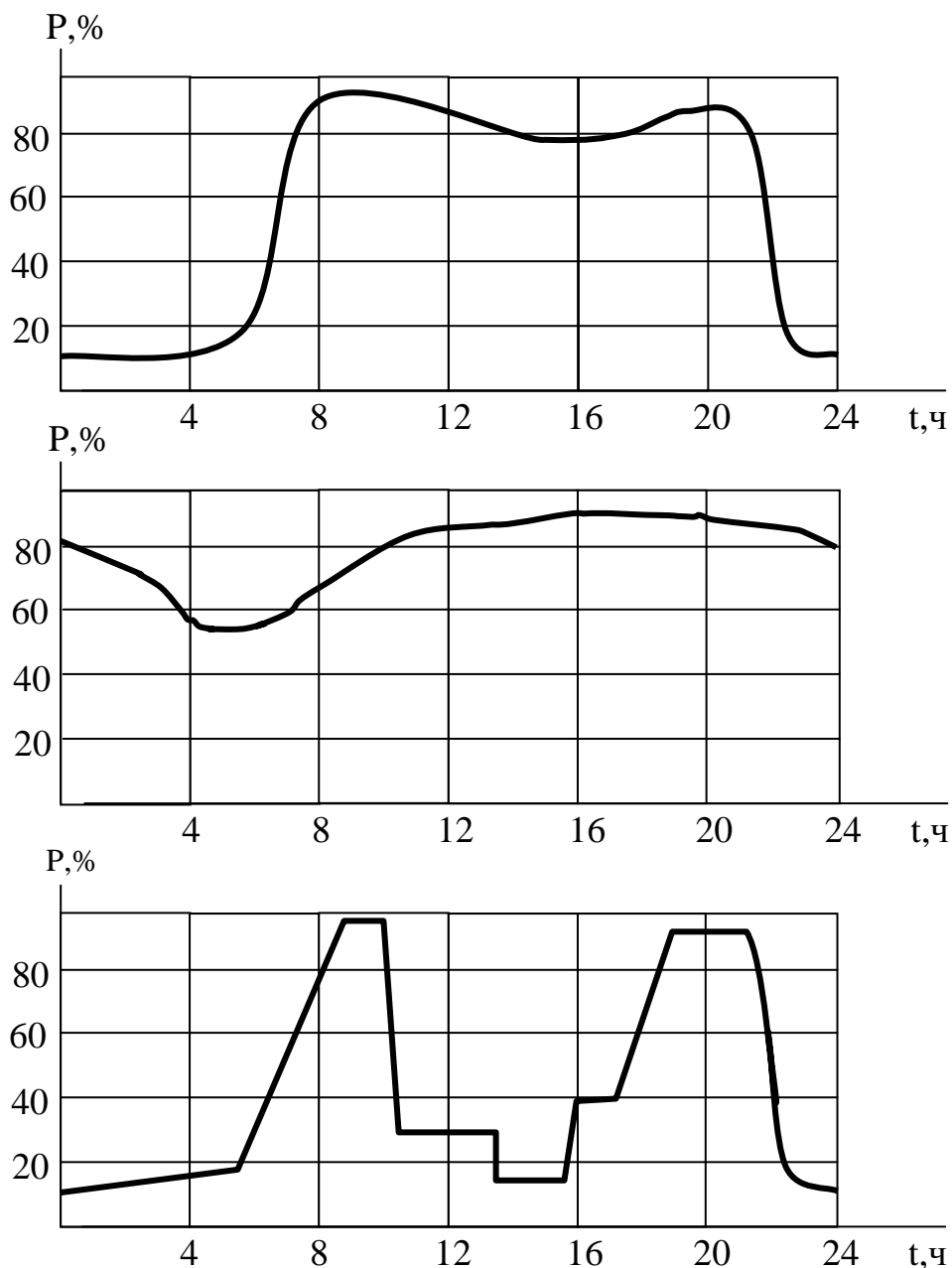
Elektr energiyaning iste'mol qilish tartibiga energetika uskunalari; ES, EUL va transformator podstansiyalarini ishlash tartibi bog'liqdir.

Elektr yuklamalari grafigi deb, absissa 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 korxonalarining 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 grafiglari 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 grafiglari asos qilib olinadi. Andazali grafiglar 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‘rilayotgan 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‘zgarmas 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 uskunalarni 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 uskunalarning 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 programmallashtirish 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 sodda tarmoqlar uchun qo'llaniladi.

2. Iteratsiya usuli (ketma-ket yaqinlashish), qachonki qidirilayotgan qiymatga ko'p tadbirlar natijasida ya'ni asta-sekin hiyla taxminiydan juda aniq javoblarga kelish. Birinchi yaqinlashish 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  $R(\text{Om})$ , reaktiv qarshilik  $X(\text{Om})$ , aktiv o'tkazuvchanlik  $G(\text{Sm})$ , reaktiv o'tkazuvchanlik  $V(\text{Sm})$  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  $\text{Om}$  qarshilik

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

Bu yerda  $\ell$  -simning uzunligi,  $\gamma$  -solishtirma o'tkazuvchanlik, alyuminiy metalli uchun taxminan ko'rsatilishicha  $\gamma_0 = 32 \cdot 10^6 \text{ Sm/m}$ , mis uchun  $\gamma_{\text{m}} = 53 \cdot 10^6 \text{ Sm/m}$ ,  $F$  –simning ko'ndalang kesim yuzasi,  $\text{mm}^2$ .

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  $R_{om}$  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  $500 \text{ mm}^2$  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  $R = R_{om}$  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

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

Bu yerda  $L$  – induktivlik,  $G_n$ ;  $f$  -chastota,  $H_z$ ;  $D_{O'R}$  - faza simlari orasidagi o'rtacha geometrik masofa  $m$ ;  $r$ -simning radiusi  $D_{O'R}$  va ning qiymati bir xil o'lchamda bo'lishi kerak,  $\mu$  - magnit singdruvchanlik.

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

$$M_x = M_a = M_M \approx 0,4\pi \cdot 10^{-6} = 1,25 \cdot 10^{-6} \Gamma_H / M \quad (3.3.4)$$

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

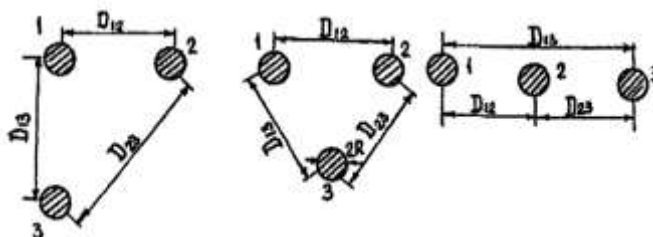
$$x_o = 0,144\ell g\left(\frac{D_{o'r}}{r}\right) + 0.016 \quad (3.3.5)$$

$D_{O'R}$  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

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

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),

$$D_{O'R} = D_{12} = D_{23} = D_{13} = D$$



a)

b)

v)

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

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

$$D_{VP} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}} = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = D\sqrt[3]{2}$$

EUL induktiv qarshiligini ikki qarshilikning yig'indisi, ya'ni  $x_0^I$ -tashqi qarshilikning va  $x_0^{II}$ -ichki qarshilikning yig'indisi deb tasavvur qilish mumkin:

$$x_0 = x_0^I + x_0^{II} \quad (3.3.7)$$

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  $x_2^I$  ham nisbatan katta, qiymati 0,4 Om/km atrofida bo'ladi.

$$x_0^I = 0.144 \ell g \frac{D_{o'r}}{r} \quad (3.3.8)$$

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

$$x_0^{II} = 12500 \mu \quad (3.3.9)$$

Rangli metallardan tayyorlangan simlar uchun  $x_0^{II} = 0,016 \frac{Om}{\kappa m}$ , bu  $x_0^I$  ga nisbatan ancha kichik. Shuning uchun  $x_0^{II}$  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:

$$R_{\kappa ab} \gg X_{\kappa ab}$$

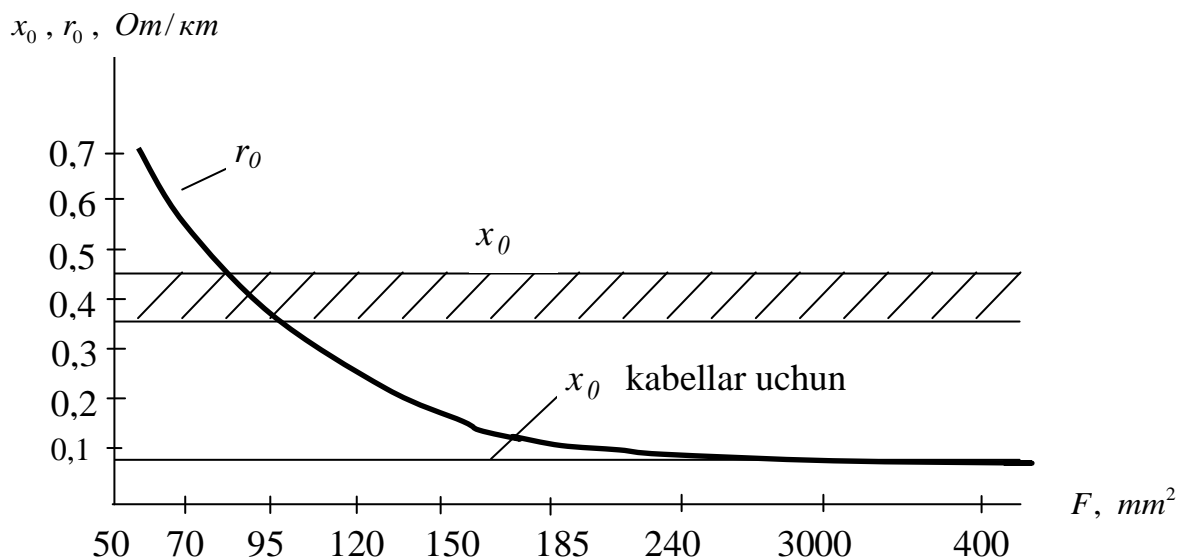
(3.3.3) dan ko'rinadiki, induktiv qarshilik X ni va shu tufayli reaktiv quvvat isrofini ( $\Delta Q = 3I^2 X$ ) kamaytirish uchun masofa  $D_{O'R}$  ni kamaytirish yoki radius r ni kattalashtirish kerak.  $D_{O'R}$  ni qiymati liniyaning kuchlanishiga bog'liq, uni kamaytirish havoni teshilish xavfini 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.

$D_{O\cdot R}$ ,  $r$  ni qiymati logarifm belgisi ostiga kiradi,  $x_0^{II}$  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,  $150 \text{ mm}^2$  li faza simini uchta simga bo'lganimizdan keyin, bu fazada bir sim emas, balki har birining kesim yuzasi  $50 \text{ mm}^2$  dan bo'lgan, 3 ta sim bo'ladi. yoki, kesim yuzasi  $300 \text{ mm}^2$  edi, ikkiga bo'lingandan keyin fazada ikkita  $150 \text{ mm}^2$  dan iborat sim hosil bo'ladi.



**3.3.2-rasm. Po'lat-alyumini 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  $a_1, a_2, a_3$  ( $a=300-600$  mm) bo'lgan  $n$  sim bilan almashtirsak, unda qandaydir ekvivalent radius hosil bo'ladi

$$r_{ekv} = \sqrt[n]{a_{o'r}^{n-1} \cdot r_x} \quad (3.3.10)$$

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

$$a_{o'r} = \sqrt[n]{\prod_i a_i} \quad (3.3.11)$$

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

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

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 kattalashtirilgandek, 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, uchtada – 28%, to'rttada – 32% ga va hokazo.

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

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{o'r}}{r_{ekv}} + 0,016 / n \quad (3.3.12)$$

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

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 dielektrlarda 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.

$$U_{TOJ} = U_{ISH} \cdot E_0 / E \quad (3.3.14)$$

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  $Q=273^0K$  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.

$$E = 0.355U_{ISH} / (r \ell g(D_{o,r} / r)) \quad (3.3.16)$$

Fazalari bo‘lingan EUL uchun bunday ifodadan topiladi.

$$E = 0,355U_{ISH} / (nr \ell g(D_{o,r} / r_{ekv})) \quad (3.3.17)$$

Bunda logarifm oldidagi  $r$  santimetrda 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  $70\text{mm}^2$ , 220 kV uchun  $240\text{mm}^2$  va h.k.

Tojlanishda bo‘lgan energiya isrofi EUL ni haqiqiy kuchlanishiga 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 $\Delta P_{toj}$ , kVt/km	10.4	11.36	13.75	15.7	18

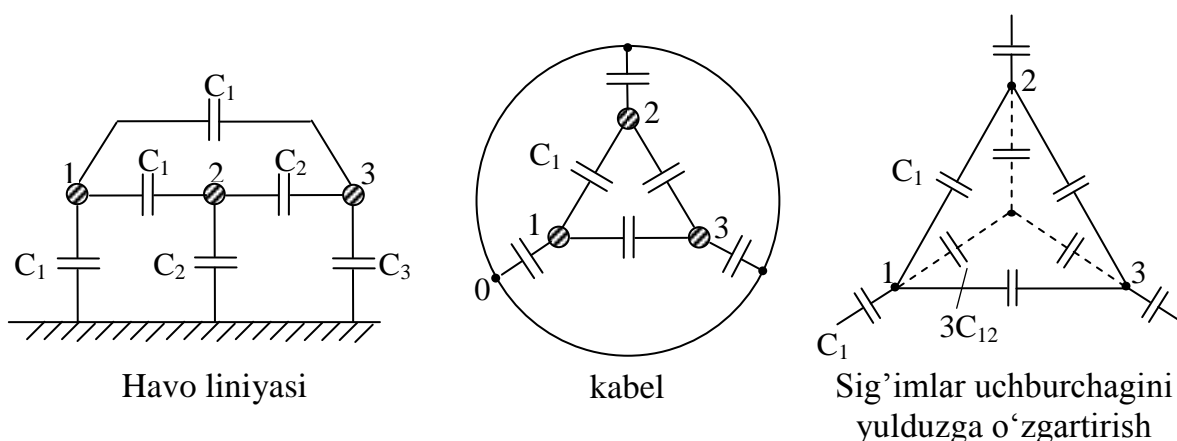
Keltirilgan qiymatlardan ko‘rinadiki, kuchlanish 5% ga oshsa, tojlanishga bo‘lgan energiya isrofi taxminan 31% ga oshadi. Kuchlanish 5% ga kamaysa energiya isrofi 750 kV nominal kuchlanishga nisbatan 24% ga kamayadi. Shunday qilib, yomon ob-havoda yuqori kuchlanishli EUL larida tojlanishga bo‘lgan energiya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

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

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‘imlari**

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 liniyalari 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.

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

Bu yerda  $D_{O,R}$  ayrim faza simlari orasidagi o‘rtacha masofa,  $r$ -simning radiusi.

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

$$C_0 = 0,024\xi 10^6 / \lg(D_{o,r} / r_{ekv}) \quad (3.3.21)$$

Bunda  $\xi$  -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‘imining 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.

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

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  $b_o$  quyidagicha topiladi.

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

faza simlari bo'lingan HL uchun.

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

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

$\ell$  - km uzunlikdagi EUL sig'im o'tkazuvchanligi

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

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

$$I_Z = B_\tau \cdot U_F \quad (3.3.26)$$

Bunda  $U_F$  – faza kuchlanishi

Zaryad quvvati

$$Q_3 = \sqrt{3}UI_3 = B_\wedge \cdot U^2 \quad (3.3.27)$$

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  $\mu$  juda katta va o‘zgaruvchan qiymatga egadir. Uning qiymati ichki magnit oqimi I tokka va magnit singdiruvchanlik  $\mu$  ga bog‘liq bo‘ladi. O‘z navbatida  $\mu$ , 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  $x_o^{II}$  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]

$$\underline{Z}_n = R + jX = \underline{Z}_n \exp(j\phi_{zn}) \quad (3.3.28)$$

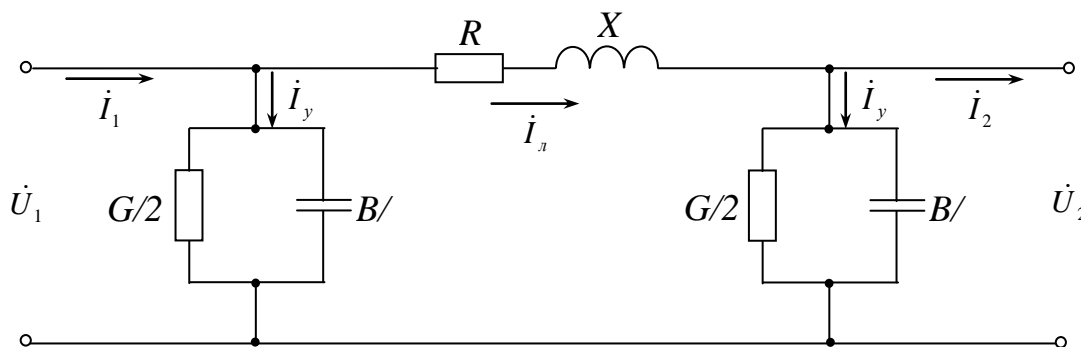
Bunda

$$\underline{Z}_n = \sqrt{R^2 + X^2}; \phi_{zn} = \arctg(X/R) \quad (3.3.29)$$

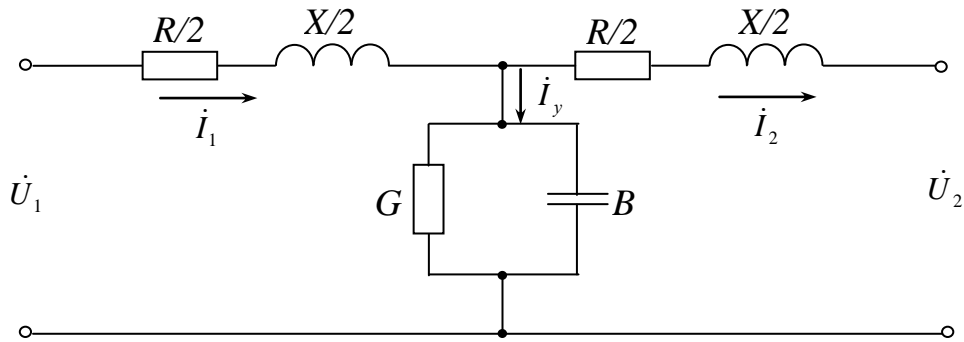
EUL ning to‘liq o‘tkazuvchanligi [Om]

$$\underline{Y}_n = G - jB = Y_n \Delta \exp(j\psi_{yn}) \quad (3.3.30)$$

$$\underline{Y}_n = \sqrt{G^2 + B^2}; \psi_{yn} = \arctg(B/G) \quad (3.3.31)$$

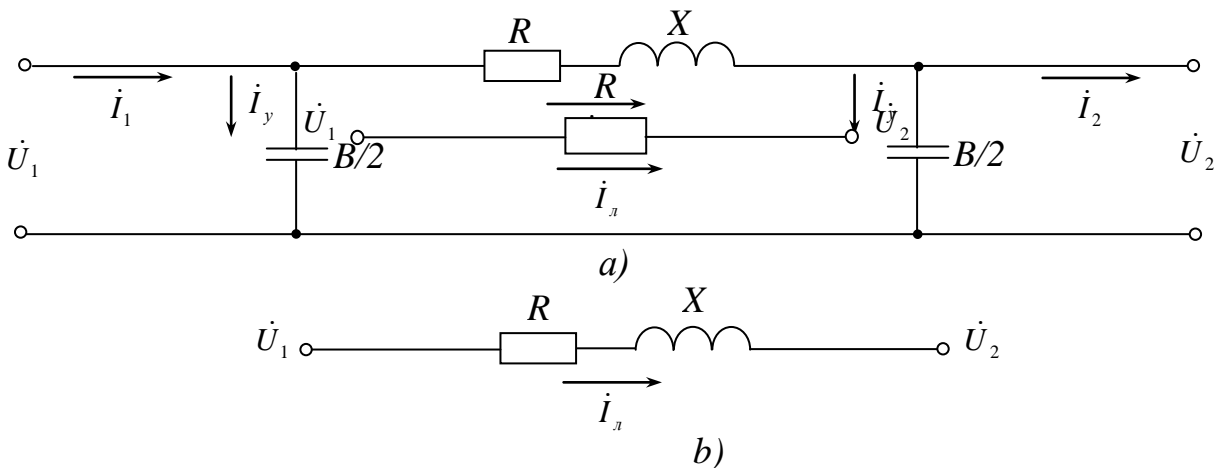


a) «Π» ko‘rinishli



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:

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

Liniyaning aktiv qarshiligi:

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

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:

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

Liniyaning induktiv qarshiligi:

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

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

$$U_{kr} = 48,9 m_0 m_n \delta r_c \lg \frac{D_{o'r}^2}{r_s} = 48,9 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,675 \lg \frac{504^2}{0,675} = 76,5 \text{ kV}$$

Simlarning gorizonta joylashishida o'rtadagi simning kritik kuchlanishi:

$$U_{kr1} = 0,96 U_{kr} = 0,96 \cdot 76,5 = 73,4 \text{ kV}$$

Chetdagi simlarda:

$$U_{kr2} = 1,06 U_{kr} = 1,06 \cdot 76,5 = 81,09 \text{ kV}$$

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

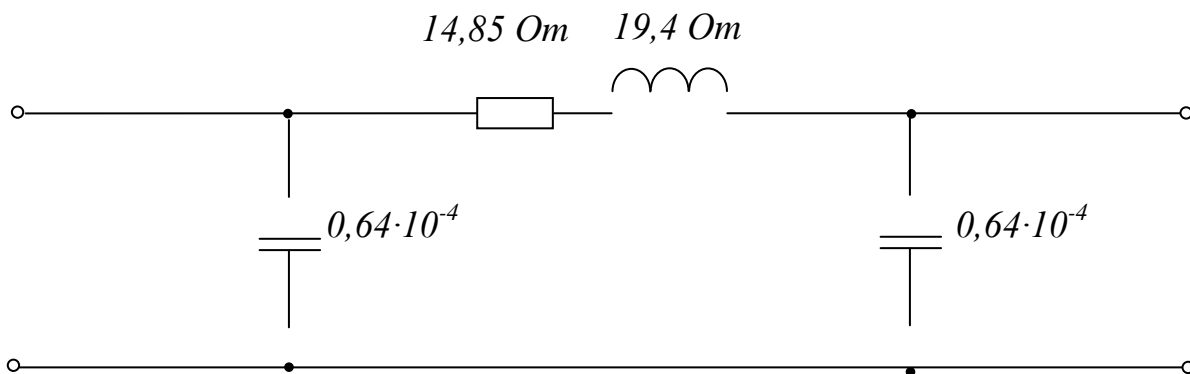
Liniyaning eng katta faza kuchlanishi kritik kuchlanishdan kichik, shuning uchun liniyaning butun uzunligi davomida tojlanish bo‘lmaydi. Hisoblarsiz bunday xulosaga kelish mumkin, agar 1-ilovadagi 3-jadvaldan foydalansak, unda tojlanishdagi quvvat isrofi bo‘lmaydigan simning eng kichik diametri ko‘rsatilgan.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

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

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

Liniyaning sig‘im o‘tkazuvchanligi:

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



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:

$$D_{o'r} = 1,26 \cdot D = 1,26 \cdot 10 = 12,6 \text{ m}$$

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

1 km uzunlikdagi simning induktiv qarshiligini aniqlaymiz:

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

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

$$b_o = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{D_{o'r}}{r_s}} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{12600}{16,6}} = 2,63 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$$

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

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

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

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

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

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.

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

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,  $2r_s=17,5$  mm da yaxshi ob-havo-da  $b=1$ ,  $m_s=1$  va kritik faza kuchlanishi.

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

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

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

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 ( $d_s=17,5$ mm) 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:

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

Liniya generatsiya qiladigan reaktiv quvvat:

$$Q_c = U^2 \cdot b_o \cdot l \cdot 10^3 = 220^2 \cdot 2,61 \cdot 10^{-6} \cdot 130 \cdot 10^3 = 16422 \text{ kVAr} = 16,4 \text{ MVar}$$

### 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 podstansiyasidan 6 kV kuchlanishda sexga ACБ-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  $z_l=15,51$  Om. Agar  $D_{o,r}=5$ 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  $50 \text{ mm}^2$  kesim yuzali kabeldan tayyorlangan, 5 ta taqsimlash punkitidan ketayotgan 40 m uzunlikdagi bir fazali liniyalar  $6 \text{ mm}^2$  kesim yuzali simdan tayyorlangan. Faza va nol sim orasidagi masofa 200 mm. Almashtirish sxemasi parametrlarini aniqlang.

### 3.4. Ikki va uch chulgʻamli transformatorlarning parametrlari

#### va almashtiruv sxemasi

Elektr uzatishning koʻpgina hisoblarida quvvat va kuchlanish liniyalarning oxirida berilmay, balki elektr stansiyalarining generatorida, taʼminlovchi podstansiyalarning yuqori kuchlanishli shinalarida yoki pasaytiruvchi podstansiyalarning past va oʻrta kuchlanishli shinalarida ham beriladi.

Bu hollarda hisoblanayotgan elektr energiyani uzatish kanaliga liniyaning ikkala tomoniga qoʻyilgan transformatorlar yoki qabul qiluvchi podstansiyaning transformatori kiradi. Transformatorlar oʻzining qarshiliklari va oʻtkazuvchanliklariga ega, shuning uchun elektr uzatish hisoblarida bu parametrlarni ham eʼtiborga olish kerak: ularning qiymati transformatorning nominal quvvatiga va chulgʻamlarining kuchlanishiga bogʻliq.

Transformator va avtotransformatorlarda reaktiv quvvat isrofi ayniqsa kattadir. Ular elektr energiyani uzatishda sezilarli darajada kuchlanish yoʻqotilishini yuzaga keltiradi va buni albatta hisobga olish kerak boʻladi. Transformatorlar orqali elektr energiyani uzatish hisoblari qarshiliklarni, kuchlanishni, liniya va transformatorlarning toklarini muvofiqlashtirilgan bir kuchlanishga keltirib amalga oshiriladi. Bunda quvvat oʻzgarmas boʻlib, magnit aloqalar shartli ravishda elektr aloqalar bilan almashtiriladi (quvvat keltirilmaydi). Umuman olganda, parametrlar qaysi kuchlanishga keltirilmasin yuqori kuchlanish ( $U_{yu}$ ) oʻrta kuchlanish ( $U_o$ ), yoki transformatorning past kuchlanish ( $U_p$ ) chulgʻamlarigami, uning farqi yoʻq. Koʻpincha, keltirilish yuqori kuchlanish  $U_{yu}$ da amalga oshiriladi. Masalan, transformatsiya koeffitsiyenti  $K_q U_{yu} G U_p$  desak, unda past tomondagi barcha uzatish elementlarini kuchlanishning yuqori tomonga keltirilishi quyidagicha boʻladi:

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

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 toʻrtta 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  $R_Q$  (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.

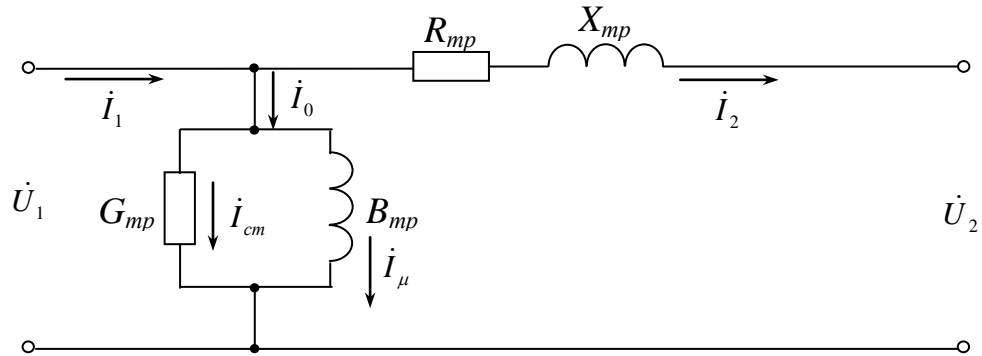
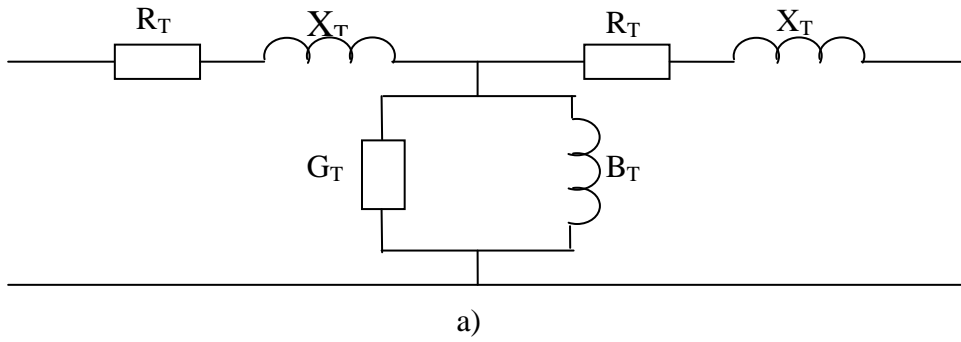
Salt yurish toki  $I_{syu}\%$  deb, nominal kuchlanishga ulangan biror chulg'am toki (salt yurish tajribasi), boshqa chulg'amlar ochiq qolgandagi holatida aytiladi. Salt yurish toki transformatorning ishlashi uchun zarur bo'lgan magnitlash quvvatini yuzaga keltiradi.

Biror juft chulg'amning qisqa tutashuv kuchlanishi  $U_{q,t} / \%$  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  $R_{t1}$  va  $X_{t1}$  ikkilamchi chulg'amniki esa  $R_{t2}$ ,  $X_{t2}$  va  $G_t$ ,  $V_t$  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  $U_H$ -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,  $S_H$  ni mVA da va  $R_{qt}$  ni kVt orqali ifodalasak,  $R_t$  ni Omda olamiz:

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

Transformator chulgʻami asosiy shoxobchasidan ishlash uchun boshqa bir shoxobchasiga oʻtkazilsa, chulgʻamning aktiv qarshiligi juda kam miqdorda oʻzgaradi. Shuning uchun uni oʻzgarmas deb faraz qilish mumkin.<sup>6</sup>

**Induktiv qarshilik.**  $X_t$  qisqa tutashuv tajribasidan  $U_q/\%/$  topiladi. Qisqa tutashuv holatida, oqayotgan tokdan hosil boʻlgan aktiv va induktiv qarshiliklardagi kuchlanishni pasayishi  $U_a/\%/$  va  $U_p/\%/$  quyidagicha ifodalanadi.

$$u_a = 100\sqrt{3}R_T I_n / U_n = 100 \Delta P_{Q.T} / S_N$$

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

Qisqa tutashuv uchburchagidan

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

(3.4.4) ga koʻra 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 qoʻllanilayotgan katta quvvatli transformatorlarda  $u_a$  ni qiymati  $u_p$  ga nisbatan juda kichik, shu sababli hisobga olinmaydi va  $u_k = u_p$  qabul qilinadi. Unda (3.4.5) quyidagi koʻrinishni egallaydi.

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

Bunda  $u_k\%$  da,  $S_N$ -mVA da,  $U_N$ -kV,  $X_T$  – Om da oʻlchanadi.

Kabel liniyalarda va oʻrta kuchlanishli havo liniyalarida aktiv qarshilik induktiv qarshilikka nisbatan katta boʻlsa, aksincha, hamma katta quvvatli transformator va avtotransformatorlarda induktiv qarshilik aktiv qarshilikdan koʻp marta kattadir.

$$X_T \gg R_T$$

YuHR (yuklangan holda rostlanuvchi) transformatorlarning induktiv qarshiligi transformatorning asosiy shoxobchasidan boshqasiga oʻtkazilganda aktiv qarshilik  $R_T$ ga nisbatan ancha koʻp oʻzgaradi. Bu holatni tarmoqlarga tegishli elektr

<sup>6</sup> Steven W.Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007, 260 p.

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

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

bo'lsa, unda aktiv o'tkazuvchanlik

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

$\Delta P_{s.yu}$  kvt da, UN-kV da bo'lsa, unda GT aniqlanadi.

$$G_T = \frac{\Delta P_{s.yu}}{10^3 \cdot U_N^2}, \quad C_m \quad (3.4.8a)$$

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

$$\Delta Q_{s.yu} = \frac{I_{s.yu} \% \cdot S_N}{100}, \quad (3.4.9)$$

Bu yerda  $I_{syu}\%$ -nominal tokka nisbatan salt yurish tokining qiymati, %,

Ikkinchi tomondan magnitlash quvvati

$$\Delta Q_{s.yu} = U_N^2 \cdot B_T, \quad (3.4.10)$$

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

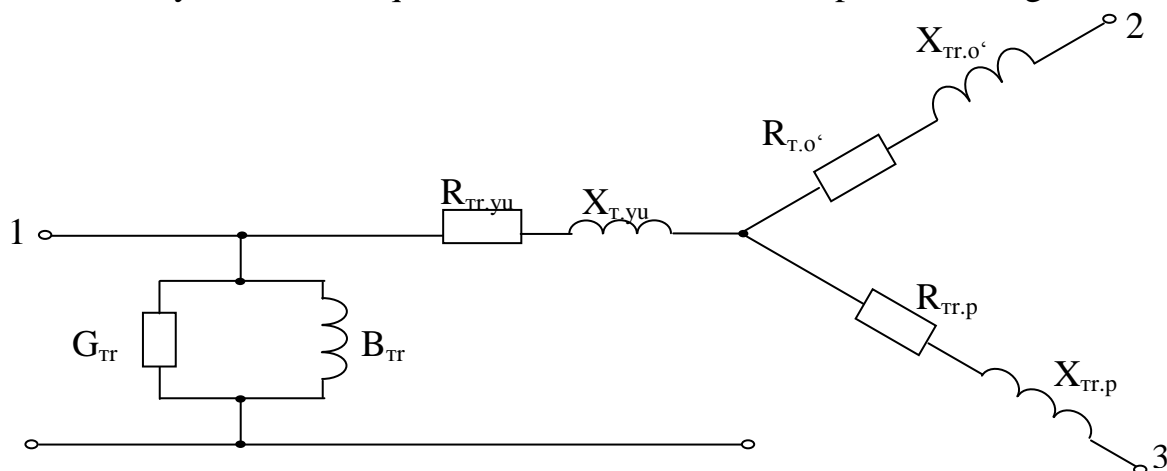
$$B_T = \frac{I_{s.yu} \% \cdot S_N}{U_N^2 \cdot 10} \quad (3.4.11)$$

Agarda  $S_H$ - kVA da,  $U_H$  – kV da bo'lsa, unda

$$B_T = \frac{I_{s.yu} \% \cdot S_N}{U_N^2 \cdot 10^3}$$

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  $R_{TYu}$ ,  $R_{To'}$ ,  $R_{TP}$ ,  $X_{TYu}$ ,  $X_{TU}$ ,  $X_{TP}$  lar YuK, O‘K, 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‘amarining eng katta quvvatiga teng quvvat qabul qiliniladi.

Hozirgi vaqtda ishlab 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.

$$R_T \quad R_{TYu} \quad R_{TU}^1 \quad R_{TP}^1 \quad \frac{R_{T.umum}}{2}, \quad (3.4.12)$$

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 O‘K yoki YuK va PK orqali oqib, uchinchi PK yoki O‘K ga tegishli chulg‘am ochiq qolganda sodir bo‘ladi. Bu holatda (bir faza uchun):

$$\Delta P_{kf2} = I^2 R_{TYu} + I^2 R_{TU}^1 = I^2 R_{TYu} + I^2 R_{TP}^1 = 2I^2 R_T, \quad (3.4.13)$$

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

$$\Delta P_{kf3} = I R_{TYu} (0,5I)^2 R_{TP}^1 + (0,5I)^2 R_{TU}^1 = 1,5I^2 R_T,$$

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

$$R_{TYu} = R_{TO}^1 = R_{TP}^1 = \frac{R_{TUMUM}}{2} = \frac{\Delta P_{km} \cdot U_N^2}{2S_N^2 \cdot 10^3}, \quad (3.4.14)$$

**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:

$$\begin{aligned}
u_{KYu} &= 0,5 (u_{K(Yu-O')} + u_{K(Yu-P)} - u_{K(O'-P)}) \\
u_{Ko'} &= 0,5 (u_{K(Yu-O')} + u_{K(O'-P)} - u_{K(Yu-P)}) \\
u_{KP} &= 0,5 (u_{K(O'-P)} + u_{K(Yu-P)} - u_{K(Yu-O')})
\end{aligned}
\tag{3.4.16}$$

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

$$\begin{aligned}
X_{TYu} &= u_{K.Yu} \cdot u_N^2 / (100Sn)^\infty \\
X_{TU} &= u_{KU} \cdot u_N^2 / (100Sn) \\
X_{TP} &= u_{KP} \cdot u_N^2 / (100Sn)
\end{aligned}
\tag{3.4.17}$$

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.

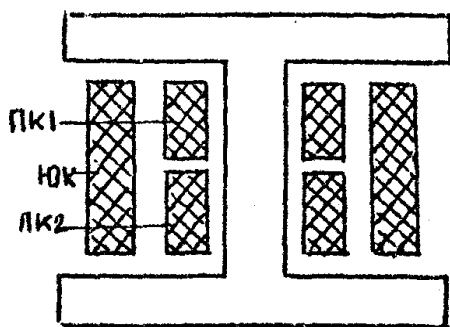
Uch chulg'amli transformatorlarning o'tkazuvchanligi ikki chulg'amli transformatorlar kabi (3.4.8) va (3.4.11) dan topiladi.

### **Nazorat savollari:**

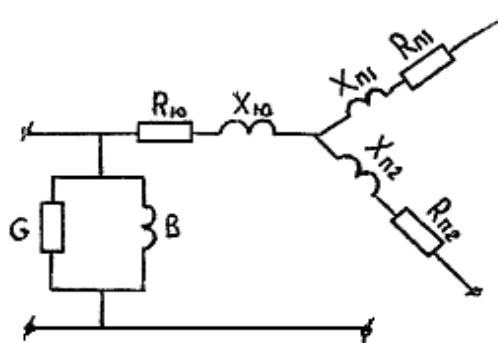
1. Havo liniyalari, kabellar, transformatorlarda qaysi qarshilik, aktiv va reaktiv qarshilik katta?
2. Transformatorlarda qaysi quvvat isrofi yuklamaga bog'liq, qaysinisi bog'liq emas? Bular nima bilan bog'langan?
3. Transformatorlarni aktiv va induktiv qarshiliklari va o'tkazuvchanliklari ularning nominal 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. Chulgʻamlari boʻlingan transformatorlar

Biror transformatorga ikki va undan koʻp generatorlarni, yoki bir-biriga bogʻlanmagan bir xil yoki har xil (qoʻshni klass) kuchlanishli yuklamalarni ulash imkoniyati boʻlishi uchun pasaytiruvchi podstansiyalarining hozirgi zamon yuqori kuchlanishli transformatorlarini past kuchlanishli chulgʻamlari ikki (yoki undan koʻp) shoxobchaga boʻlingan holda tayyorlanadi. Chulgʻamlari boʻlingan transformator-



3.5.1-rasm. Ikki chulgʻamli, Chulgʻamlari boʻlingan transformator.



3.5.2-rasm. Chulgʻamlari boʻlingan transformatorning almashtiruv sxemasi.

larning (3.5.1-rasm) almashtiruv sxemasi uch nurli yulduz koʻrinishiga ega boʻlib (3.5.2-rasm) unda  $R_{P1}$ ,  $R_{P2}$ ,  $X_{P1}$ ,  $X_{P2}$ -PKli boʻlingan chulgʻamning birlamchi keltirilgan aktiv va induktiv qarshiliklaridir. Uch fazali transformatorlarda boʻlingan chulgʻam shoxobchalari har bir fazada magnet oʻzagini bir tomonida (3.5.1-rasm) bir-birining ustiga joylashadi. Shunday qilib, shoxobchalar boshqa asosiy chulgʻamga nisbatan bir xil induktiv qarshilikka egadir va bularning aktiv qarshiligi ham bir-biriga tengdir. Amaliy hisoblarni yetarli aniqlik bilan bunday transformatorni umumiy YuK chulgʻam tarafdin taʼminlangan bir-biriga bogʻliq boʻlmagan ikki transformator deb faraz qilish mumkin.

Har bir PK chulgʻamning quvvati YuK chulgʻami quvvatining yarmiga, yaʼni transformator nominal quvvatining yarmiga tengdir. Shunday qilib, qarshiliklar esa:

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

Chulgʻamlari boʻlingan transformatorni past chulgʻamini parallel ulasak, u oddiy ikki chulgʻamli transformator kabi ishlaydi.

Bunda Yukni chiqish joyidagi va  $PK_1$ ,  $PK_2$  ning umumiy chiqish joyi orasidagi nominal quvvatga keltirilgan qarshilik  $R_{UMUM}$ ,  $X_{UMUM}$ ga teng boʻladi.

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

(3.5.2) ni hisobga olganda

$$R_{Yu} = 0,5R_{UMUM}$$

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 koeffitsiyenti 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 shinasini 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.

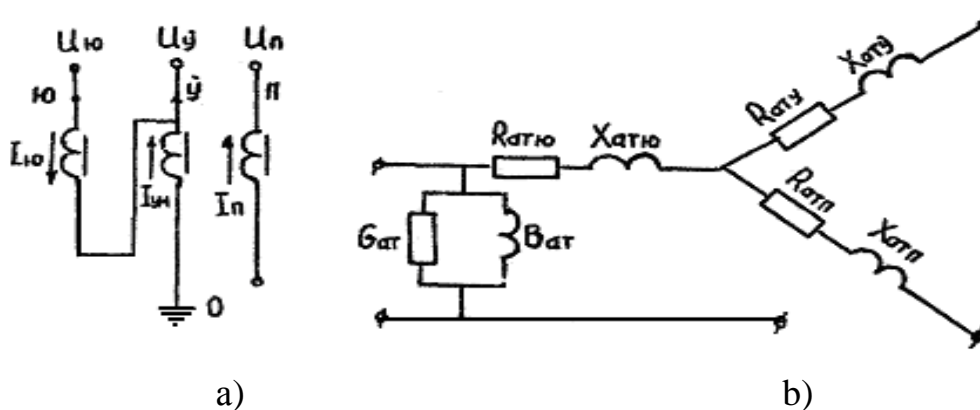
### **Nazorat savollari:**

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



### 3.6. Avtotransformatrlarning parametrlari

Avtotransformator (3.6.1-rasm) deb shunday transformator aytiladiki, unda oʻrta kuchlanish chulgʻami (OʻK) yuqori kuchlanish chulgʻami (YuK) ning bir qismini tashkil qiladi.



3.6.1-rasm

**a-Avtotransformator chulgʻamlarining ulanishi,  
b-Avtotransformatrlarning almashtirish sxemasi.**

Shunday qilib, yuqori kuchlanishli chulgʻami ikki qismdan –Yu va Oʻ orasidagi faqat yuqori kuchlanish toki  $I_{yu}$  oqadigan ketma-ket chulgʻamdan va Oʻ va O orasidagi qarama-qarshi tomonga yuqori va oʻrta kuchlanish toklari, yaʼni ularning ayirmasi oqadigan umumiy chulgʻamdan iboratdir.

$$I_{UMUM} = I_u - I_{yu} \quad (3.6.1)$$

Hamma 220, 330, 500 kV li avtotransformatrlarda oʻrta kuchlanish chulgʻami OʻK yuqori kuchlanish chulgʻami YuK va past kuchlanish chulgʻami PK orasida joylashgan holda boʻlib, yuqori va oʻrta kuchlanish chulgʻamlarining uchta fazasi O nuqtasida yulduzga yigʻilgan boʻlib, bu ikkala kuchlanish uchun umumiy yerga bevosita ulangan nol nuqtani tashkil etadi. Past kuchlanish chulgʻami boshqa chulgʻamlar bilan magnit aloqaga ega.<sup>7</sup>

Agar har bir YuK va OʻK chulgʻamlar quvvatini 100% deb qabul qilsak, PK chulgʻamini quvvati 20-50% ni tashkil etadi.

<sup>7</sup> Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley & Sons, INC Publication, 2007, 260 p.

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.

Avtotransformatorlar 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:

$$S_N = \sqrt{3}U_{yu} \cdot I_{yu} = \sqrt{3}U_u \cdot I_u \quad (3.6.2)$$

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.

$$S_{and} = \sqrt{3}I_{um} \cdot U_u = \sqrt{3}U_u (I_u - I_{yu}) = \sqrt{3}I_{yu} (U_{yu} - U_u) \quad (3.6.3)$$

unda (3.6.2) va (3.6.3) dan

$$\frac{S_{and}}{S_N} = \frac{\sqrt{3}I_{yu} (U_{yu} - U_u)}{\sqrt{3}U_{yu} - I_{yu}} = \frac{U_{yu} - U_u}{U_{yu}} \quad (3.6.4)$$

ya’ni

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

Bunda  $K=U_{Yu}/U$ / 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 avtotransformatorlar 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  $S_{and}$  orasida munosabat transformatsiya koeffitsiyenti  $K$  ga bog‘liq.

$K$  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 chulgʻamli transformatorlarda boʻlganidek, butun transformator uchun berilmay, balki har bir juft chulgʻam uchun beriladi, yaʼni

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

Uch chulgʻamli transformatorning almashtiruv sxemasidan yulduz nurlarining aktiv qarshiliklari  $P_{ATYu}$ ,  $P_{ATO'}$  va  $P_{ATP}$  zarur aniqlikda topish uchun quyidagi ifodalardan foydalaniladi:

$$\begin{aligned} \Delta P_{kyu} &= 0,5(\Delta P_{\kappa(yu-u)} + \Delta P_{\kappa(yu-n)} - \Delta P_{\kappa(u-p)}) \\ \Delta P_{ku} &= 0,5(\Delta P_{\kappa(yu-u)} + \Delta P_{\kappa(u-p)} - \Delta P_{\kappa(yu-p)}) \\ \Delta P_{kp} &= 0,5(\Delta P_{\kappa(yu-p)} + \Delta P_{\kappa(u-p)} - \Delta P_{\kappa(yu-y)}) \end{aligned} \quad (3.6.6)$$

unda

$$\begin{aligned} R_{atyu} &= \Delta P_{kyu} \cdot U_N^2 / S_N^2 \cdot 10^3 \\ R_{atu} &= \Delta P_{ku} \cdot U_N^2 / S_N^2 \cdot 10^3 \\ R_{atp} &= \Delta P_{kp} \cdot U_p^2 / S_p^2 \cdot 10^3 \end{aligned} \quad (3.6.7)$$

Uch chulgʻamli transformatorlardagi kabi aktiv qarshilik  $R_{AT}$ , ham chulgʻamning quvvatiga bogʻliq.

**Induktiv qarshilik  $X_{AT}$ .** Bu qarshilik uch chulgʻamli transformatorlardagi kabi (3.4.16) va (3.4.17) ifodalar orqali topiladi.

Avtotransformatorlarning oʻtkazuvchanligi ikki chulgʻamli transformatorlarga oʻxshab, (3.4.8) va (3.4.11) ifodalar orqali topiladi.

**Nominal quvvatga keltirib qayta hisoblash.** Shunday qilib past kuchlanish chulgʻami OʻK va YuK chulgʻamlari bilan magnitli bogʻlanganligi sababli zavod tomonidan qisqa tutashuv quvvat isrofi  $\Delta P_{\kappa(yu-p)}$  va  $\Delta P_{\kappa(u-p)}$  ni qiymati andazali quvvat uchun beriladi. Koʻpincha bu qiymatni  $S_{nom}$  ga keltirib qayta hisoblashga toʻgʻri keladi va quvvat isrofi quvvatning kvadratiga proporsional boʻlgani tufayli  $S_N^2 / S_{and}^2$  nisbatdan foydalaniladi.

$$\Delta P^1_{\kappa(yu-u)} = \Delta P_{\kappa(yu-u)}$$

$$\Delta P^1_{\kappa(yu-p)} = \Delta P_{\kappa(yu-p)} \cdot (S_N / S_{and})^2 \quad (3.6.8)$$

$$\Delta P^1_{\kappa(u-p)} = \Delta P_{\kappa(u-p)} \cdot (S_N / S_{and})^2$$

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.

$$U^1_{\kappa(yu-u)} = U_{\kappa(yu-u)}$$

$$U^1_{\kappa(yu-p)} = U_{\kappa(yu-p)} \cdot (S_H / S_{and}) \quad (3.6.9)$$

$$U^1_{\kappa(u-p)} = U_{\kappa(u-p)} \cdot (S_N / S_{and})$$

### **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 chulgʻamli ТРДС-80000/220 transformatori almashtiruv sxemasi parametrlarini aniqlang.

Yechish. 2-ilovadagi 4-jadvaldan transformator uchun texnik maʼlumotlarni yozib olamiz.

$$S_{nt}=80000 \text{ kVA}, \quad U_n=242 \text{ kV}, \quad P_{syu}=105 \text{ kW}, \\ \Delta P_{qt}=320 \text{ kW}, \quad I_{syu}=0,6\%, \quad U_{qt}=11\%.$$

Chulgʻamlarning aktiv qarshiligi:

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

Chulgʻamlarning induktiv qarshiligi:

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

Transformatorning aktiv oʻtkazuvchanligi:

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

Transformatorning reaktiv oʻtkazuvchanligi:

$$B_t = \frac{\Delta Q_{\mu}}{U_n^2 \cdot 10^3} = \frac{I_{syu} \% S_n}{U_n^2 \cdot 10^3 \cdot 100} = \frac{0,6 \cdot 80000}{242^2 \cdot 10^5} = 7,58 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}$$

**2-masala.** Uch fazali uch chulgʻamli ТДЦН-63000/220 transformatori uch nurli almashtiruv sxemasining yuqori kuchlanishga keltirilgan parametrlarini aniqlang.

Yechish. 2-ilovadagi 4-jadvaldan texnik maʼlumotlarni yozib olamiz.

$$S_{nt}=63000 \text{ kVA}, \quad U_n=230 \text{ kV}, \quad P_{s.yu.}=91 \text{ kW}, \quad \Delta P_{qt}=320 \text{ kW}, \\ I_{syu}=1,0 \%, \quad U_{qt1-2}=11\%, \quad U_{qt1-3}=12,5\%, \quad U_{qt2-3}=10,5\%.$$

Chulgʻam quvvatlari orasidagi bogʻlanish 100/100/100.

Qisqa tutashuv quvvat isrofi  $\Delta P_{qt}$  qisqa tutashuv tajribasida ikkita chulgʻam ishtirok etgan holat uchun berilgan. Umumiy aktiv qarshilik qiymatini aniqlaymiz:

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

Chulgʻamlarning aktiv qarshiliklarini aniqlaymiz:

$$R_{T1} = R_{T2} = R_{T3} = 0,5R_{Tumum} = 0,5 \cdot 4,26 = 2,13 \text{ Om}$$

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:

$$X_{T1} = \frac{U_{qt1} \cdot U_n^2 \cdot 10^3}{S_n} = \frac{13 \cdot 242^2 \cdot 10^3}{63000} = 120,84 \text{ Om}$$

$$X_{T2} = \frac{U_{qt2} \cdot U_n^2 \cdot 10^3}{S_n} = \frac{11 \cdot 242^2 \cdot 10^3}{63000} = 102,25 \text{ Om}$$

$$X_{T3} = \frac{U_{qt3} \cdot U_n^2 \cdot 10^3}{S_n} = 0$$

Hisoblardan koʻrinadiki, katta quvvatli transformatorlarda aktiv qarshilik induktiv qarshilikka nisbatan ancha kichik boʻlganligi sababli hisobga olinmasa ham boʻladi.

Transformatorning aktiv oʻtkazuvchanligi:

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

Reaktiv quvvatni aniqlaymiz:

$$Q_\mu = \frac{I_{syu} \cdot S_n}{100} = \frac{1,1 \cdot 63000}{100} = 693 \text{ kVAr}$$

Transformatorning reaktiv oʻtkazuvchanligi:

$$B_T = \frac{\Delta Q_\mu}{U_n^2 \cdot 10^3} = \frac{693}{242^2 \cdot 10^3} = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ Sm}$$

**3-masala.** Birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlari nominal kuchlanishga keltirilgan TM-630/10 transformatorning almashtirish sxemasi parametrlarini aniqlang.

Yechish. 2-ilovadagi 1-jadvaldan transformator uchun maʼlumotlar olamiz.

$$S_{nt}=630 \text{ kVA}; \quad U_{nyu}=10 \text{ kV}; \quad U_{np}=0,4 \text{ kV}; \quad \Delta P_{qt}=8,5 \text{ kW};$$

$$\Delta P_{syu}=1,65 \text{ kW}; \quad \Delta U_{qt}=5,5\%; \quad I_{s,yu}=3\%$$

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  $r_t$  va  $r_t^p$  larni aniqlaymiz. Yuqori kuchlanishga keltirilgan  $r_t$  ni hisoblashda  $U_{yu.nom}=10 \text{ kV}$  ni, past kuchlanish tomoniga keltirilgan  $r_{tp}$  ni hisoblashda  $U_{p.nom}=0,4 \text{ kV}$  qiymatlarni qo'yamiz.

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

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

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:

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

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

Bu qiymatdan  $X_{tyu}$  va  $X_{tp}$  ni topamiz:

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

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

Magnitlashning aktiv o'tkazuvchanligini aniqlaymiz:

$$G_{tyu} = \frac{\Delta P_{syu}}{U_{yu.nom}^2} = \frac{1,65 \cdot 10^{-3}}{10^2} = 1,65 \cdot 10^{-5} \text{ Sm}$$

$$G_{tp} = \frac{\Delta P_{syu}}{U_{p.nom}^2} = \frac{1,65 \cdot 10^{-3}}{0,4^2} = 1,03 \cdot 10^{-2} \text{ Sm}$$

Magnitlashning reaktiv o'tkazuvchanligini aniqlaymiz:

$$B_{tyu} = \frac{I_{syu} \% S_{nom}}{100 U_{yu.nom}^2} = \frac{3 \cdot 0,63}{100 \cdot 10^2} = 1,89 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}$$

$$B_{tp} = \frac{I_{syu} \% S_{nom}}{100 U_{p.nom}^2} = \frac{3 \cdot 0,63}{100 \cdot 0,4^2} = 0,12 \text{ Sm}$$

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

$$\Delta S_{syu} = \Delta P_{syu} + j \Delta Q_{syu}$$

Reaktiv quvvat isrofini aniqlaymiz:

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

Unda

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

2-ilovadagi 1-jadvaldan to'g'ridan - to'g'ri yuqori kuchlanish tomonga keltirilgan  $r_t$  va  $x_t$  va  $\Delta Q_{syu}$  ni olishimiz mumkin.  $r_t=2,12 \text{ Om}$ ,  $x_t=8,5 \text{ Om}$ ,  $\Delta Q_{syu}=0,0189 \text{ MVAr}$ .

Jadvallar yordamida qiymatlarni aniqlash hisoblashlarni ancha soddalashtiradi.

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

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

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

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

Almashtirish sxemasining bitta transformator parametrlarini aniqlaymiz.

Yuqori kuchlanishga keltirilgan almashtirish sxemasi parametrlarini aniqlashda ifodaga  $U_{n,yu}$  ni qo'yish kerak:

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

$$G_t = \frac{14 \cdot 10^{-3}}{115^2} = 1,66 \cdot 10^{-6} \text{ Sm} \quad \Delta Q_{s.yu} = \frac{10 \cdot 0,7}{100} = 0,07 \text{ MVAr}$$

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



2-ilovadagi 3-jadvaldan ТДН-10000/110 transformatorning parametrlarini to‘g‘ridan - to‘g‘ri olish mumkin.  $r_t=7,95 \text{ Om}$ ,  $x_t=139 \text{ Om}$ ,  $\Delta Q_{syu}=70 \text{ kVAr}$ .

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.

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

$$G_{ek} = 2 \cdot 1,06 \cdot 10^{-6} = 2,12 \cdot 10^{-6} \text{ Sm} \qquad B_{ek} = 2 \cdot 5,29 \cdot 10^{-6} = 10,58 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}$$

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

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

**5-masala.** Uch chulg‘amli ТДНТ-40000/220 transformatorning almashtirish sxemasi yuqori kuchlanish tomonga keltirilgan parametrlarini aniqlang.

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

$$S_n=40 \text{ MVA}, \quad U_{yun}=230 \text{ kV}, \quad U_{o'n}=38,5 \text{ kV}, \quad U_{pn}=11 \text{ kV},$$

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

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

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

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

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

Ko‘rilayotgan transformator uchun:

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

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

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

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

$$r_{t,yu} = r_{t,o'} = r_{t,p} = \frac{110 \cdot 10^{-3} \cdot 230^2}{40^2} = 3,64 \text{ Om}$$

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

$$X_{t.yu} = \frac{U_{q.yu} \cdot U_{yu.nom}^2}{100S_n} = \frac{12,5 \cdot 230^2}{100 \cdot 40} = 165 \text{ Om} \qquad X_{t.o'} = \frac{U_{q.yu} \cdot U_{yu.nom}^2}{100S_n} = 0$$

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

Reaktiv quvvat isrofi:

$$\Delta Q_{syu} = \frac{1,1 \cdot 40}{100} = 0,44 \text{ MVAr}$$

### 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.** ATДCH-32000/220/110/11 transformatorining almashtirish sxemasini tuzing va uning parametrlarini aniqlang.

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

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

**6-misol.** Nominal yuklamada  $\cos\varphi=1$  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, yoqilg'i 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 liniyalarnı yaratishning asosiy qiyinchiliklari past haroratni ushlab turishdir.

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

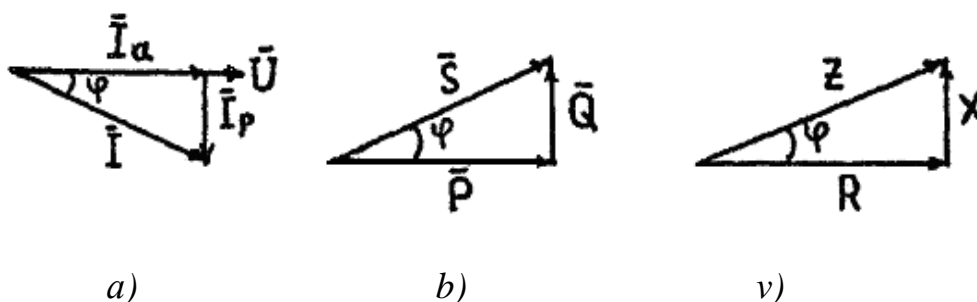
#### 4.1. Liniya va transformatorlarda quvvat isrofi

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

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

tarmoqlari uchun juda ham zarur bo'lgan ifodani olamiz:

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

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

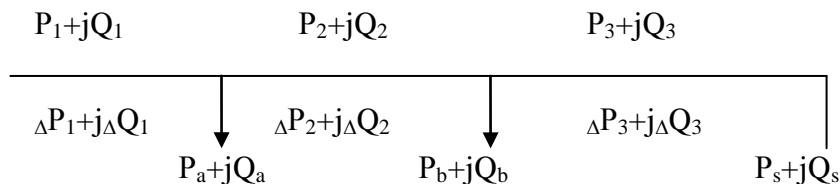
Bu yerda  $S$  4.1.1 b-rasmga asosan to'liq quvvat.

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.

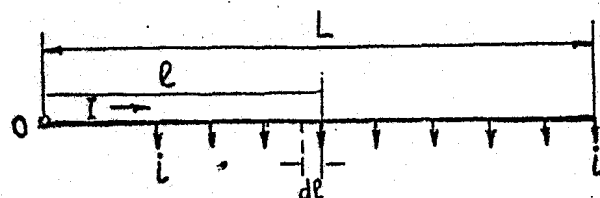
3. Bir necha yuklama bo‘lgan liniyadagi quvvat isrofi har bir uchastkasidagi quvvat isroflarining yig‘indisidan iboratdir.



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

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

Bu yerda  $\Delta P_1$ ,  $\Delta P_2$  va  $\Delta Q_1$ ,  $\Delta Q_2$  – tegishli (4.1.6) va (4.1.7) ifodalari orqali aniqlanadi.



4.1.2 – rasm

4. Yuklama liniyaning uzunligi bo‘yicha bir xil taqsimlanganda quvvat isrofi. Liniyaning butun uzunligida simning kesim yuzasi bir xil deb qabul qilamiz:

Uzunlik birligidagi liniyaning yuklamasini  $i_a$  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:

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

Butun ko‘rilayogan L uzunlik liniyasidagi  $\Delta P$  ni aniqlash uchun 0 va L oralig‘idagi hamma juda kichik ( $\Delta P$ ) qiymatlarini qo‘shib chiqamiz, ya’ni,

$$\Delta P = \int_0^L 3 \cdot (i \cdot \ell)^2 r_0 d\ell = 3i^2 \cdot r_0 \int_0^L \ell^2 \cdot d\ell = 3i^2 \cdot r_0 \left| \frac{\ell^3}{3} \right|_0^L = 3i^2 r_0 \frac{i^3}{3} - 0 = i^2 r_0 \ell^3$$

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

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

Shunga o‘xshash

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

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

$$S = \sqrt{3}UI_3 \quad I_3 = \frac{S}{\sqrt{3}U}. \quad (4.1.10)$$

Bir fazali tarmoqlar uchun

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

Uch fazali tarmoq uchun quvvat isrofi

$$\Delta P_3 = 3I_3^2 \cdot R_3 \quad \Delta Q = 3I_3 \cdot X_3 \quad (4.1.12)$$

bir fazali tarmoq uchun

$$\Delta P_1 = 2I_1^2 \cdot R_1, \quad \Delta Q_1 = 2I_1^2 \cdot X_1 \quad (4.1.13)$$

(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

$$\Delta P_3 = \frac{S^2}{U^2} R_3, \quad \Delta Q_3 = \frac{S^2}{U^2} X_3 \quad (4.1.14)$$

bir fazali tarmoq uchun

$$\Delta P_1 = \frac{2S^2}{U^2} R_1, \quad \Delta Q_1 = \frac{2S^2}{U^2} X_1 \quad (4.1.15)$$

(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 sistemada 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  $\Delta P_3$  ga qo‘y-sak, natijalovchi ifoda quyidgicha 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  $\Delta P_T$ ,  $\Delta Q_T$  (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.

$$\Delta P_{pol} \approx \Delta P_{s.yu} \approx U_N^2 G_T \quad (4.1.16)$$

2. Transformator magnitlanishidagi 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  $I_{PUL}=0$  deb faraz qilsak, magnitlanish quvvati quyidagiga teng bo‘ladi.

$$\Delta Q_{pol} = \Delta Q_{s.yu} = \frac{I_{s.yu} \% S_N}{100} = U^2 B_T \quad (4.1.17)$$



3. Chulgʻamlarni qizdiradigan qisqa tutashuvdagi aktiv quvvat isrofini (bu isrof misdagi quvvat isrofi deb aytiladi) (3.4.3) ifoda orqali aniqlangan qarshilik yordamida topish mumkin, yaʼni:

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

4. Shunga oʻxshash 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 koʻrinishda boʻlishi mumkin. Maʼlumki,  $I=I_H$  boʻlganda qisqa tutashuv isrofi:

$$\Delta P_K \approx 3I_N^2 R_T = \frac{S_K^2}{U_N^2} R_T$$

Yuklama tokining boshqa qiymatida ham bir transformatoridagi isrof:

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

Oʻzaro munosabat  $\Delta RT/\Delta RQ$  dan topamiz:

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

Agarda  $\Delta QT$  ni aniqlaydigan (4.1.19) ifodadagi  $X_T$ ni uning (3.4.6) ifodadagi qiymati bilan almashtirsak, quyidagiga ega boʻlamiz

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

(4.1.18) va (4.1.19) ifodalar, ikki chulgʻamli va shuningdek uch chulgʻamli transformatorlar uchun ularning chulgʻamlarida har qanday yuklama boʻlganda ham quvvat isrofini aniqlashga yaroqlidir. Oxirgi holda transformatorning umumiy yuklamasi oʻrniga ifodaga uning chulgʻamlarining yuklamasi qoʻyiladi hamda  $R_T$  va  $X_T$  qarshiliklar oʻrniga almashtiruv sxemasidagi tegishli chulgʻamlar qarshiligi qoʻyiladi. Ifodalar (4.1.20) va (4.1.21) bilan ikki chulgʻamli transformatorlardagi hamda PK chulgʻami boʻlingan, yaʼni PK-1 va PK-2 chulgʻam yuklamalari teng boʻlingan transformatorlardagi quvvat isrofi topiladi. Bu ifodalarni uch chulgʻamli

transformatorlar uchun qachonki uch chulgʻamdan faqat ikkitasi yuklanganda yoki uchinchi chulgʻam nisbatan kam yuklamaga ega boʻlganda, qoʻllash mumkin.

Shunday qilib,

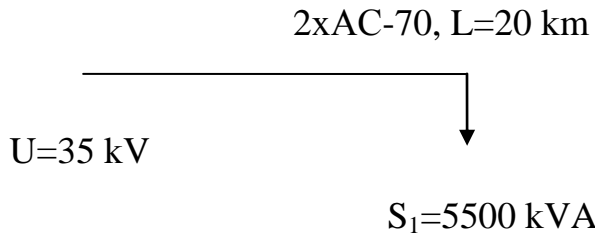
$$\Delta P_{T\Sigma} = \Delta P_T + \Delta P_{s,yu}$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = \Delta Q_T + \Delta Q_{s,yu}$$

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

#### 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  $70 \text{ mm}^2$  kesim yuzali simdan ikki sistemali holda, ayrim tayanchlarda tortilgan bo'lib, simlarni tayanchda joylanishi uchburchak ko'rinishda va kuchlanishi  $35 \text{ kV}$ , liniyaning uzunligi  $20 \text{ km}$ .



Jadval  $N_1$  dan yozib olamiz,  $35 \text{ kV}$ li liniyalar uchun simlar orasidagi o'rtacha geometrik masofa  $D=3,5 \text{ m}$

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

Jadval  $N_1$  dan  $D_{O'R}$  hisobga olib, aktiv va reaktiv qarshiliklarni  $1 \text{ km}$  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:

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

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

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

Liniyaning 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  $6300 \text{ kVA}$  quvvatli ikki transformatorni qabul qilamiz va shu jadvaldan transformatorning kerakli hujjat ma'lumotlarini yozib olamiz:

$$S_N = 6300 \text{ kVA}, \quad R_T = 1.60 \text{ Om}$$

$$U_{yuk} = 35 \text{ kV} \quad X_T = 16.10 \text{ Om}$$

$$U_{pk} = 11 \text{ kV} \quad \Delta P_{syu} = 9.4 \text{ kVt}$$

$$\Delta Q_{syu} = 56.7 \text{ kVAr}$$

Podstansiya ikkita parallel ishlovchi transformatorlarga ega bo'lganligi uchun

$$\Delta P_{syu} = 9,4 \cdot 2 = 18,8 \text{ kVt} \quad R_T = 1,6 : 2 = 0.8 \text{ Om},$$

$$\Delta Q_{syu} = 56,7 \cdot 2 = 113.4 \text{ kVAr}, \quad X_T = 16,1 : 2 = 8.05 \text{ Om}$$

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

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

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

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

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

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

Liniyaning oxiridagi quvvatni topamiz.

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

Liniyadagi quvvat isrofi

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

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

$$\Delta S_\Delta = \sqrt{125,22^2 + 112,42^2} = 168,28 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

Liniyaning boshidagi quvvat

$$S_3 = S_2 + \Delta S = 5814,56 + 168,28 = 5982,4 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

**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?

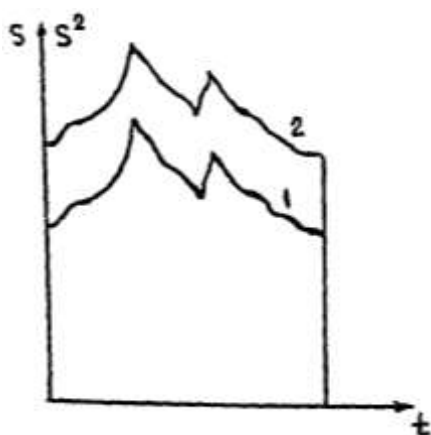
## 4.2. Liniya va transformatorlarda energiya isrofi

Shunday qilib, quvvat vaqt birligidagi energiya bo‘lganligi uchun, tarmoqdagi energiya isrofini, quvvat isrofini tarmoqni berilgan yuklamada ishlayotgan vaqtiga ko‘paytirib aniqlash mumkin.

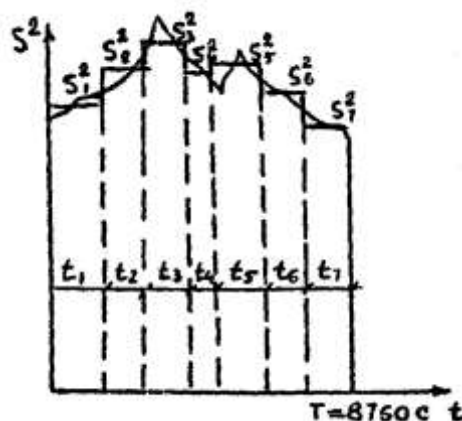
$$\Delta \mathcal{E} = 3I^2 R t = \Delta P \cdot t, \quad (4.2.1)$$

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.

$$\Delta \mathcal{E} = \int_0^t \Delta P dt \quad (4.2.2)$$

(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 isrofini aniqlash uchun 2-egri chiziq bilan chegaralangan yuzani aniqlash yetarlidir. Amaliyotda yuklamalar kvadratini yillik grafigini kichik vaqt  $t_1, \phi_2, \phi_3...$  oraliqlaridagi,  $S_1, S_2, S_3...$  (4.2.2.-rasm) yuklamalar qiymatiga tegishli bo‘lgan

bosqichli taxminiy grafik bilan bajarish mumkin unda isrof qiymatlar yig'ilib aniqlanadi.

$$\Delta \Theta = \frac{R}{U^2} (S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + S_3^2 t_3 + \dots + S_n^2 t_n) \quad (4.2.4)$$

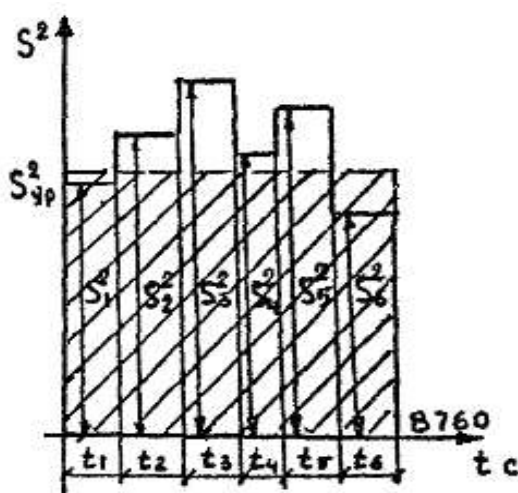
Tarmoqdagi energiya isrofini aniqlashning keyingi usuli o'rtacha kvadrat quvvat qiymatlariga asoslangan isrofini aniqlash usulidir (4.2.3-rasm). O'rtacha kvadrat quvvat shunday quvvatki, butun vaqt bo'yicha liniyadan o'zgarmasdan oqib, haqiqiy quvvat liniyadan oqqanida beradigan isrofini beradi. Bunda koordinat o'qlari  $S_{O'R.KV}$  va  $T$  bilan chegaralanib chizilgan to'g'ri burchaklar yuzasi shu grafikning haqiqiy yuzasiga teng bo'ladi.

$S_{O'R.KV}$ ni qiymatini aniqlab, energiya isrofini quyidagi ifodadan topish mumkin.

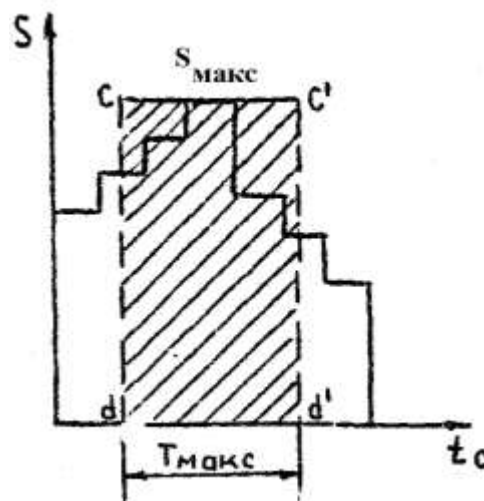
$$\Delta \Theta = \frac{R}{U^2} S_{or}^2 \cdot T \quad (4.2.5)$$

Bu usul o'rtacha kvadrat quvvatiga asoslangan isrofini aniqlash usuli deb ataladi.

Yuqorida keltirilgan energiya isrofini aniqlash usullari bir qator kamchiliklarga ega bo'lib, faqat yuklamalar grafigi bo'lgandagina ishlatilishi mumkin. Shuning uchun keng tarqalgan, isrofini 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

$$\Theta = P_{maks} \cdot T_{maks} = S_{maks} \cdot \cos \phi_{o'r} \cdot T_{maks} = \cos \phi_{o'r} \int_0^{i=8760} S dt \quad (4.2.6)$$

Bu yerda

$$T_{maks} = \frac{\int_0^{i=8760} S dt}{S_{maks}} \quad (4.2.7)$$

$\cos \phi_{o'r}$  – yil bo'yicha taxminan o'zgarmas deb qabul qilingan quvvat koeffitsiyentining o'rtacha qiymati.

$T_{MAKS}$ -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.

$$T_{maks} = \frac{\Theta}{P_{maks}} = \frac{\Theta}{S_{maks} \cdot \cos \phi_{o'r}} \quad (4.2.8)$$

Har qanday iste'molchi o'zining maksimal yuklamada ishlash vaqti kattaligi bilan xarakterlidir. Hisoblarda bu kattalikni statistik ma'lumotlarga asosan qabul qilish mumkin.<sup>8</sup>

Shunga o'xshash (4.2.5-rasm), liniya vaqt bo'yicha maksimal quvvat isrofi  $\Delta R_{MAKS}$  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

$$\Delta \Theta = \Delta P_{maks} \cdot \tau = \frac{R}{U^2} S_{maks}^2 \cdot \tau = \frac{R}{U^2} \int_0^t S^2 \cdot dt \quad (4.2.9)$$

Bu yerdan maksimal isrofdan ishlash vaqti aniqlanadi.

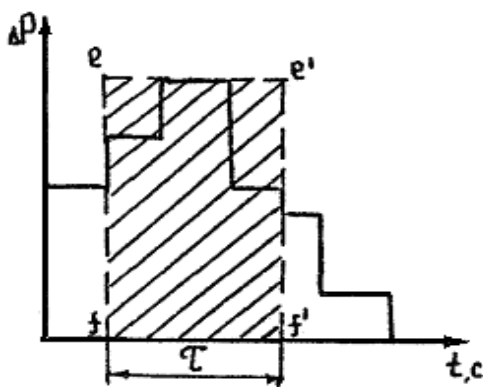
<sup>8</sup> Steven W.Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007, 260 p.



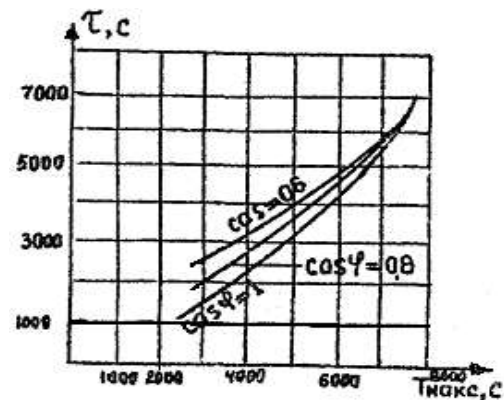
$$\tau = \frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta P_{maks}} = \frac{\int_0^t S^2 \cdot dt}{S_{maks}^2} \quad (4.2.10)$$

Amaliyotda kattalik  $\tau$  ni kattalik  $T_{MAKS}$  orqali aniqlash mumkin, chunki ular orasida muayyan bog‘liqlik mavjud.

(4.2.7) va (4.2.10) formulalardan ko‘rinib turibdiki  $\tau$  va  $T_{MAKS}$ , yuklamalar grafigini o‘zgartirish xarakteriga, ya’ni bu ifodalardagi integral ostidagi  $S=S(t)$  funksiyasiga bog‘liq.  $\tau$  ning  $T_{MAKS}$ ga bog‘liqligini aniqlash uchun har xil iste’molchilarning har xil  $T_{MAKS}$  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 yordamida  $\tau$  ning  $T_{MAKS}$ ga bog‘liqligini har xil  $\cos\varphi$  larni qiymatlari uchun aniqlash kerak.



4.2.5.-rasm. Maksimal isrof vaqtini aniqlash bog‘liqligi.



4.2.6.-rasm. Maksimal isrof vaqti  $\tau$ ni 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  $R$ ,  $\cos\phi_{or} = \frac{P_{maks}}{S_{maks}}$  li  $S_{maks} = \sqrt{P_{maks}^2 + Q_{maks}^2}$  bo‘lgan maksimal yuklamasini va berilgan kategoriyali iste’molchining maksimal yuklamada ishlash vaqti  $T_{MAKS}$  ni bilib, berilgan  $\cos\phi_{yp}$  va ma’lum  $T_{MAKS}$  uchun 4.2.6-rasmda keltirilgan egri chiziqlar orqali maksimal isrof vaqti  $\tau$  ni topamiz. Liniyaning muayyan bo‘lgan nominal kuchlanishi  $U_K$  kV da va elektr energiyasi isrofi  $\Delta E$  kvt.soatni (4.2.9) formulasi yordamida topishimiz mumkin:

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{R}{U_N^2} S_{maks}^2 \cdot \tau \cdot 10^3 \quad (4.2.11)$$

yoki

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{P_{maks}^2 + Q_{maks}^2}{U_N^2} R \cdot \tau \cdot 10^3$$

Bu yerda

$$S - mV \cdot A, \quad P - mVt, \quad Q - mV \cdot Ar,$$

$$U_k - kV, \quad R - Om.$$

Bir nechta yuklamalar bo'lganda energiya isrofi har bir uchastkadagi energiya isrofini qo'shib aniqlanadi.

Agarda ko'rilayotgan liniya uchastkasi orqali har xil  $P_{1MAKS}, P_{2MAKS}, P_{3MAKS}$  va ularga tegishli maksimal yuklamada ishlash vaqti  $T_1, T_2, T_3$  bo'lgan iste'molchilarga quvvat uzatilayotgan bo'lsa, unda isrofni 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.

$$T_{mak.o'r} = \frac{\mathcal{E}}{P_{maks}} = \frac{P_{1mak} T_{1mak} + P_{2mak} T_{2mak} + \dots + P_{pmaks} T_{pmaks}}{K_o (P_{1mak} + P_{2maks} + \dots + P_{pmaks})} = \frac{\sum_1^n P_{i.mak} \cdot T_{i.maks}}{K_o \cdot \sum_1^n P_{i.maks}} \quad (4.2.12)$$

Bu yerda  $K_o$  –yuklamalar gruppasini grafigidan aniqlanadigan bir vaqtlik ko'effitsiyenti.

Po'lat simli liniyalarda energiya isrofini hisoblashda tokni o'zgarishi tufayli bo'ladigan aktiv qarshilikni hisobga olish kerak.

**Transformatordagi energiya isrofi.** Transformator

dagi energiya isrofi ikki qismdan tashkil topgan:

yuklamalarga bog'liq bo'lgan  $\Delta P_K \cdot \tau$ ,

yuklamalarga bog'liq bo'lmagan  $\Delta P_{syu} T$ ,

unda

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta P_{syu} T + \Delta P_K \cdot \tau \quad (4.2.13)$$

Bu yerda T-transformatorni ishlash vaqti (agarda transformator yil bo'yicha ulangan bo'lsa, unda  $T=8760$  s).

Salt yurish quvvat isrofi  $\Delta P_{\text{syu}}$  transformatoridan oqayotgan quvvatiga bog'liq bo'lmay, balki berilgan transformatorning tuzilishiga bog'liq bo'lib, kuchlanish va quvvatning biror qiymatlarida o'zgarmas kattalikni tashkil etadi.

Qisqa tutashuv quvvat isrofi  $\Delta P_{\kappa}$  qoida bo'yicha bu isrofning nominal qiymatiga teng bo'lmay, balki transformatoridan oqayotgan quvvatga bog'liq holda o'zgaradi. Shunday qilib bu isrof quvvatning kvadratiga proporsionaldir, unda

$$\Delta P_{\kappa} / \Delta P_{\kappa.n} = S_T^2 / S_{T.N}^2$$

Bu yerda:

$S_T$ - transformatoridan oqayotgan haqiqiy quvvat;

$S_{T.N}$ - uning nominal quvvati.

Unda haqiqiy qisqa tutashuv quvvati

$$\Delta P_{\kappa} = \Delta P_{\kappa.n} S_T^2 / S_{T.N}^2 \quad (4.2.14)$$

$\Delta P_{\text{syu}}$  ba  $\Delta P_{\text{KN}}$  ning qiymatlari har bir transformator uchun jadvallarda keltiriladi.  $\tau$  kattaligi TMAKS va sos? ning qiymatlari bilan aniqlanadi.

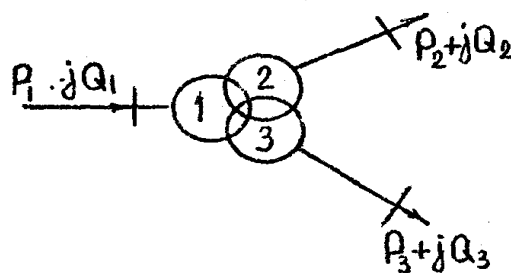
Bir necha n transformator bo'lganda (4.2.13) va (4.2.14) ga asosan energiya isrofi

$$n\Delta \mathcal{E}_t = n \cdot [\Delta P_{\text{syu}} \cdot T + \Delta P_{\kappa.n} \cdot (S_t^2 / S_{t.n}) \cdot \tau] \quad (4.2.15)$$

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 chulgʻamli transformatorlar chulgʻamlarida 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:

$$r_0=0,13 \text{ Om/km}, x_0=0,43 \text{ Om/km}, b_0=2,66 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}, \Delta P_{\text{toj}}=2,7 \text{ kW/km}.$$

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:

$$Q_s=U^2 b_0 l=25^2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 150=18,44 \text{ MVAr}$$

Tojlanishda quvvat isrofi:

$$\Delta P_{\text{toj}}=\Delta P_{\text{toj}} \cdot l=2,7 \cdot 150=405 \text{ kW}=0,405 \text{ MW}$$

Almashtirish sxemasida aktiv va reaktiv o'tkazuvchanliklarni yarmi liniyaning oxiriga ulanganligini hisobga olib liniyaning oxiridagi yuklamani aniqlaymiz.

Unda

$$S_1=P+jQ+0,5(\Delta P_{\text{toj}}-jQ_c)=30+j20+0,5(0,405-j18,4)=(30,202+j10,78) \text{ MVA}$$

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 koeffisienti  $\cos\varphi=0,8$ . 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.  $r_0=0,33 \text{ Om/km}$

Liniyaning bir fazasi qarshiligi:

$$R=0,33 \cdot 20=6,6 \text{ Om}$$

Maksimal yuklama paytidagi aktiv quvvat isrofini aniqlaymiz:

$$\Delta P_{max} = \left( \frac{S_{max}}{U_n} \right)^2 R \cdot 10^{-3} = \left( \frac{5000}{35} \right)^2 6,6 \cdot 10^{-3} = 134,7 \text{ kW}$$

1-ilovadagi 4-jadvaldan  $\tau=3200$  soat ( $\cos\varphi=0,8$ ) ga teng bo'lgan holat uchun.

Ta'minlovchi liniyadagi aktiv energiya isrofi:

$$\Delta E = \Delta P_{max} \tau = 134,7 \cdot 3200 = 431040 \text{ kW}\cdot\text{soat}$$

**3-masala.** Mashinasozlik zavodi 110 kVli rayon elektr tarmog'idan ta'minlanadi. Bosh pasaytiruvchi podstansiyada TДН-10000/110 markali transformator o'rnatilgan. Zavod qabul qiluvchi maksimal quvvat 7000 kVA,  $\cos\varphi=0,8$ . Aktiv va reaktiv quvvat isrofini hamda yillik energiya isrofini aniqlang.

Yechish. 2-ilovadagi 3-jadvaldan transformator ma'lumotlarini aniqlaymiz.

$$\Delta P_{qt}=60 \text{ kW}, \Delta P_{syu}=14 \text{ kW}, U_{qt}=10,5 \%, I_{syu}=0,9\%$$

Transformatoridagi aktiv quvvat isrofi:

$$\Delta P = \frac{\Delta P_{qt} S^2}{S_n^2} + \Delta P_{syu} = \frac{60 \cdot 7000^2}{10000^2} + 14 = 43,4 \text{ kW}$$

Reaktiv quvvat isrofi:

$$\Delta Q = \frac{U_{qt} S^2}{100 \cdot S_n} + \frac{I_{syu} S_n}{100} = \frac{10,5 \cdot 7000^2}{100 \cdot 10000} + \frac{0,9 \cdot 10000}{100} = 604,5 \text{ kVAr}$$

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  $\cos\varphi=0,8$  uchun maksimal isrof vaqtini aniqlaymiz,  $\tau=3100$  soat, unda

$$\Delta E = \Delta P_{max} \frac{S_{max}^2}{S_n^2} \tau + \Delta P_{syu} T = \frac{60 \cdot 7000^2}{10000^2} 3100 + 14 \cdot 8760 = 213,780 \text{ kW}\cdot\text{soat}$$

#### 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,  $\cos\varphi=0,95$ , 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.**  $\cos\varphi=0,9$  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 podstansiyasidan 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  $\cos\varphi=0,91$  bo'lsa, ТРДЧН-63000/220 transformatoridagi va uni ta'minlovchi 220 kV 180 km uzunlikdagi AC-240 simdan tayyorlangan liniya quvvat isrofini aniqlang.

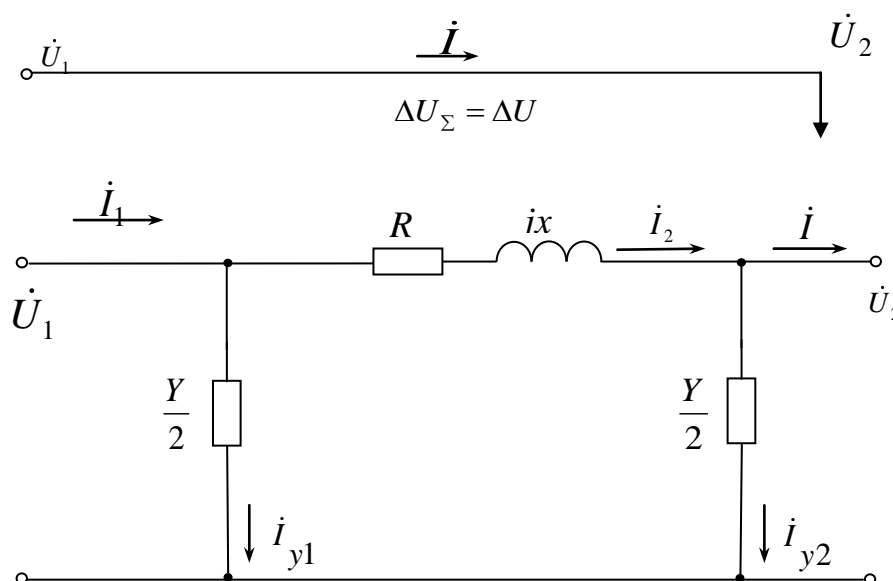
**6-misol.** 380/220 Vli ta'minlovchi va taqsimlovchi yorituvchi tarmoqdagi quvvat isrofini aniqlang. Ta'minlovchi tarmoq АПІТО-25 o'tkazgichdan tayyorlangan bo'lib, 150 m uzunlikka ega. Taqsimlovchi tarmoq esa А-6 o'tkazgichdan tayyorlangan, uzunligi esa 20 m. Sexni taqsimlovchi qurilmadan uchta uch 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  $U_1$  ni aniqlash uchun  $U_2$  kuchlanishga liniyadan oqayotgan tok (quvvat) tufayli yuzaga keladigan kuchlanishni pasayishi  $\Delta U_\Sigma$  ni qo‘shish kerak.

$$U_1 = U_2 + \Delta U_\Sigma \quad (4.3.1)$$



#### 4.3.1 rasm. Elektr uzatish liniyasi va uning almashtiruv sxemasi

Bu ifoda faza va xuddi shunday liniya kuchlanishlari uchun to‘g‘ridir.  $\Delta U_\Sigma$  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

$$\begin{aligned} \dot{I}_{y2} &= \dot{I}_{G2} + j\dot{I}_{c2} = \dot{U}_2 \cdot \frac{G}{2} + j\dot{U}_2 \cdot \frac{B}{2} \\ \dot{I}_{y1} &= \dot{I}_{G1} + j\dot{I}_{p1} = \dot{U}_1 \cdot \frac{G}{2} + j\dot{U}_1 \cdot \frac{B}{2} \end{aligned} \quad (4.3.2)$$

liniya toklar esa

$$\dot{I}_2 = \dot{I} + \dot{I}_{y2}; \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_2 + j\dot{I}_{y1} \quad (4.3.3)$$



Ko‘pincha taqsimlovchi elektr tarmoqlari uchun  $\hat{I}_{y1}$  va  $\hat{I}_{y2}$  hisobga olinmaydi, ya’ni ularda

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \dot{I}$$

**Vektor diagrammasini qurish.**  $U_2$  vektorini haqiqiy o‘q yo‘nali-shida yo‘naltiramiz (4.3.2-rasm). Vektor diagrammasida AS kesmasi  $\Delta \dot{U}_F = \dot{U}_{1F} - \dot{U}_{2F}$  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  $\Delta U_{btf} = AD$  ;

b) Ko‘ndalangiga tashkil etuvchi  $\Delta U_{ktf} = SD$  ;

$$\Delta U_{\Sigma f} = \dot{I}Z = AC = \Delta U_{BTF} + jU_{KTF} \quad (4.3.4)$$

$\Delta U_{BTF}$  va  $\Delta U_{KTF}$  kattaliklarni berilgan  $U_2$  kuchlanish bilan topib, liniyaning boshidagi kuchlanishni absolyut qiymatini topish mumkin.

$$U_{1f} = \sqrt{(U_{2f} + \Delta U_{pvf})^2 + bU_{ppf}^2} \quad (4.3.5)$$

Kuchlanish pasayishi uchburchagi A B S dan kuchlanish pasayishini bo‘ylamasiga tashkil etuvchisi.

$$\Delta U_{btf} = AE + ED = IR \cos \varphi + IX \sin \varphi = I_a R + I_p X \quad (4.3.6)$$

Xuddi shuningdek ko‘ndalangiga tashkil etuvchisi

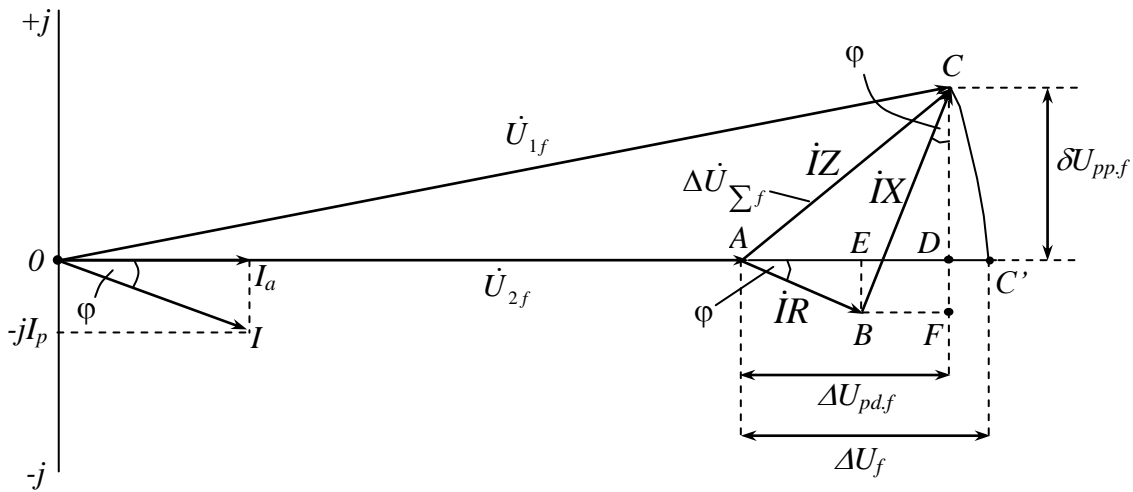
$$\Delta U_{ktf} = CF - FD = IX \cos \varphi - IR \sin \varphi = I_a \cdot X - I_p \cdot R \quad (4.3.7)$$

(4.3.6) va (4.3.7) lardagi  $I_a$  va  $IR$  larni quvvatlar bilan almashtiramiz, unda

$$\Delta U_{btf} = \frac{PR + QX}{\sqrt{3}U}; \quad \Delta U_{ktf} = \frac{PX - QR}{\sqrt{3}U}; \quad (4.3.8)$$

$\sqrt{3}$  ga ko'paytirib, fazali qiymatlarni liniyalı qiymatlariga almashtiramiz

$$\Delta U_{b.t} = \frac{PR + QX}{U} \quad \Delta U_{k.t} = \frac{PX - QR}{U} \quad (4.3.9)$$



**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, hisoblarni keraklicha 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  $U_{1F}$  ni absolyut qiymatiga uncha ta'sir etmaydi, shuning uchun (4.3.5) ni kesma  $DS^1$  ni hisobga olmasdan yozish mumkin

$$U_1 \approx U_2 + \Delta U_{b.t}$$

$$\Delta U = U_1 - U_2 \approx \Delta U_{b.t}$$

ya'ni

$$\Delta U \approx \Delta U_{b.t}$$

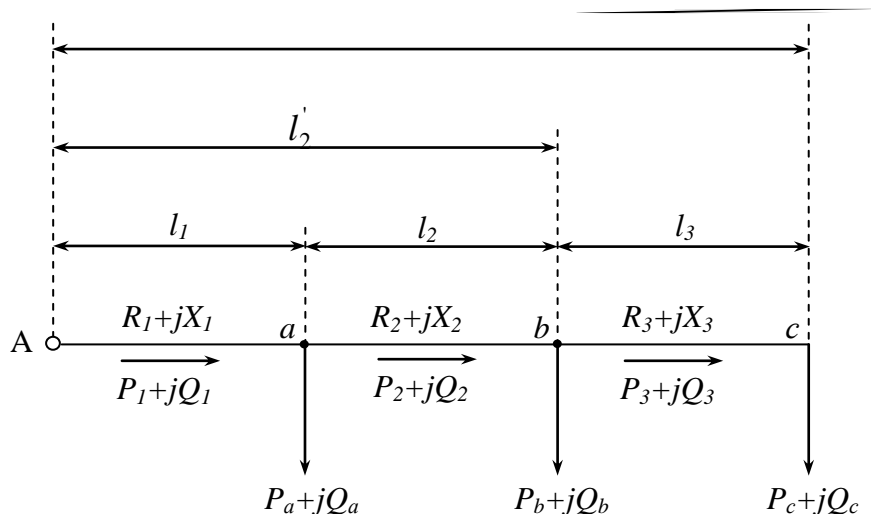
Shunday qilib, kuchlanish yo'qotilishini, bo'ylamasiga kuchlanish pasayishini tashkil etuvchisiga tenglashtirish mumkin

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} \quad (4.3.10)$$

Bir necha yuklamalar bo'lganda kuchlanish yo'qotilishi

$$\Delta U = \sum \frac{P_n R_n + Q_n X_n}{U_n} \quad (4.3.11)$$

Hisoblar yuklama quvvatlari yoki liniya quvvatlari bilan olib boriladi.



**4.3.3 rasm. Uzunligi davomida uchta yuklama bo'lgan liniya.**

Birinchi holatda  $R_n$  va  $X_n$  yelkalari har bir yuklamadan ta'minlash punktigacha bo'lgan to'liq qarshiliklar, ikkinchisida liniyani har bir uchastkasidagi qarshilik.

4.3.3- rasmdan ko'rinadiki

$$R_2^1 = R_2 + R_1; \quad R_1^1 = R_1 \quad (4.3.12)$$

va shunga tegishli

$$X_1^1 = X_1 + X_2 + X_3; \quad X_2^1 = X_2 + X_1; \quad X_1^1 = X_1.$$

Yuklamalar quvvati bilan hisoblashganda

$$\Delta U = \frac{P_c R_3^1 + P_b R_2^1 + P_a R_1^1 + Q_c X_3^1 + Q_b X_2^1 + Q_a X_1^1}{U_n} \quad (4.3.13)$$

Liniya quvvatlari bilan hisoblanganda

$$\Delta U = \frac{P_3 R_3 + P_2 R_2 + P_1 R_1 + Q_3 X_3 + Q_2 X_2 + Q_1 X_1}{U_n} \quad (4.3.14)$$

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

$$\Delta U = \frac{r_o(P_c l_3^1 + P_6 l_2^1 + P_a l_1^1) + X_o(Q_c l_3^1 + Q_6 l_2^1 + Q_a l_1^1)}{U_H}$$

Liniya quvvatlari bo'yicha

$$\Delta U = \frac{r_o(P_3 l_3 + P_2 l_2 + P_1 l_1) + X_o(Q_3 l_3 + Q_2 l_2 + Q_1 l_1)}{U_H}$$

Bu yerda

$$l_3^1 = l_1 + l_2 + l_3; \quad l_2^1 = l_1 + l_2; \quad l_1^1 = l_1.$$

Birinchi 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.

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U_{kt}^1)^2 + \delta U_{kt}^{12}} \quad (4.3.15)$$

(4.3.15) dan ko'rinadiki  $\Delta U$  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

$$\Delta U \neq \Delta U^1 \quad \text{va} \quad \delta U \neq \delta U^1.$$

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.

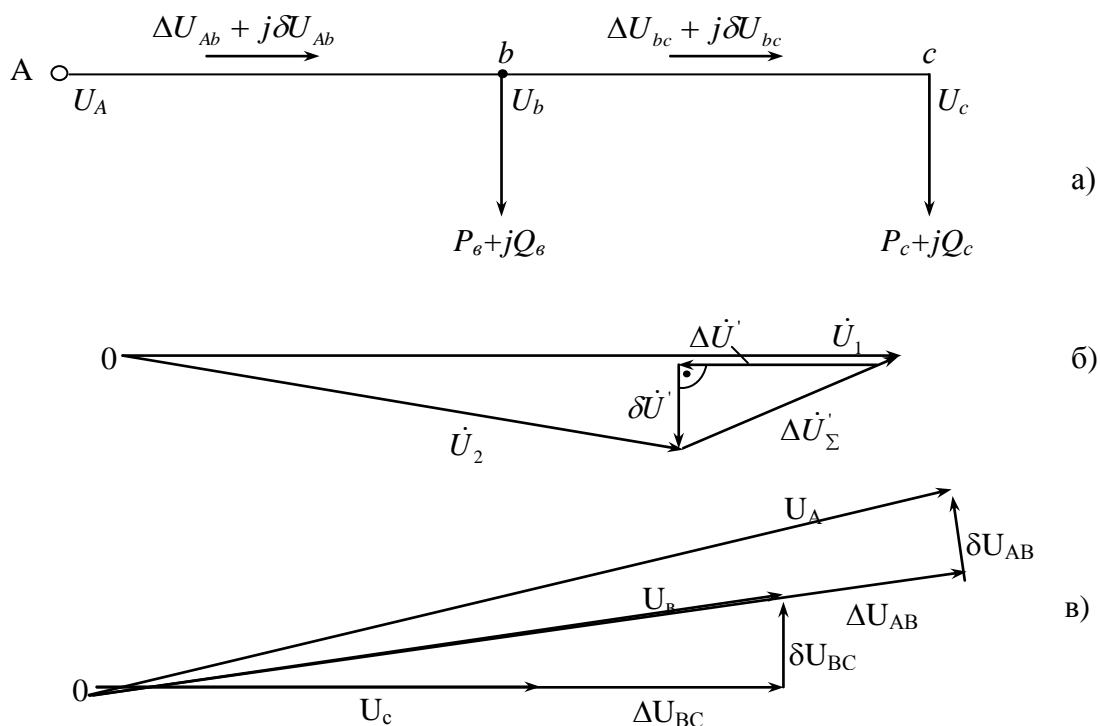
Berilgan  $U_1$  kuchlanishga asosan  $U_2$  kuchlanishni topish uchun zarur:

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.

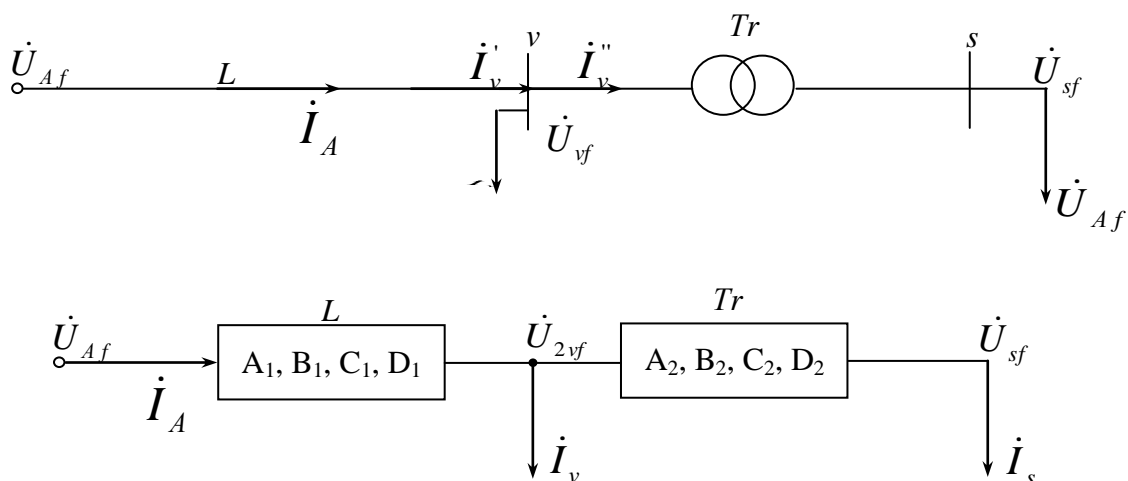
2. Bu aniqlangan yo'qolishni (pasayishi) shoxobchanning uzatayotgan tomonidagi kuchlanishdan ayirib, shoxobchanning keyingi tugunidagi kuchlanish aniqlanadi, bu keyingi shoxobcha uchun uzatayotgan tomon bo'lib qoladi va hokazo.

110 kV va undan past kuchlanishli tarmoqlarda kuchlanish pasayishini ko'ndalangiga tashkil etuvchisi  $\Delta U$  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



4.3.5-rasm. Ko'ndalangiga o'tkazuvchanlik hisobga olingan uzatish sxemasi a va b uzatish elementlarini almashtiruvchi to'rt qutbliklar

Koʻndalangiga oʻtkazuvchanlik hisobga olinishi zarur boʻlgan murakkab elektr tarmoqlarida tarmoqni hamma elementlarini toʻrt qutbliklar bilan almashtirib, hamma toklar va kuchlanishlar bu toʻrt qutbliklarni parametrlarini hisobga olgan holda topiladi. 4.3.5a rasmda koʻrsatilgan, berilgan tok va kuchlanishli uzatishni hisoblash uchun bu uzatishning har bir elementi toʻrt qutblik bilan almashtiriladi. Liniya umumlashtirilgan toʻrt qutblikni doimiyliklari A, V, S, va D bilan (4.3.5b-rasm) almashtiriladi.

Shuningdek D nuqtadagi yuklama  $I_e = I_e' - I_e''$  boʻlganda toʻrt qutbliklar tenglamasi quyidagicha boʻladi.

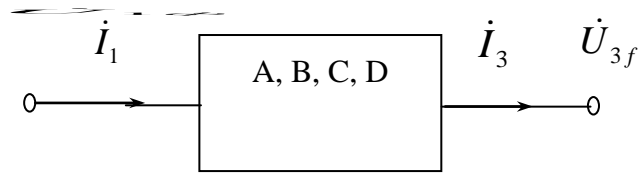
$$\dot{U}_{vf} = A_2 \dot{U}_{sf} + B_2 I_s; \quad I_e' = C_2 U_{sf} + D_2 I_s; \quad (4.3.16)$$

$$\dot{U}_{Af} = A_1 \dot{U}_{vf} + B_1 I_v^1; \quad I_{\wedge} = C_1 U_{vf} + D_1 I_v^1; \quad (4.3.17)$$

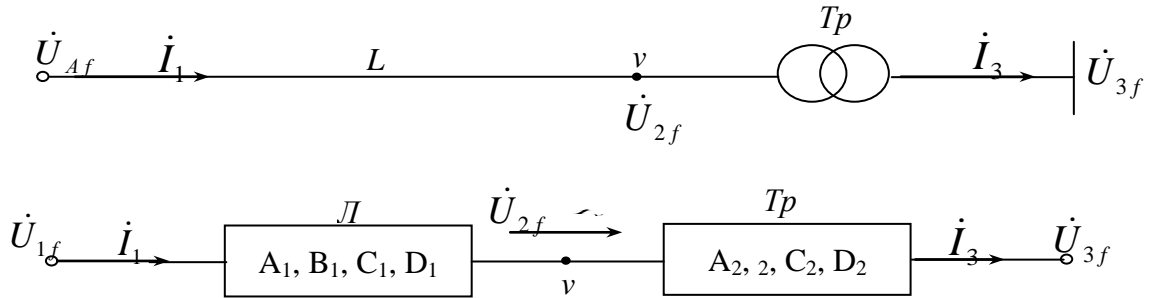
Toʻrt qutbliklar yordamida hisoblash kuchlanishning faza qiymatlari uchun qulaydir.

Shunday qilib, berilgan  $I_s$  va  $\dot{U}_{sf}$  qiymatlari bilan v nuqtadagi  $I_3$  va  $\dot{U}_{3f}$  ni (4.3.16) yordamida aniqlanadi. Shunga oʻxshash (4.3.17) yordamida  $I_v$  va  $U_{VF}$  ni bilib liniyaning boshidagi  $I_A$  va  $\dot{U}_{Af}$  aniqlanadi.

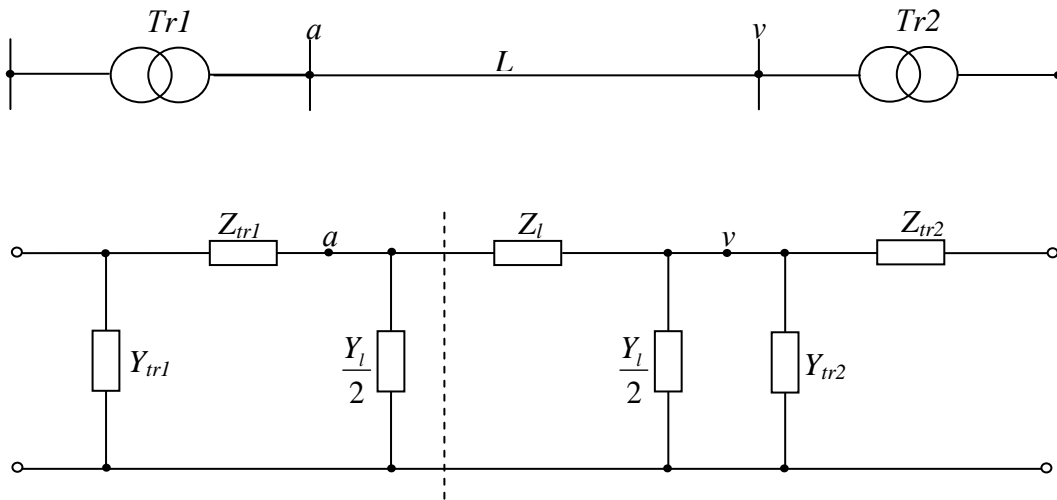
Agarda oraliqda yuklama boʻlmasa ( $I_g=0$ ), unda berilgan va bilan liniyaning boshidagi va  $i$  ni liniya va transformator uchun boʻlgan ikkala toʻrt qutblikni ketma-ket qoʻshib topish mumkin, yaʼni hisoblash umumlashtirilgan doimiylik A, V, S, D li ekvivalent toʻrt qutbliklar bilan bajariladi. (4.3.6-rasm)



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:



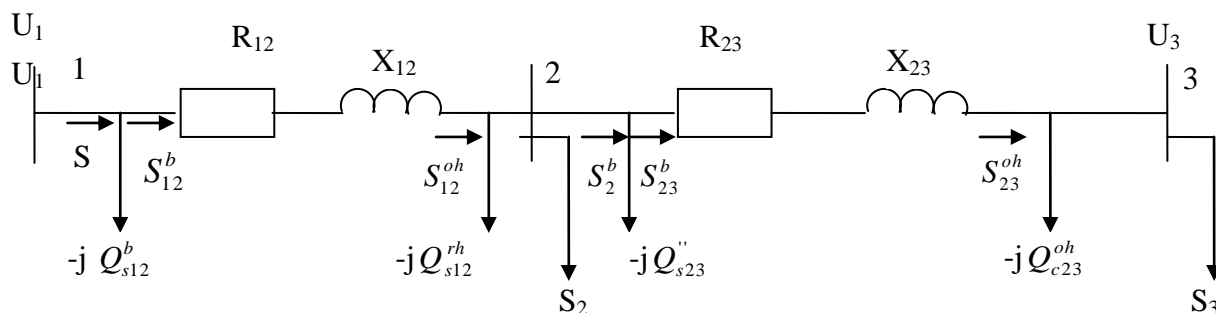
4.3.7 rasm. To'rt qutbliklarni mumkin bo'lgan qisqartirilishi.

Shtrixli chiziq liniyaning o'ng va chap qismi

### 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'ım quvvati, undagi quvvat isrofi va quvvat oqimini (3.3.7), (4.1.6), (4.1.7) orqali aniqlaymiz.

$$Q_{c12} = \frac{1}{2} 110^2 \cdot 208,8 \cdot 10^{-6} = 1,26 \text{ MVA}r$$

Liniyaning oxiridagi quvvat

$$S_{12}^{ox} = S_2 - Q_{c12}^{ox} = 15 + j10 - j1,26 = 15 + j8,74 \text{ MVA}$$

Liniyadagi quvvat isrofi

$$\Delta P_{12} = \frac{15^2 + 8,74^2}{110^2} \cdot 24,48 = 0,61 \text{ MVt}$$

$$\Delta Q_{12} = \frac{15^2 + 8,74^2}{110^2} \cdot 34,72 = 0,86 \text{ MVA}r$$

Liniyaning boshidagi quvvat

$$S_{12}^b = S_{12}^{ox} + \Delta P_{12} + j\Delta Q_{12} = 15 + j8,74 + 0,61 + j0,86 = (15,61 + j9,6) \text{ MVA}$$

Elektr stansiyasi shinasidagi quvvat

$$S_1 = S_{12}^b + jQ_{c12}^b = 15,61 + j9,6 - j1,26 = (15,61 + j8,34) \text{ MVA}$$

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

$$U_2 = \sqrt{109,8^2 + j2,65^2} = 109,8 \text{ kV}$$

3-bosqich. Liniya parametrlarini ishlatib bo'ylamasiga va ko'ndalangiga kuchlanish pasayishini aniqlaymiz.

$$\Delta U_{12}^b = \frac{15,61 \cdot 24,48 + 9,6 \cdot 34,72}{115,9} = 6,17 \text{ kV}$$

$$\delta U_{12}^k = \frac{15,61 \cdot 34,72 - 9,6 \cdot 24,48}{115,9} = 2,85 \text{ kV}$$

Liniya oxiridagi kuchlanish

$$U_2 = 115,9 + j0,15 - 6,17 - j2,65 = 109,7 - j2,5 \text{ kV}$$

Liniya oxiridagi kuchlanish moduli

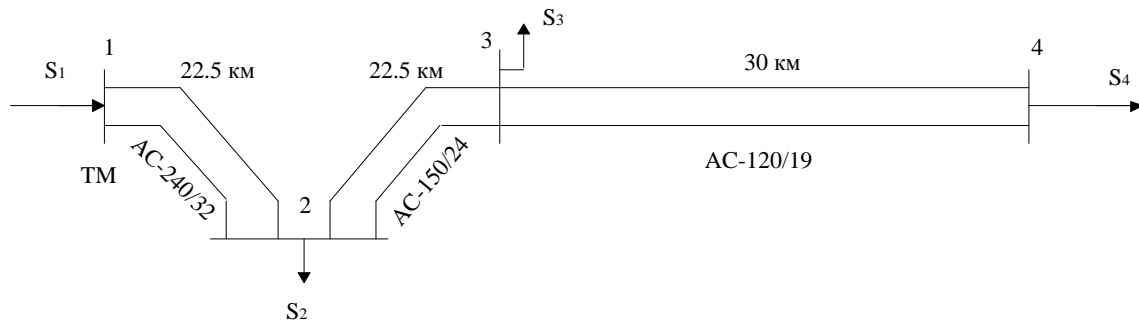
$$U_2 = \sqrt{109,7^2 + 2,5^2} = 109,7 \text{ kV}$$

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.

$$S_2 = 22,13 + j18,35 \text{ MVA}; \quad S_3 = 17,11 + j14,45 \text{ MVA}; \quad S_4 = 41,21 + j34,72 \text{ MVA}$$



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 olamiz. Solishtirma sig'im o'tkazuvchanligi va aktiv, reaktiv qarshiliklar va o'tkazuvchanlikni 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.

$$Q_{s34} = \frac{1}{2} \cdot U_N^2 \cdot b_{34} = \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} = 0,97 \text{ MVAr}$$

34 liniya oxiridagi quvvat

$$S_{34}^{ox} = S_4 - jQ_{s34} = 41,21 + j34,72 + j0,97 = 41,21 + j33,75 \text{ MVA}$$

34 liniyadagi quvvat isrofini aniqlaymiz

$$\Delta S_{24} = \frac{(P_{34}^{ox})^2 + (Q_{34}^{ox})^2}{U_N^2} \cdot (x_{34} + jx_{34}) = \frac{41,21^2 + 33,75^2}{110^2} (3,74 + j6,4) = 0,88 + j1,5 \text{ MVA}$$

34 liniya boshidagi quvvat

$$S_{34}^{ox} = S_4 - jQ_{s34} = 41,21 + j33,75 + j0,88 + j1,5 = 42,09 + j35,26 \text{ MVA}$$

Shunga o'xshab 23 va 12 liniyalar uchun hisoblaymiz

$$Q_{c23} = \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 1,22 \cdot 10^{-4} = 0,74 \text{ MVAr}$$

$$S_{23}^{ox} = S_{34}^b - jQ_{s23}^b + S_3 - jQ_{c23}^{ox} = 42,09 + j35,25 - j0,97 + 17,11 + j14,45 - j0,74 = 59,2 + j48 \text{ MVA}$$

$$\Delta S_{23} = \frac{(P_{23}^{px})^2 + (Q_{23}^{ox})^2}{U_n^2} \cdot (r_{23} + jx_{23}) = \frac{59,2^2 + 48^2}{110^2} \cdot (2,23 + j4,72) = 1,07 + j2,27 \text{ MVA}$$

$$S_{23}^b = S_{23}^{ox} + \Delta S_{23} = 59,2 + j48 + 1,07 + j2,27 = 60,27 + j50,27 \text{ MVA}$$

$$Q_{s12} = \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 1,264 \cdot 10^{-4} = 0,76 \text{ MVAr}$$

$$S_{12}^{ox} = S_{23}^b - jQ_{s12}^b + S_2 - jQ_{c12}^{ox} = 60,27 + j50,27 - j0,74 + 22,13 + j18,35 - j0,76 = 82,4 + j67,12 \text{ MVA}$$

$$\Delta S_{12} = \frac{(P_{12}^{px})^2 + (Q_{12}^{ox})^2}{U_N^2} \cdot (r_{12} + jx_{12}) = \frac{82,4^2 + 67,12^2}{110^2} \cdot (1,35 + j4,56) = 1,26 + j4,26 \text{ MVA}$$

$$S_{12}^b = S_{12}^{ox} + \Delta S_{12} = 82,4 + j67,12 + 1,26 + j4,23 = 83,66 + j71,37 \text{ MVA}$$

TM shinasidan 12 liniyaga oquvchi quvvat

$$S_1 = S_{12}^b - jQ_{s12} = 83,66 + j71,37 - j0,76 = 83,66 + j70,61 \text{ MVA}$$

2-bosqich. U2 kuchlanishni aniqlaymiz

$$\Delta U_{12}^b = \frac{P_{12}^b \cdot r_{12} + Q_{12}^b \cdot x_{12}}{U_1} = \frac{83,66 \cdot 1,35 + 71,37 \cdot 4,56}{117,7} = 3,72 \text{ kV}$$

$$\delta U_{12}^b = \frac{P_{12}^b x_{12} - Q_{12}^b r_{12}}{U_1} = \frac{83,66 \cdot 4,56 - 71,37 \cdot 1,35}{117,7} = 2,42 \text{ kV}$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}^b - j\delta U_{12}^b = 117,7 - 3,72 - j2,42 = 114 - j2,42 \text{ kV}$$

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'ndalldangiga tarkibiy qismi hisoblarga uncha ta'sir etmaydi. Shuning uchun ko'rilayotgan tarmoq uchun bo'ylamasiga tarkibiy qismini hisobga olsak, unda ikkinchi nuqta uchun

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}^b = 117,7 - 3,72 \approx 114 \text{ kV}$$

3, 4 tugundagi kuchlanishni aniqlaymiz

$$\Delta U_{23}^b = \frac{P_{23}^b \cdot r_{23} + Q_{23}^b}{U_2} = \frac{63,27 \cdot 2,23 + 50,27 \cdot 4,72}{114} = 3,26 \text{ kV}$$

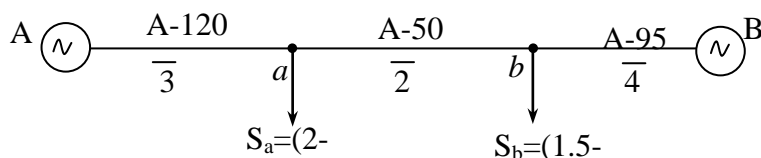
$$\Delta U_{34}^b = \frac{P_{34}^b \cdot r_{34} + Q_{34}^b \cdot x_{34}}{U_3} = \frac{42,09 \cdot 3,74 + 35,25 \cdot 6,4}{110,7} = 3,45 \text{ kV}$$

$$U_4 = 110,7 - 3,45 \approx 107,2 \text{ kV}$$

### 4.3.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar

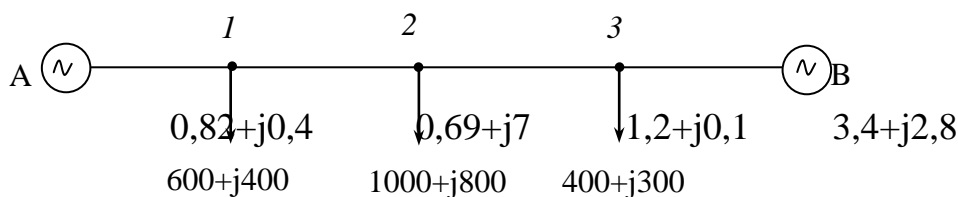
**1-misol.** 6.3.1-rasmda ko'rsatilgan iste'molchilar kuchlanishlari  $U_A=11$  kV,  $U_V=10,5$  kV bo'lgan ikki manbadan ta'minlanadi. Uchastkalar uzunligi (km)da, yuklamalar (MVA)da simlar markasi rasmda ko'rsatilgan.

Tok bo'linish nuqtasini va 6.3.1-rasmda ko'rsatilgan uchastkalardagi quvvat taqsimotini aniqlang:



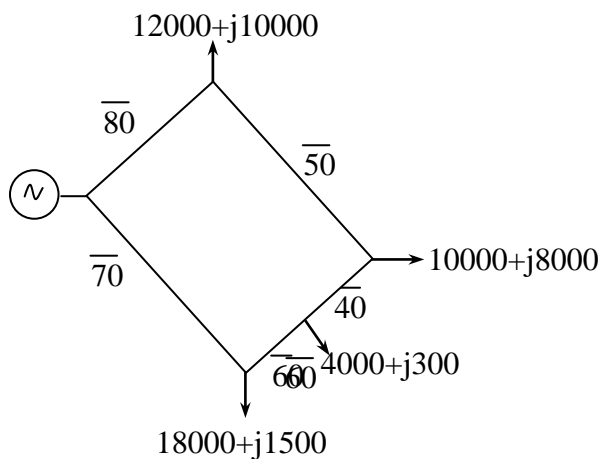
6.3.1-rasm

**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.



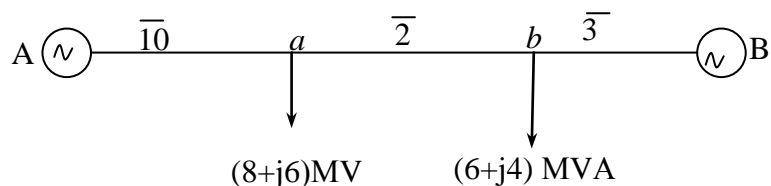
6.3.2-rasm

**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 podstansiyalardan ta'minlanadi. A va B podstansiyalar 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.



6.3.4-rasm

#### Nazorat savollari:

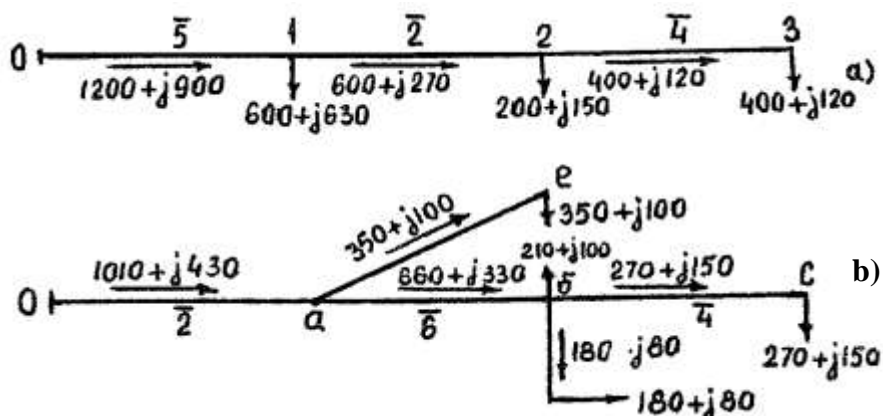
1. Uch chulg'amli transformatorlar chulg'amlarida energiya isrofi qanday?
2. Kuchlanishni yo'qotilishi kuchlanishni pasayishdan nima bilan farq qiladi?
3. Kuchlanish pasayishini bo'ylamasiga va ko'ndalangiga tarkibiy qismi quvvatlar orqali qanday ifodalanadi?
4. Qachon kuchlanish pasayishni bo'ylamasiga 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.

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U_H} \quad (5.1.1)$$

Maksimal yuklamada ishlash vaqti bilan yoki uni quyida keltirilgan ifoda orqali topib (liniyaning uzunligi bo'yicha juda ko'p iste'molchilar bo'lganda)

$$T = \frac{\sum_{I=1}^n P_{imaks} \cdot T_{imaks}}{K_o \sum_{I=1}^n P_{imaks}} \quad (5.1.2)$$

qizdirishga tekshirilishi kerak bo'lgan simning iqtisodiy kesim yuzasi Fiqt aniqlanadi.

So'ngra esa qarshiliklar har bir uchastka uchun jadvaldan topiladi:

$$R = r_o l, \varphi \varphi X = x_o l$$

Quvvat isrofi  $\Delta S$  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  $P_{1-2} = 600 + \Delta P_{2-3}$  va  $Q_{1-2} = 270 + \Delta Q_{2-3}$  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 uchastkalarda quvvat isroflarini qo‘shib aniqlanadi. Bu aniqlangan quvvat taqsimotidan 0-1 uchastkadagi quvvat isrofi topiladi. Bu bosh uchastkadagi quvvat taqsimotiga undagi quvvat isrofini qo‘shib oxiri 0 dan uzatayotgan to‘liq quvvat aniqlanadi.

5)  $\Delta U = \sum \frac{P_i R_i + Q_i X_i}{U_K}$  formula yordamida tarmoqning eng uzoqlashgan

nuqtasigacha bo‘lgan kuchlanish yo‘qotilishi topiladi. Agarda uning qiymati  $\Delta U_{rux}$  dan katta bo‘lsa unda simlarni kesim yuzasini kattalashtirish zarur.

110 kV va undan yuqori tarmoqlarini ishlash tartibi liniya generatsiya qiladigan quvvat hisobiga o‘zining maxsus xususiyatiga egadir.

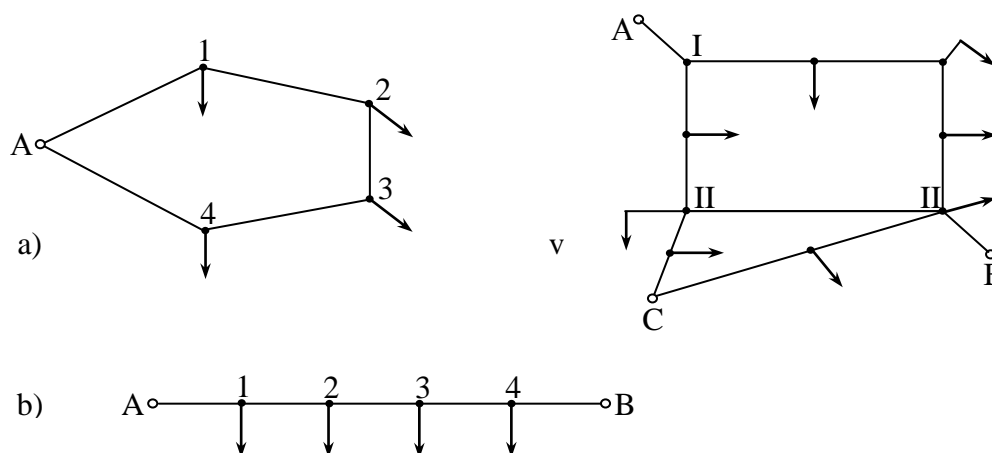
### **Nazorat savollari:**

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 tarafdin 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 tarafdin ta'minlangan tarmoq; v-murakkab berk zanjirli tarmoqning sxemasi.<sup>9</sup>

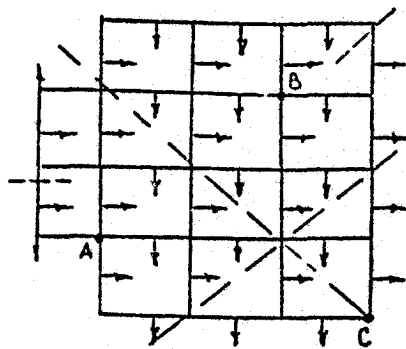
Oddiy berk zanjirli tarmoq bir ta'minlash manbaiga ega bo'lib xalqasimon ko'rinishda bo'lishi mumkin, unda uni berk zanjirli tarmoq deb aytiladi; yoki liniya ikkita ta'minlash manbaiga ega bo'lishi mumkin, bunda uni ikki tarafdin ta'minlovchi liniya deb aytiladi. Berk zanjirli tarmoqni ta'minlovchi manbadan bo'lib ikki tarafdin ta'minlanuvchi tarmoqqa keltirish mumkin.

<sup>9</sup> Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley & Sons, INC Publication, 2007, 260 p.

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



**5.2.2-rasm. Berk setkaning sxemasi.**

o'tkazilgan, kesishgan joylarni 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 vaqtli 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.

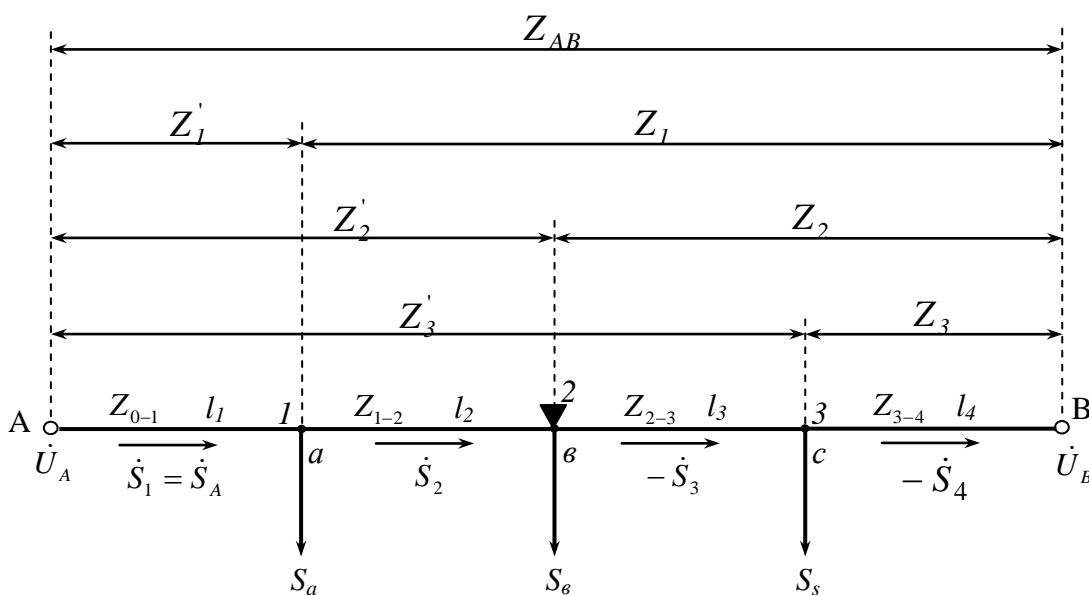
**Moslanuvchanlik.** Berk zanjirli tarmoqlarda qisqa vaqtli iste‘molchilarda yuklamani tebranishi yoki uzoq vaqtli uni o‘zgarishi, ochiq tarmoqlarga nisbatan kuchlanishni kam tebranishi va yo‘qotilishini yuzaga keltiradi.

**Kuchlanishning yo‘qotilishi.** Quvvatlarni tabiiy ravishda qaytadan taqsimlanishi tufayli ta‘minlovchi punktlarning kuchlanishlari bir xil  $U_{AqUV}$  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 potentsiallarning 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 barchasi yuklamalarni



**5.2.3 –rasm. Ikki tarafdin ta‘minlanadigan tarmoqning sxemasi.**

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  $S_s$  – 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  $\ell_1, \ell_2, \ell_3, \ell_4$  – 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

$$S_i^* = \sqrt{3} I_i^* U_i^*, \text{ unda } \Delta \dot{U}_i = \frac{S_i^*}{U_i^*} Z_i$$

Liniyalardagi quvvat isrofini hisobga olmasdan, ya'ni har bir uchastka uzunligi bo'yicha kuchlanishlarni o'zgarmas deb faraz qilib  $\dot{U}_1 = \dot{U}_2 = U_H$  mahalliy elektr tarmoqlari uchun mumkin bo'lgan holat). Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan A va V nuqtalar orasidagi kuchlanishning pasayishi uchun quyidagi tenglikni yozishimiz mumkin.

$$\dot{U}_A - \dot{U}_B = \frac{S_1^* Z_{01}}{U_N} + \frac{S_2^* Z_{12}}{U_N} + \frac{S_3^* Z_{23}}{U_N} + \frac{S_4^* Z_{34}}{U_N}$$

yoki

$$S_1^* Z_{01} + S_2^* Z_{12} + S_3^* Z_{23} + S_4^* Z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{U}_N \quad (5.2.1)$$

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:

$$S_1^* Z_{01} + S_2^* Z_{12} + S_3^* Z_{23} + S_4^* Z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{U}_N \quad (5.2.2)$$

Bu ifodani (5.2.1) tenglamaga qo‘ysak hosil bo‘ladi.

$$S_1^* Z_{01} + (S_1^* - S_a^*) Z_{12} + (S_1^* - S_a^* - S_e^*) Z_{23} + (S_1^* - S_a^* - S_e^* - S_c^*) Z_{34} = (\dot{U}_a - \dot{U}_e) \dot{U}_N.$$

yoki

$$S_1^* (Z_{01} + Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}) - S_a^* (Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}) - S_e^* (Z_{23} + Z_{34}) - S_c^* Z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_e) \dot{U}_N$$

Bundan punkt A dan liniyaga chiquvchi izlanayotgan quvvat teng bo‘ladi:

$$S_1^* = S_A^* = \frac{S_a^* (Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}) + S_e^* (Z_{23} + Z_{34}) + S_c^* Z_{34} + (\dot{U}_A - \dot{U}_B) U_H}{Z_{01} + Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}} \quad (5.2.3)$$

Belgilaymiz

$$Z_1^1 = Z_{01}; \quad Z_1 = Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}; \quad Z_2^1 = Z_{01} + Z_{12}; \quad Z_2 = Z_{23} + Z_{34}.$$

$$Z_3^1 = Z_{01} + Z_{12} + Z_{23}; \quad Z_3 = Z_{34}; \quad Z_{AB} = Z_{01} + Z_{13} + Z_{23} + Z_{34}$$

va bu kattaliklarni (5.2.3) formulaga qo‘ysak hosil bo‘ladi.

$$S_A^* = \frac{S_a^* Z_1 + S_e^* Z_2 + S_c^* Z_3}{Z_{AB}} + \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_B}{Z_{AB}} U_N \quad (5.2.4)$$

yoki ko‘p yuklamalar uchun umumiy ko‘rinishda:

$$S_A^* = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^* Z_i}{Z_{AB}} + \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_B}{Z_{AB}} U_N \quad (5.2.5)$$

Xuddi shunday formulani V nuqtadan chiquvchi quvvat uchun chiqarish mumkin

$$S_4^* = S_B^* = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^* Z_i^1}{Z_{AB}} + \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_B}{Z_{AB}} U_N \quad (5.2.6)$$

Bu yerda  $Z_i^1$  A punktdan har bir yuklamagacha bo‘lgan qarshilik.

$S_i^*$  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  $\nabla$ - 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  $S_a, S_v, S_s, S_n$  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 formulasi quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$S_A^* = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^* Z_i}{Z_{AB}} \quad (5.2.6a)$$

Shunday qilib bir ta‘minlash manбайдan 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 manбайдan 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.

$$S_A^* = P_A - jQ_A = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_i - jQ_i) \cdot (R_i + jX_i)]}{R_{AB} + jX_{AB}} \quad (5.2.7)$$

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.

$$Y = \frac{I}{Z_{AB}} = G_{AB} - jB_{AB}$$

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:

$$S_{AB}^* = (G_{AB} - jB_{AB}) \cdot \sum_1^n [(P_i - jq_i)(R_i + jX_i)] ,$$

hamma amallarni qo‘llab haqiqiy va mavhum qiymatlarga ajratib olamiz:

$$P_A = G_{AB} \sum_1^n (P_i R_i + q_i X_i) - B_{AB} \sum_1^n (R_i X_i - q_i R_i)$$

$$Q_A = G_{AB} \sum_1^n (R_i X_i - q_i R_i) + B_{AB} \sum_1^n (P_i R_i + q_i X_i) \quad (5.2.8)$$

(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 asoslanib 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 tarafdin 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

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

unda (5.2.5) formulani quyidagicha o'zgartirish mumkin.

$$S_A^* = \frac{\sum_1^n \cdot S_i^* Z_i}{Z_{AB}} = \frac{\sum_1^n \cdot S_i^* (R_i + jX_i)}{R_{FB} + jX_{AB}},$$

va  $x=mR$  va  $X_{AB}=mR_{AB}$  qo'yib olamiz

$$S_A^* = \frac{\sum_1^n \cdot S_i^* (1+jm)R_i}{(1+jm)R_{AB}} = \frac{\sum_1^n \cdot S_i^* R_i}{R_{AB}} = \frac{\sum_1^n \cdot P_i R_i}{R_{AB}} + j \frac{\sum_1^n \cdot q_i R_i}{R_{AB}} \quad (5.3.1)$$

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.

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_1^n \cdot \dot{S}_i R_i}{R_{AB}} = \frac{\sum_1^n \cdot P_i R_i}{R_{AB}} + j \frac{\sum_1^n \cdot q_i R_i}{R_{AB}} \quad (5.3.2)$$

2. Ko'ndalang kesim yuzasi bir xil, butun uzunlik bo'yicha liniya bir turli, ya'ni ko'pincha amaliy uchraydigan  $r_0=const$  bo'lsa biz (5.3.2) dan  $R_i=r_0L_i$  va  $R_{AB}=r_0L_{AB}$  bilan almashtirishimiz mumkin, Bu yerda  $L_i$  – tegishli yuklamadan  $V$  punktgacha bo'lgan masofa,

$L_{AB}$ - liniyaning butun uzunligi, unda bo'ladi:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_1^n \cdot P_i r_0 L_i}{r_0 L_{AB}} + j \frac{\sum_1^n \cdot q_i r_0 L_i}{r_0 L_{AB}} \quad (5.3.3)$$

yoki



$$P_A = \frac{\sum_{i=1}^n P_i L_i}{L_{AB}} \quad Q_A = \frac{\sum_{i=1}^n q_i L_i}{L_{AB}} \quad (5.3.4)$$

Bu holda hisoblashni liniyaning uzunligi bo'yicha ayrim aktiv va ayrim reaktiv yuklamalarni taqsimlanishini aniqlab, olib borish mumkin.

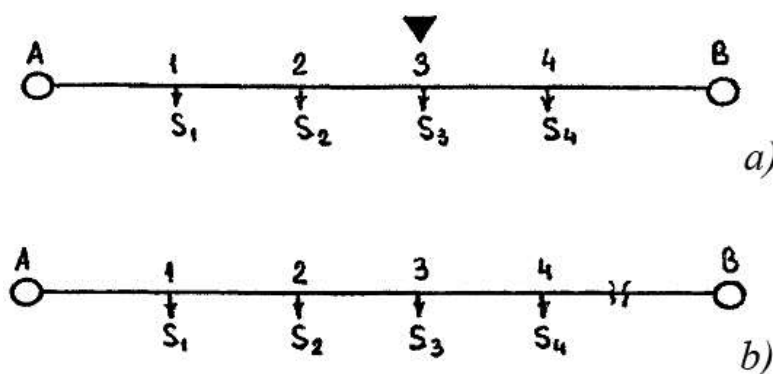
3. **Bir xil quvvat koeffitsiyentiga ega bo'lgan yuklamali liniyalarda** hamma yuklamalarning  $\cos \varphi$  bir xil va liniyalar bir turda bo'lsa, unda hisoblashni (5.3.2) formulaga asosan to'liq quvvatlarning qiymatlarni qo'yib olib borish mumkin, yuklamaning reaktiv qismi bo'lmasa ( $\cos \varphi = 1$ ) 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 liniyalardan 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. Magistral 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. Uchastkalar bo'yicha quvvat taqsimlanishi aniqlangandan so'ng, eng uzoqlashgan nuqtigacha bo'lgan kuchlanish yo'qotilishi topiladi va tanlangan kesim yuzasi qizish darajasi bo'yicha tekshiriladi.

Tekshirish, shikast holatida ruxsatlangan kuchlanishni yo'qotilishi yoki mumkin bo'lgan qizish toki oshib ketganligini ko'rsatsa, unda simning kesim yuzasini kattalashtirish kerak.

Ikkinchi holat bo'yicha har xil kesim yuzasini qo'llashda ham, tarmoqni hisoblash tartibi yuqorida ko'rsatilgandek bo'ladi.

Liniyani bir turli deb ko'rsatib, avval normal holat uchun uchastkalar bo'yicha dastlabki quvvat taqsimlanishi aniqlanadi. So'ngra, topilgan quvvat taqsimlanishiga asoslanib har bir uchastka uchun simning iqtisodiy kesim yuzasi topiladi va ularni

qizishga chidamliligi normal va shikastlangan holat uchun tekshiriladi. So'ngra normal holat (5.2.5) yoki (5.2.6) formulalar yordamida qaytadan quvvat taqsimlanadi va tanlangan kesim yuzasi normal va shikastlangan holat uchun ruxsatlangan kuchlanishni yo'qotilishiga tekshiriladi.

Agarda tanlangan kesim yuzasi mumkin bo'lgan kattaliklarni qoniqtirmasa, kesim o'zgartirilib, hisoblash yana takrorlanadi.

Ba'zan normal holatda aktiv va reaktiv quvvatlarni bo'linish nuqtalari bir-biriga to'g'ri kelmaydi, unda eng katta kuchlanish yo'qotilishini topish uchun birinchi va ikkinchi nuqtalargacha hisoblash kerak va kesim yuzasini to'g'riligiga kuchlanish yo'qotilishini eng katta qiymati bo'yicha baho berish kerak.

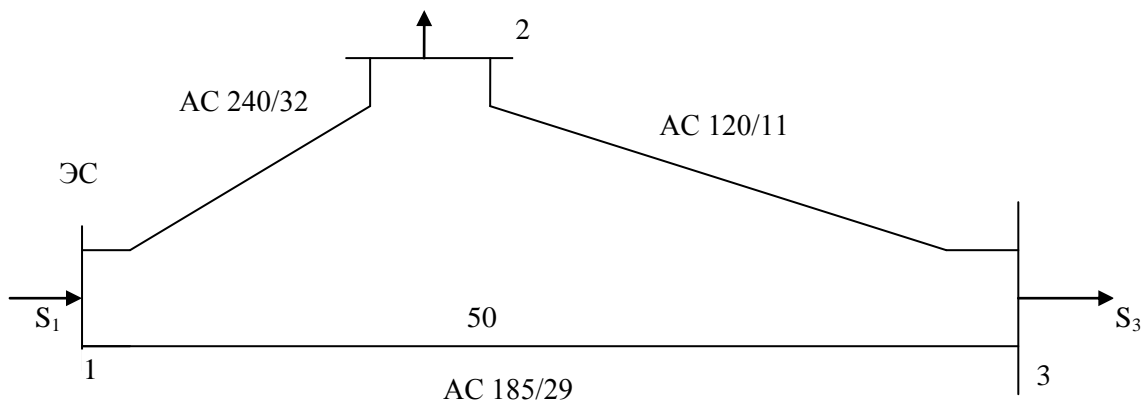
Shoxobchaga ega bo'lgan berk zanjirli tarmoqlarda eng katta kuchlanish yo'qotilishi, bo'lish nuqtasida bo'lmay, balki shoxobchaning eng uzoqlashgan nuqtasida bo'lishi mumkin. Shoxobchalar uchun simlarni kesim yuzasi sho'lasimon tarmoqlarni hisoblash usuli kabi shoxobchadan bo'lish nuqtasigacha qolgan ruxsatlangan kuchlanishni yo'qotilishi bo'yicha aniqlanadi.

**Nazorat savollari:**

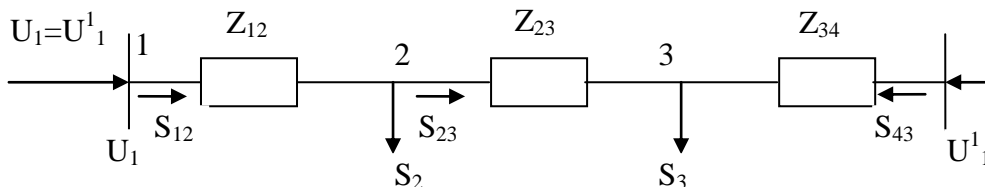
1. Oddiy berk zanjirli tarmoqlarda quvvat taqsimlanishi qanday hisoblanadi?
2. Quvvat taqsimlanishini hisoblashda tarmoq simlarining kesim yuzasi qanday tanlanadi?

### 5.4.1. Mavzuga doir misollar

1-Misol. 110 kV kuchlanishli xalqasimon tarmoq elektr stansiyani  $S_2=36,18+j29,17$  MVA va  $S_3=39,2+j32,89$  mVA quvvatga ega podstansiyalar bilan bog'laydi. Simlar markasi va liniyalar uzunligi rasmda ko'rsatilgan. Ularning qarshiliklari tegishli holda  $Z_{12}=3,6+j12,15$  Ohm;  $Z_{23}=9,84+j10,21$  Ohm;  $Z_{13}=8,1+j20,65$  Ohm elektr stansiya shinasidagi kuchlanish 117,7 kV. Elektr stansiyasi shinasidan keladigan quvvatni aniqlang. Hisoblarni quvvat isrofini hisobga olmasdan amalga oshiring.



1-tugundan tarmoqni kesib ikki tarafdin ta'minlanadigan liniyaga keltiramiz.



Bo'linish nuqtasini aniqlash uchun 5.2.6 a ifodani ishlatib, xalqasimon tarmoqdagi taxminiy quvvat taqsimlanishini aniqlaymiz.

$$S_{12} = \frac{(36,18 + j29,17) \cdot (9,86 - j10,21 + 8,1 - j20,65) + (39,2 + j20,65) + (39,2 + j32,89) \cdot (8,1 - j20,65)}{3,6 - j12,15 + 9,84 - j10,21 + 8,1 - j20,65}$$

$$= 44,82 + j36,75 \text{ mVA}$$

$$S_{43} = \frac{(39,2 + j32,89) \cdot (9,84 - j10,21 + 3,6 - j12,15) + (36,18 + j29,17) + (3,6 - j12,15)}{3,6 - j12,15 + 9,84 - j10,21 + 8,1 - j20,65}$$

$$= 30,56 + j25,31 \text{ mVA}$$

Berk tarmoq liniyalarining boshidagi quvvat taqsimlanishini  $S_{12}+S_{43}=S_2+S_3$  sharti bilan to'g'riligini tekshiramiz.

$$44,82 + j36,75 + 30,56 + j25,31 = 75,38 + j62,06 \text{ mVA}$$

$S_{12}$  va  $S_{43}$  – to‘g‘ri aniqlandi. 2-tugun uchun Kirxgofni birinchi qonunini ishlatib 23-liniyadagi quvvat taqsimlanishini aniqlaymiz.

$$S_{23} = S_{12} - S_2 = 44,82 + j36,75 - (36,18 + j29,17) = 8,64 + j7,58 \text{ mVA}$$

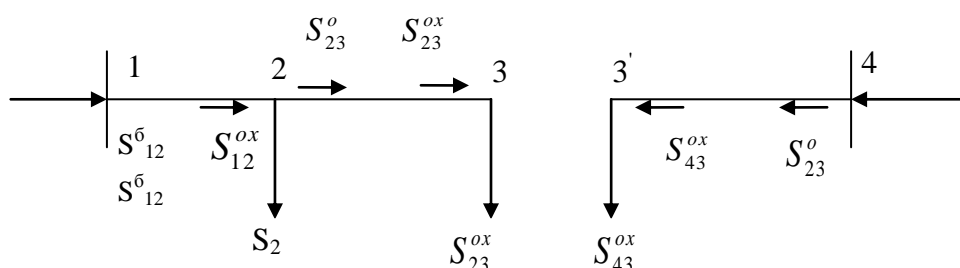
3-tugun aktiv va reaktiv quvvat taqsimlanishini bo‘linish nuqtasi. Quvvat isrofini hisobga olmagan holda elektr stansiya shinasidan kelayotgan quvvat teng.

$$S_1 = S_{12} - S_{43} = 75,38 + j62,06 \text{ mVA}$$

Misolni liniyalarda bo‘ladigan quvvat isrofini hisobga olib davom etamiz.

$S_{12}$ ,  $S_{23}$ ,  $S_{43}$  quvvatlar isrofini hisobga olmasdan aniqlangan. Ikki tarafdin ta‘minlangan liniyani bo‘linish nuqtasi 3 da qirqamiz. 3 va 3’ nuqtalardagi yuklama teng.

$$S_{23}^{ox} = 8,64 + j7,58 \text{ mVA} = S_{23}; \quad S_{43}^{ox} = 30,56 + j25,31 \text{ mVA} = S_{43}$$



23, 12 liniyalarda quvvat oqimini aniqlaymiz.

23-liniya oxiridagi quvvat  $S_{23}^{ox} = S_{23} = 8,64 + j7,58 \text{ mVA}$  23-liniyadagi quvvat isrofi

$$\Delta S_{23} = \frac{8,64^2 + 1,58^2}{110^2} \cdot (9,84 + j10,21) = 0,11 + j0,11 \text{ mVA}$$

12-liniya oxiridagi quvvat

$$S_{12}^{ox} = S_{23}^{ox} + \Delta S_{23} + S_2 = 8,64 + j7,58 + 0,11 + j0,11 + 36,18 + j29,17 = 44,93 + j36,86 \text{ mVA}$$

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

$$S_{12}^{ox} = S_{12}^{ox} + \Delta S_{12} = 44,93 + j36,86 + 1 + j3,39 = 45,93 + j40,25 \text{ mV} \cdot A$$

43-liniyadagi quvvatni hisoblaymiz.  $S_{43}^{\phi} = 30,56 + j25,31 \text{ mVA}$  43-liniya oxiridagi quvvat

$S_{43}^b = 30,56 + j25,31 \text{ mVA}$ . 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

$$S_1 = S_{12}^b + \Delta S_{43}^b = 45,93 + j40,25 + 31,61 + j28 = 77,54 + j68,25 \text{ mVA}$$

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  $\Delta U_{e.k}$  (eng kata) hamda ko'ndalangiga quvvat isrofini hisobga olmay amalga oshiramiz.

$U_1 = U_4 = 117,7 \text{ kV}$  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

$$U_{ek} = \Delta U_{13} = \Delta U_{12} + \Delta U_{23} = 5,16 + 1,44 \text{ kV}$$

Quvvat isrofini hisobga olib eng katta kuchlanish yo'qotilishi  $\Delta U_{e.k}$  ni aniqlaymiz:

$$\Delta U_{43} = \frac{3,56^2 \cdot 8,1 + 28 \cdot 20,65}{117,7} = 7,1 \text{ kV}$$

$$U_3' = 117,7 - 7,1 \approx 110,6 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{45,93 \cdot 3,6 + 40,25 \cdot 12,15}{117,7} = 5,56 \text{ kV}$$

$$U_2 = 117,7 - 5,56 \approx 112,1 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{23} = \frac{8,75 \cdot 9,84 + 7,69 \cdot 10,21}{112,1} = 1,47 \text{ kV}$$

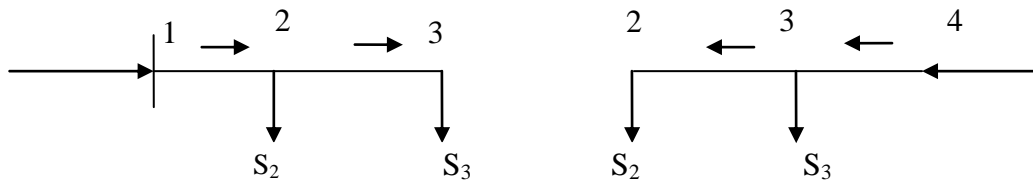
$$U_3 = 112,1 - 1,47 \approx 110,6 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{13} = 5,56 + 1,47 = 7,03 \text{ kV}$$

Eng katta quvvat isrofi bo'yicha xatolik

$$\Delta U_{43} - \Delta U_{13} = 0,07 \text{ kV}$$

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  $\Delta U_{e.k}$  ni aniqlaymiz:

$$\Delta U_{12avar} = \frac{75,38 \cdot 3,6 + 62,06 \cdot 12,15}{117,7} = 8,71 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{23avar} = \frac{39,2 \cdot 9,84 + 32,89 \cdot 10,21}{109} = 6,62 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{13avar} = 8,71 + 6,62 = 15,33 \text{ kV}$$

12-liniya uzilgan holatida

$$S_{43} = S_2 + S_3 = 39,2 + j32,89 + 36,18 + j29,17 = 75,38 + j62,06 \text{ mVA}$$

$$S_{23} = S_2 = 36,18 + j29,17 \text{ mVA}$$

$$\Delta U_{43avar} = \frac{75,38 \cdot 8,1 + 62,06 \cdot 20,65}{117,7} = 16,08 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{3avar} = 117,7 - 16,08 \approx 101,6 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{32avar} = \frac{36,18 \cdot 9,84 + 29,17 \cdot 10,21}{101,6} = 6,44 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{2avar} = 101,6 - 6,44 \approx 95,2 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{42avar} = 16,08 - 6,44 \approx 22,05 \text{ kV}$$

Avariya holatida eng katta kuchlanish yo'qotilishi 12 liniya uzilganda bo'ladi, ya'ni  $\Delta U_{avar e.k} = \Delta U_{42avar} = 22,5 \text{ kV}$ ,  $\Delta U_{avar e.k} \% = 20,5\%$ .



---

## 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 yuqoriroq 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.

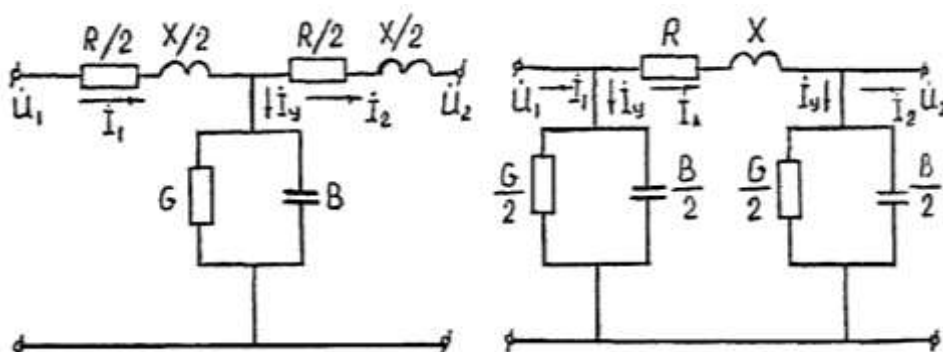
Nominal kuchlanish, kV	110	220	330	500	750	(Q750)
Liniyaning uzunligi, km	160	240	300	1100	2000	(2000-2500)

Hamma yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlar aktiv va sig'im o'tkazuvchanliklariga egadir. O'tkazuvchanliklarning bo'lishi liniyalarda sirqish va sig'im toklarini yuzaga keltiradi, uning qiymati yuklamaga bog'liq bo'lmay, balki liniyaning tuzilishi, uzunligi va ish kuchlanishi  $U_H$  bilan aniqlanadi.

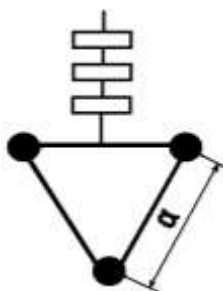
Taqsimlovchi elektr tarmoqlarida o'tkazuvchanlik hisobga olinmaydi, chunki bu liniyalar nisbatan kichik uzunlik  $\ell$ , kuchlanish  $U$  ga egadir va o'tkazuvchanlik toklari yuklama toklariga nisbatan ancha kichikdir.

Katta  $\ell$  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 uzunlikkacha 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 simga 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.

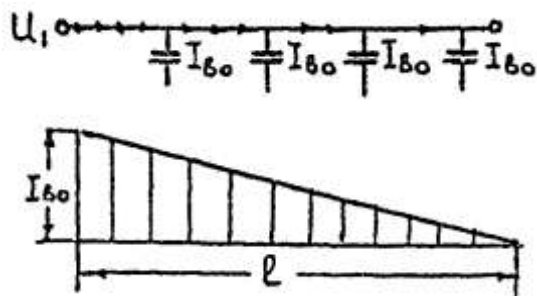
Liniyaning o‘tkazish qobiliyatini oshirish (X-ni kamaytirish) va uch fazali tok liniyasini tojlanishdagi elektr energiya isrofini kamaytirish uchun 330, 500, 750 kV kuchlanishli liniyalar bo‘lingan fazali qilib bajariladi. Faza simlarining kesim yuzasi bir simlardagiga o‘xshab aniqlanadi.  $n$  - simga 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‘imlarida 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:

$$I_{v_o} = U_f v_o = \frac{U_N}{\sqrt{3}} v_o \quad (6.1.1)$$

Sig‘im toki liniyaning uzunligiga mutonosib ravishda o‘zgaradi. Liniyaning boshidagi sig‘im toki liniyaning hamma sig‘im toklarining yig‘indisidan iborat bo‘lib, teng bo‘ladi:

$$I_v = I b_o \cdot \ell = \frac{U_N}{\sqrt{3}} v_o \cdot \ell = \frac{U_N}{\sqrt{3}} \cdot B_l \quad (6.1.2)$$



### 6.1.2. rasm. Liniyaning uzunligi bo'yicha sig'im toklarining o'zgarishi.

Liniyaning haqiqiy tokining yig'indisi har bir nuqtadagi yuklama toki va  $I_{V_0}$  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.

$$I_{\epsilon} = I_{\epsilon 1} + I_{\epsilon 2} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{B}{2} + \frac{U_2}{\sqrt{3}} \frac{B}{2} \quad (6.1.3)$$

yoki taxminan nominal kuchlanishda

$$I_B = 2 \frac{U_H}{\sqrt{3}} \frac{B}{2} = \frac{U_H}{\sqrt{3}} B \quad (6.1.4)$$

bu holatda

$$I_{B1} = I_{B2} = \frac{I_B}{2}$$

Keltirilgan formuladan ko'rinadiki sig'im toki  $U$ ,  $b_0$  va  $l$  ga to'g'ri mutonosibdadir.  $B_0$  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  $\ell$  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 liniyalarnikiga 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 liniyani reaktiv sig'im quvvat ishlab chiquvchi, deb qarash mumkin. Sig'im quvvati (mVAr/km) quyidagi formuladan aniqlanadi va liniyaning zaryad quvvati deb ataladi.

$$Q_{\epsilon_0} = \sqrt{3}UI_{\epsilon_0} = \sqrt{3}U \frac{U}{\sqrt{3}} \epsilon_0 = U^2 \epsilon_0 \quad (6.1.5)$$

Zaryad quvvati teskari ishoraga ega bo'lib, liniyadan iste'molchiga 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  $D_{o,r}=11,2$  m.

Yechish: Fazasi bir simli liniyaning solishtirma reaktiv o‘tkazuvchanligi.

$$b_o = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{o,r}}{r}} \cdot 10^{-6} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\frac{11200}{16,6}} = 2,68 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{Om} \cdot \text{km}};$$

Liniyaning zaryad toki

$$I_b = \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot b_o \cdot l = \frac{330 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 350 = 178 \text{ A}$$

Liniyaning zaryad quvvati

$$Q_B = U^2 \cdot b_o \cdot l = 330 \cdot 2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 350 = 102 \text{ mVAr}$$

2-Misol. Agarda liniya fazalari 2xASO-240 simidan tayyorlangan bo‘lib, ekvivalent radius req6,55 sm bo‘lsa, zaryad quvvati qanday bo‘ladi?

Yechish:

$$b_o = \frac{7,58}{\lg \frac{1120}{6,55}} \cdot 10^{-6} = 3,28 \cdot 10^{-6} \text{ sm/km}$$

Hisoblar shuni ko‘rsatadiki faza simlari bo‘lganda liniyaning o‘tkazuvchanligi 22% ga ko‘payadi.

Zaryad quvvati

$$Q_B = 330^2 \cdot 3,28 \cdot 10^{-6} \cdot 350 = 125 \text{ mVAr}$$

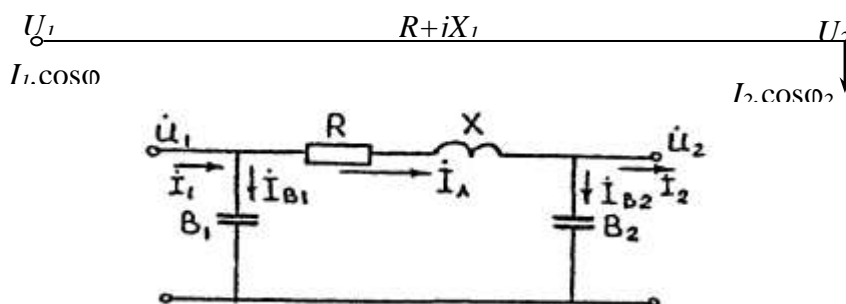
Zaryad toki

$$I_B = \frac{125}{\sqrt{3} \cdot 330} = 218 \text{ A}$$

## 6.2. Elektr uzatuv liniyasining vektor diagrammasi

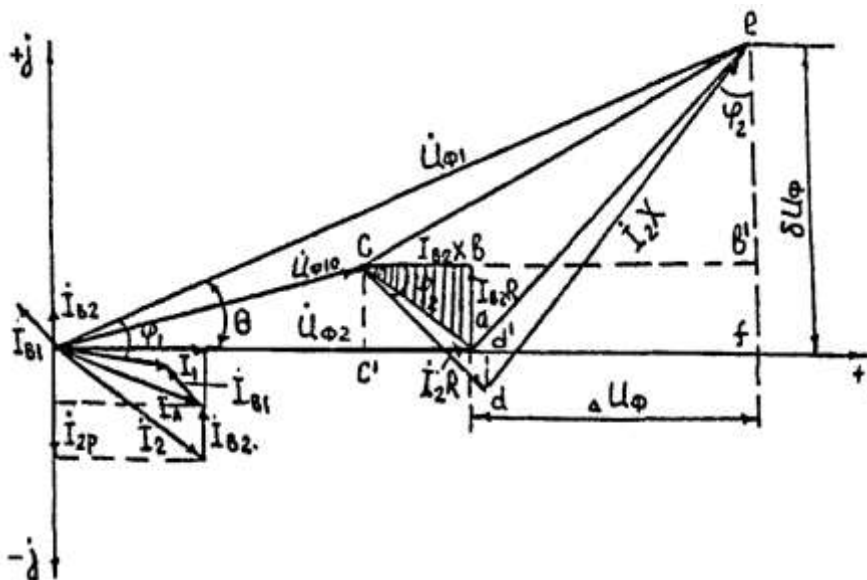
Taqsimlovchi elektr uzatish liniyasining (6.2.1-rasm) vektor diagrammasini tuzishda tojlanishda bo‘lgan quvvat isrofi yo‘q deb faraz qilamiz. Berilgan: liniyaning oxiridagi tok  $I_2$  quvvat koeffitsiyenti  $\cos\varphi_2$  va kuchlanish  $U_2$ . Aniqlash kerak: liniyaning boshidagi  $U_1$ ,  $I_1$ ,  $\cos\varphi$ . Masalani grafik usulda yechamiz. Vektor  $U_{F2}$  haqiqiy o‘q bilan ustma-ust tushadi.

Vektor diagrammadan (6.2.2-rasm) ko‘rinadiki: sig‘im toki liniyadagi kuchlanish pasayishini bo‘ylamasiga tarkibiy qismini  $a^1$  kattalikka kamaytiradi va ko‘ndalangiga tarkibiy qismini esa  $b^1 f$  kattalikka ko‘paytiradi. Shunday qilib, liniyadagi kuchlanish yo‘qotilishi kamayadi,  $\dot{U}_{f1}$  va  $U_{f2}$  orasidagi fazalar burilishi esa kattalashadi.



6.2.1-rasm. Elektr uzatish liniyasining almashtiruv 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

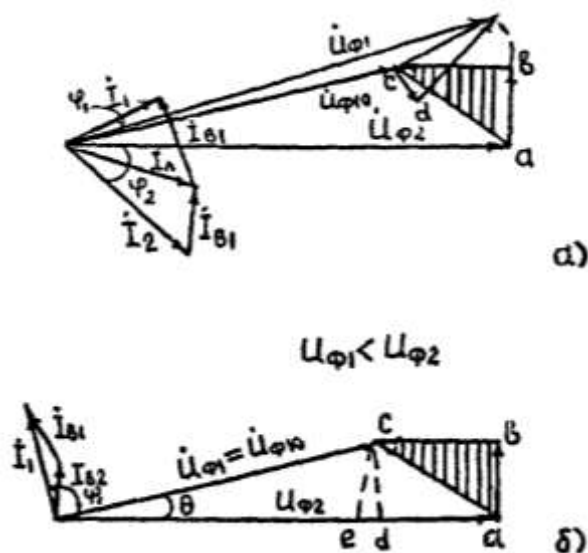


6.2.2-rasm. Ta‘minlovchi elektr uzatish liniyasining vektor diagrammasi.

imkon beradi. Bir necha katta bo‘lmagan yuklamalarda toki tufayli  $i_2$  bo‘lgan kuchlanish yo‘qotilishi va sig‘im  $i_{B2}$  toki tufayli bo‘lgan kuchlanish yo‘qotilishi bir–birini o‘rnini 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 ushlab imkon beradi. Bir necha katta bo‘lmagan yuklamalarda toki tufayli  $i_2$  bo‘lgan kuchlanish yo‘qotilishi va sig‘im  $i_{B2}$  toki tufayli bo‘lgan kuchlanish yo‘qotilishi bir–birini o‘rnini to‘ldiradi (6.2.3 a-rasm). Bu holatda liniyaning boshi va oxiridagi kuchlanishlarning tengligida quvvat uzatilishi amalga oshiriladi.

Keyingi yuklamaning kamayishidan  $i_{B2}$  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. ( $U_{\phi 1} < U_{\phi 2}$ )



**6.2.3 rasm. a) kam yuklama b‘lganida; b) salt yurish holatida elektr uzatish liniyasining vektor diagrammalari.**

Liniyaning salt ishlash holatida ( $i_2 = 0$ )  $i_{B2}$  sig‘im tokidan faqat manfiy kuchlanishning yo‘qotilishi yuzaga kelib, liniyaning oxiridagi kuchlanish



boshidagidan  $ad \approx ae$  kattalikka (6.2.3b-rasm), ya'ni  $I_{B2}$ -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 holatdan qutulish uchun uzatish liniyasining bir qator punktlariga parallel reaktorlar ulanib, ko'ndalangiga sig'im kompensatsiya qilinadi.

**Ikkinchi natija.**  $I_{B_0}$  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:

$$\dot{U}_{f1} = \dot{U}_{f2} + \Delta \dot{U}_f + j\delta \dot{U}_f$$

yoki quvvatlar orqali:

$$\dot{U}_{f1} = \dot{U}_{f2} + \frac{P_{f2} R + (Q_{f2} - Q_{f2}) X}{U_{f2}} + j \frac{P_{f2} R + (Q_{f2} - Q_{f2}) R}{U_{f2}}$$

va liniya kuchlanishlariga o'tgan holda:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \frac{P_2 R + (Q_2 - Q_{B2}) X}{U_2} + j \frac{P_2 X - (Q_2 - Q_{B2}) R}{U_2}$$

Bu yerda: R va X qarshiliklari orqali oqadigan quvvat.

$$P_2 + j(Q_2 - Q_{B2}) = P_2 + jQ_{\wedge}$$

Liniyaning salt yurish holatida

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \frac{Q_{B2} X}{\dot{U}_2} + j \frac{Q_{B2} R}{\dot{U}_2}$$

Bu formulalar va uzatish liniyasining vektor diagrammasi liniyaga ulangan har xil yuklamalarda, liniyaning sig'ım 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  $\hat{S}=50-j30$  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 transformatorni 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

$$R=r_0 l=0,132 \cdot 140=18,5 \text{ Om}; B=b_0 l=2,84 \cdot 140 \cdot 10^{-6} \approx 400 \cdot 10^{-6} \text{ sm},$$

$$x=ho l=0,39 \cdot 140=54,5 \text{ Om}$$

Liniyaning boshidagi zaryad quvvati

$$Q_{B1} = U^2 \cdot \frac{B}{2} = 120^2 \cdot \frac{400 \cdot 10^{-6}}{2} \approx 2,9 \text{ MVAr}$$

Uzatishning boshidagi quvvat

$$\hat{S}_1 = 50 - j(30 + 2.9) = 50 - j32,9 \text{ MVA}$$

Yuklama holatida liniyaning oxiridagi kuchlanish

$$\begin{aligned} U_2 = U_1 - \frac{PR + Qx}{U_1} &= 120 + \frac{50 \cdot 18,5 + 32,9 \cdot 54,5}{120} - j \frac{50 \cdot 54,5 - 32,9 \cdot 18,5}{120} = \\ &= (120 - 22,7) - j17,6 = 99 \text{ kV} \end{aligned}$$

Agarda liniyani energetika sistemasiga ulanish nuqtasida kuchlanish 108 kV ga teng bo'lsa, unda uzatish liniyasining oxiriga quyidagi  $K_t=108/99=1,09$  li

rostlanadigan avtotransformator (volt qo‘shuvchi transformator) o‘rnatish talab etiladi.

Liniya qarshiliklaridagi quvvat isrofi va uzatish zvenosini oxiridagi quvvat quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi.

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R = \frac{50^2 + 32,9^2}{120^2} \cdot 18,5 = 4,6 \text{ MVt}$$

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot X = \frac{50^2 + 32,9^2}{120^2} \cdot 54,5 = 13,6 \text{ MVar}$$

$$S_2^1 = (50 - 4,6) - j(32,9 - 13,6) = 45,4 - j19,3 \text{ MVA}$$

Liniya oxiridagi zaryad quvvati

$$Q_{B2} = U_2^2 B_n / 2 = 99^2 \cdot 400 \cdot 10^{-6} / 2 \approx 2 \text{ MVar}$$

Energetika sistemasiga kelayotgan quvvat

$$S_2^1 = S_1^0 - Q_3 = 45,4 - j(19,3 - 2) = 45,4 - j21,3 \text{ MVA}$$

Quvvat koeffitsiyenti  $\cos\varphi_2 = 0,9$  FIK  $\eta = 45,4/50 \cdot 100 = 90,8 \%$ .

2-Misol. 220 kV kuchlanishli 160 km uzunlikdagi liniya orqali elektr stansiya shinasidan energetika sistemasining asosiy tarmog‘iga  $S_1^1 = 100 - j50 \text{ MVA}$  quvvat uzatilmoqda. Liniya temir-beton tayanchlarda, faza simlari orasidagi masofa  $D = 7 \text{ m}$  da gorizonta joylashgan AS-300 simdan tayyorlangan sistemaga ulash nuqtasidagi kuchlanish  $U_2 = 210 \text{ kV}$  bo‘lganda liniya boshidagi kuchlanishni toping.

Yechish: Jadvaldan AS-300 sim uchun ma’lumotlarni olamiz  $r_0 = 0,107 \text{ Om/km}$ ;  $d = 24,2 \text{ mm}$ ;  $h_0 = 0,425 \text{ Om/km}$ ;  $b_0 = 2,67 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$ .

Liniyaning parametrlarini aniqlaymiz.

$$D_{o,r} = D \cdot \sqrt{2} = 7 \cdot 1,26 = 8,8 \text{ m}; \quad R = r_0 \cdot l = 0,107 \cdot 160 = 17 \text{ Om};$$

$$x = x_0 \cdot l = 0,425 \cdot 160 = 680 \text{ Om}; \quad B = b_0 \cdot l = 2,67 \cdot 10^{-6} \cdot 160 = 427 \text{ sm}$$

Liniyaning boshidagi zaryad quvvatini aniqlaymiz

$$Q_{B1} = Q_{B2} = U_n^2 \cdot \frac{B_n}{2} = 220^2 \cdot \frac{4,27 \cdot 10^{-6}}{2} = 10,3 \text{ mVar}$$

Liniyaning boshidagi quvvat

$$S_1^0 = 100 - j(50 + 0,3) = 100 - j60,3 \text{ MVA}$$

Liniyadagi quvvat isrofi

$$\Delta P = \frac{100^2 + 60,3^2}{220^2} \cdot 17 = 4,8 \text{ MVt}$$

$$\Delta Q = \frac{100^2 + 60,3^2}{220^2} \cdot 68 = 19,2 \text{ MVAr}$$

Uzatish tarmog'i oxiridagi quvvat

$$\overset{o}{S}_2 = (100 - 4,8) - j(60,3 - 19,2) = 95,2 - j41,1 \text{ MVA}$$

Elektr uzatuv liniya boshidagi kuchlanish

$$\begin{aligned} U_1 &= 220 + \frac{90,2 \cdot 16,8 + 41,1 \cdot 68}{210} - j \frac{95,2 \cdot 68 - 41,1 \cdot 16,8}{120} = \\ &= 231 - j27,5 = 232 \text{ kV} \end{aligned}$$

Energetika sistemasiga keladigan quvvat

$$\overset{o}{S}_2 = 95,2 - j(41,1 - 10,3) = 95,2 - j51,4 \text{ MVA}$$

FIK  $\eta = (95,2/100) \cdot 100 = 95,2 \%$ .

$U_1$  ni 232 kV qabul qilishimiz liniya oxirida  $U_2 = 211$  kV olishimizga imkon beradi. Ushbu usulda quvvatlarni hisoblash 0,47% xatolikni beradi.

### 6.3. Katta uzunlikka ega bo'lgan liniyalarning hisobi

Bir turli EULsi parametrlari bir xil taqsimlangan elektr zanjirini ifodalab, bunda qarshiliklar  $z_o = r_o + jx_o$  va o'tkazuvchanliklar  $y_o = g_o + jb_o$  - zanjirni uzunligida o'zgarish deb qaraladi. Tok va kuchlanish liniyada doim o'zgarib turadi: tok o'tkazuvchanlikdagi toklar, kuchlanish qarshiliklarda kuchlanishni pasayishi  $\Delta U$  sababli o'zgaradi.

Energiyani liniyadan to'liqsimon xarakterda uzatishda tok va kuchlanishning o'zgarishi, nazariy elektrotexnika kursidan ko'rilgan katta uzunlikdagi liniyalar uchun tenglamalardan ma'lum bo'lib, ma'lum uzunlikdagi liniyaning boshi va oxiridagi kuchlanishlar  $U_1$  va  $U_2$ , toklar  $I_1$  va  $I_2$  orasidagi bog'lanishlarni beradi.

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 \operatorname{ch}\sqrt{ZU} + \dot{I}_2 \sqrt{3} \sqrt{\frac{Z}{U}} \operatorname{sh}\sqrt{ZU} \quad (6.3.1)$$

$$\dot{I}_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_2 \sqrt{\frac{Y}{Z}} \operatorname{sh}\sqrt{ZU} + \dot{I}_2 \operatorname{ch}\sqrt{ZU} \quad (6.3.2)$$

Bu yerda isrofsiz liniyalar uchun ( $r_o=0$ ,  $g_o=0$ )

$$z_o = j\omega L_o \ell, \quad y_o = j\omega C_o \ell,$$

$$\sqrt{z_o y_o} = j\omega \ell \sqrt{L_o C_o} = j\lambda, \quad \sqrt{z_o / y_o} = \sqrt{L_o / C_o}$$

$$\ell_{\lambda} = \omega \ell \sqrt{L_o C_o} = \omega \sqrt{LC} - \text{liniyaning to'liqsimon uzunligi}$$

$$Z_c = \sqrt{L_o / C_o} = \sqrt{L / C} - \text{liniyaning to'liqsimon qarshiligi.}$$

Haqiqiy liniya uchun

$$Z_c = \sqrt{L_o / C_o} = \sqrt{L / C}$$

O'ta yuqori kuchlanishli zamonaviy ( $U > 330$  kV) liniyalarni isrofsiz liniyalar deyiladi, chunki katta miqdordagi quvvatni o'tkazish uchun ularda kesim yuzasi katta bo'lgan simlar qo'llaniladi.

Masalan, Konakovo-Leningrad liniyasining har bir fazasi kesim yuzasi  $240 \text{ mm}^2$  li 5 ta bo'lingan simdan tashkil topgan. Shunday qilib,  $F = 1200 \text{ mm}^2$ .  $F$  ni katta qiymatlarida  $R \ll X$  hamda bu liniyalarda  $g_o \ll b_o$ , chunki tokni sirqib ketishi va tojlanishda isrofi (faza simlari bo'lingan va katta kesim yuzasiga egadir) katta emas.

$Z_c$  va  $\lambda_l$  - liniyaning asosiy xarakteristiklari hisoblanadi. Formuladan ko‘rinadiki,  $Z_c$  uzunlik  $\ell$  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  $v = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} = 3 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  va to‘lqinsimon va to‘lqin uzunligi

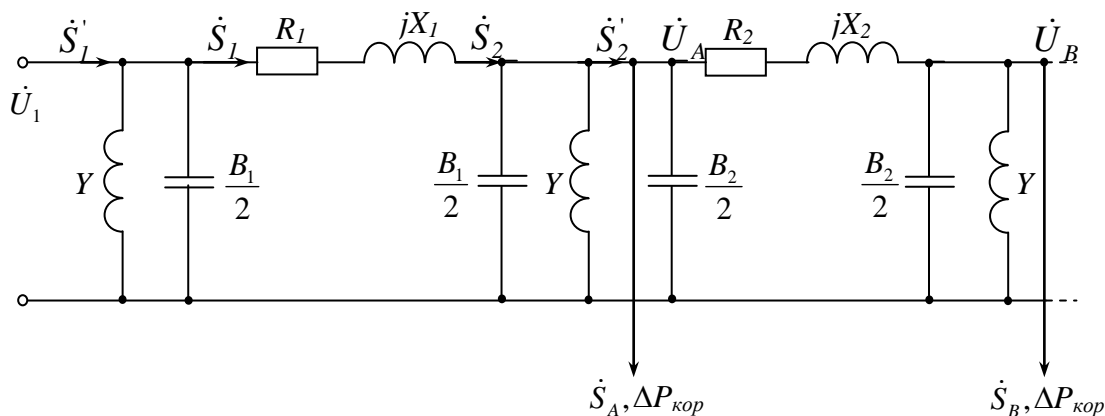
$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^5}{50} = 6000 \text{ km}$ . Unda liniyaning to‘lqinsimon uzunligi bo‘ladi:

$$\lambda_{\wedge} = \omega L \sqrt{L_0 C_0} = \frac{\omega \ell}{\lambda f} = \frac{2\pi}{\lambda} \ell$$

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 parametrlilik 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:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + (\dot{U}_{2A} U/2 + \dot{I}_2) \sqrt{3} Z = \dot{U}_2 (1 + ZU/2) + \sqrt{3} \dot{I}_2 Z \quad (6.3.3)$$

Bu yerda  $U_{2f} \cdot U/2$  - 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 parametrli 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‘lqinsimon 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  $\Delta P$  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  $\delta$  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  $\Delta U$  hamda  $\Delta P$  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



farqga 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  $Q_B$  ta'sir qiladi. 110-220 kV liniyalarda nisbatan kichik  $Q_B$ . 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  $Q_B$  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  $Q_B$  to'liq bir-birini kompensatsiya qiladi, ya'ni

$$3 I^2 x_0 = 3 U^2 B_{\phi 0} \quad (6.4.1).$$

Ushbu holatda liniya orqali faqat aktiv quvvat uzatilganda ( $\cos(\varphi_1)$ ), 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  $B_{\phi 0} = \omega C_0$  qiymatlarni quyib  $\cos\varphi = 1$  deb, liniyaning tabiiy quvvatini aniqlaymiz:

$$P_c = \frac{U^2}{\sqrt{\frac{l_0}{c_0}}} = \frac{U^2}{z_c} \quad (6.4.2)$$

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 - ifodalangan 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 amalga 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'rnini to'ldiradi. Elektr sistemasi yuklamalari ko'pincha podstansiyaning past va o'rta kuchlanish tomonlarida beriladi.

Hisoblash sxemalari tuzilayotganda yuklamalar dastlab yuqori kuchlanish tomoniga keltiriladi. Keltirilgan yuklamalar podstansiyaning o'rta va past kuchlanish

shina-larida 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 iqtisodiyli va ishonchli ishlashidir.

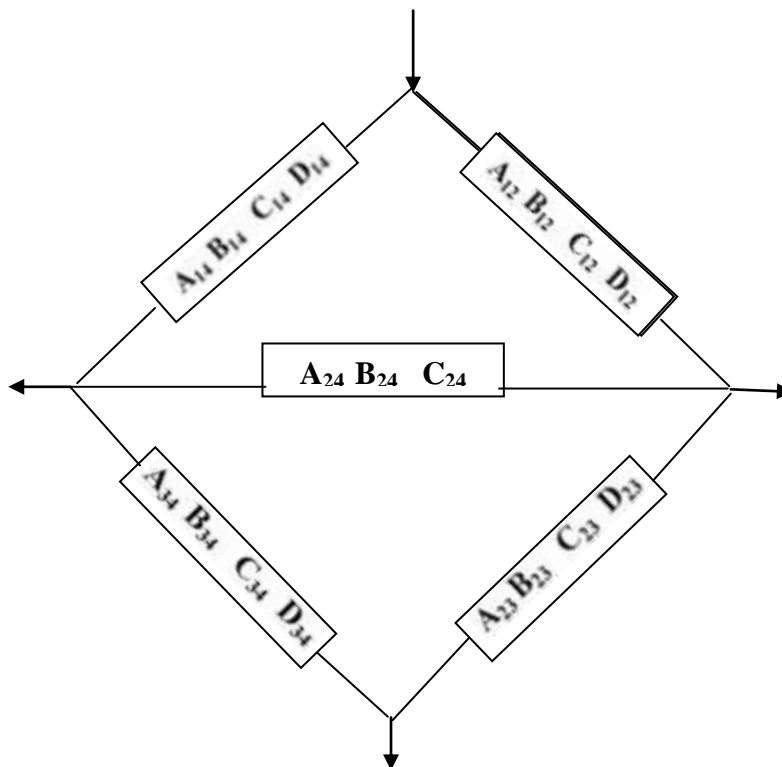
Ushbu qismda energetika sistemasi berk tarmoqlarda quvvat taqsimlanishi va kuchlanishni hisoblashning bir nechta usullari ko'rib chiqiladi. Bunda berilgan parametrlarda elektr sistemasi tugunlaridagi kuchlanish uning ishlashini belgilaganligi uchun tugun kuchlanishlari usuliga katta ahamiyat berildi.

### **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'ini shoxobchalarini to'rt qutbli deb, tugun kuchlanishlari tenglamasini tuzamiz



7.2.1-rasm. To'rt qutbli ko'rinishdagi elektr tarmog'ini sxemasi.

$$U_1^* = A_{12}^* U_2^* + B_{12}^* I_{2(1)}^*$$

Bundan tokni aniqlaymiz

$$I_{2(1)}^* = \frac{U_1^* - A_{12}^* U_2^*}{B_{12}^*}$$

2-3 shoxobcha uchun

$$U_3^* = A_{32}^* U_2^* + B_{32}^* I_{2(3)}^*$$

$$I_{2(3)}^* = \frac{U_3^* - A_{32}^* U_2^*}{B_{32}^*}$$

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.

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{U_1 - A_{12}U_2}{B_{12}} + \frac{U_3 - A_{32}U_2}{B_{32}} + \frac{U_4 - A_{42}U_2}{B_{42}} &= I_2 \\
 \frac{U_2 - A_{23}U_3}{B_{23}} + \frac{U_4 - A_{43}U_3}{B_{43}} &= I_3 \\
 \frac{U_1 - A_{14}U_4}{B_{14}} + \frac{U_2 - A_{24}U_4}{B_{24}} + \frac{U_3 - A_{34}U_4}{B_{34}} &= I_4
 \end{aligned} \right\} \quad (7.2.1)$$

7.2.1-tenglamani yozishda yuklamadan tashqari barcha toklar tugunga oqadi deb qabul qilamiz. 7.2.1.-tenglamani quyidagi ko‘rinishda ifodalaymiz:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{1}{B_{12}}U_1 - \left(\frac{A_{12}}{B_{12}} + \frac{A_{32}}{B_{32}} + \frac{A_{42}}{B_{42}}\right)U_2 + \frac{1}{B_{42}}U_4 &= I_2 \\
 \frac{1}{B_{23}}U_2 - \left(\frac{A_{23}}{B_{23}} + \frac{A_{43}}{B_{43}}\right)U_3 + \frac{1}{B_{43}}U_4 &= I_3 \\
 \frac{1}{B_{14}}U_1 + \frac{1}{B_{24}}U_2 + \frac{1}{B_{34}}U_3 - \left(\frac{A_{14}}{B_{14}} + \frac{A_{24}}{B_{24}} + \frac{A_{34}}{B_{34}}\right)U_4 &= I_4
 \end{aligned} \right\} \quad (7.2.2)$$

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.

$$\left. \begin{aligned}
 Y_{12}U_1 - Y_{22}U_2 + Y_{32}U_3 + Y_{42}U_4 &= I_2; \\
 0 + Y_{32}U_2 - Y_{33}U_3 + Y_{43}U_4 &= I_3; \\
 Y_{14}U_1 + Y_{24}U_2 + Y_{34}U_3 - Y_{44}U_4 &= I_4
 \end{aligned} \right\} \quad (7.2.3)$$

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  $I = \frac{S}{U_2}$  almashtirib, quyidagicha ko‘rsatamiz.

$$\begin{aligned} Y_{12}^* U_1 - Y_{22}^* U_2 + Y_{32}^* U_3 + Y_{42}^* U_4 &= \frac{S_2}{U_2} \\ 0 + Y_{32}^* U_2 - Y_{33}^* U_3 + Y_{43}^* U_4 &= \frac{S_3}{U_3} \\ Y_{14}^* U_1 + Y_{24}^* U_2 + Y_{34}^* U_3 - Y_{44}^* U_4 &= \frac{S_4}{U_4} \end{aligned} \quad (7.2.5)$$

Yoki matritsa ko‘rinishida

$$[Y][U] = [U]^{-1} [S] \quad (7.2.6)$$

(7.2.5)-tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{aligned} -Y_{22}^* U_2 - Y_{32}^* U_3 + Y_{42}^* U_4 &= \frac{S_2}{U_2} - Y_{12}^* U_1 \\ Y_{32}^* U_2 - Y_{33}^* U_3 + Y_{43}^* U_4 &= \frac{S_3}{U_3} \\ Y_{24}^* U_2 + Y_{34}^* U_3 - Y_{44}^* U_4 &= \frac{S_4}{U_4} - Y_{14}^* U_1 \end{aligned} \quad (7.2.7)$$

(7.2.6) ko‘rinishidagi nochiziqli 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 sistemasini bir noma’lumli yuqori darajali tenglamaga keltirish kerak. Ko‘rilayotgan 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 qoʻllaniladi.

(7.2.7) sistemani birinchi tenglamasidan ushbu tenglama tuguni kuchlanishini aniqlaymiz

$$U_2^* = \frac{Y_{32}^* U_3^* + Y_{42}^* U_4^* + Y_{12}^* U_1^* - \frac{S_2^*}{\Lambda}}{Y_{22}^*}$$

Yoki umumiy koʻrinishda

$$U_p^* = \frac{\sum_q Y_{qp}^* U_q^* - \frac{S_p^*}{\Lambda}}{Y_{pp}^*}$$

Bu yerda P - kuchlanish hisoblayotgan tugun nomeri;

q - P tugun bilan shoxobcha orqali toʻgʻri ulangan tugun nomeri;

$Y_{qp}$  - P tugunga kirgan shoxobcha oʻtkazuvchanligi;

$Y_{pp}$  - oʻzining oʻtkazuvchanligi.

Oddiy iteratsiyaning oʻxshashligi, quyidagini teng emasligidadir

$$[Y_{pp}] > \sum [Y_{pq}]$$

Ammo (7.2.7)dan ushbu koʻrinishli sistemani koʻpgina 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 taʼminlash punktiga ega boʻlgan murakkab berk tarmoqlarni tugun kuchlanishlari usulida hisoblash qanday olib boriladi?
2. Muvozanatlovchi (tayanch) tuguni deb qanday tugunga aytiladi?
3. Tenglamalarda tugun kuchlanishni mavhumligini yoʻqotish uchun qanday oʻzgartiriladi?
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

$$[U] = [Y]^{-1} [I] \quad (7.3.1)$$

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:

$$U_2 = \frac{\begin{vmatrix} \frac{S_2}{\Delta} - Y_{12} U_1 & Y_{32} Y_{42} \\ \frac{S_3}{\Delta} & -Y_{33} Y_{43} \\ \frac{S_4}{\Delta} Y_{14} U_1 & Y_{34} - Y_{44} \end{vmatrix}}{\Delta}; \quad U_3 = \frac{\begin{vmatrix} -Y_{22} \frac{S_2}{\Delta} - Y_{12} U_1 & Y_{42} \\ \frac{S_3}{\Delta} & Y_{43} \\ Y_{24} \frac{S_4}{\Delta} Y_{14} U_1 & -Y_{44} \end{vmatrix}}{\Delta}; \quad U_4 = \frac{\begin{vmatrix} -Y_{22} Y_{12} \frac{S_2}{\Delta} - Y_{12} U_1 \\ Y_{23} - Y_{33} \frac{S_3}{\Delta} \\ Y_{24} Y_{34} \frac{S_4}{\Delta} - Y_{14} U_1 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

Aniqlagichlarni ochib va bo‘lish amalini bajarib foydalaniladigan tugun kuchlanishlari tenglamalar sistemasini olamiz:

$$\begin{aligned} U_2 &= a_{21} U_1 + b_{22} \frac{S_2}{\Delta} + b_{23} \frac{S_3}{\Delta} + b_{24} \frac{S_4}{\Delta} \\ U_3 &= a_{31} U_1 + b_{32} \frac{S_2}{\Delta} + b_{33} \frac{S_3}{\Delta} + b_{34} \frac{S_4}{\Delta} \\ U_4 &= a_{41} U_1 + b_{42} \frac{S_2}{\Delta} + b_{43} \frac{S_3}{\Delta} + b_{44} \frac{S_4}{\Delta} \end{aligned} \quad (7.3.2)$$

Sxema n tugunga ega bo‘lsa shuncha o‘xshash ko‘rinishdagi tenglamalar sistemasini olamiz

$$U_n = a_{nk} U_k + b_{n2} \frac{S_2}{\Delta} + b_{n3} \frac{S_3}{\Delta} + \dots + b_{nn} \frac{S_n}{\Delta} \quad (7.3.3)$$

Bu yerda UK-tayanch kuchlanishi.

Olingan tenglamalardan ko‘rinadiki b koeffitsiyenti qarshilik o‘lchamiga ega.

a – koeffitsiyentini fizik mazmunini aniqlash uchun

$S_2^* = S_3^* = S_4^* = 0$  deb, tarmoqni salt yurish holatini ko‘ramiz. Unda (7.3.2)

tenglamalar sistemasidan  $U_2^* = a_{21}^* U_1^*$ ;  $U_3^* = a_{31}^* U_1^*$ ;  $U_4^* = a_{41}^* U_1^*$  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 sistemasini 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 sistemasi amaliy zarur hisoblarini aniqlashni beradi.

Kuchlanishni iteratsion jarayonga moslab hisoblash tez bo‘ladi: moslanish kriteriyasi

$$\sum \left| b_{nk} \frac{S_n^*}{U_n} \right| < 1$$

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.

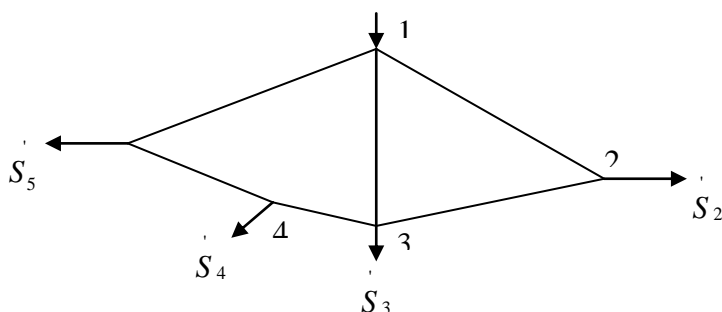
7.4.1-rasmda ko'rsatilgan ikki konturli berk tarmoqning tugun kuchlanishlari koeffitsiyentlarining umumlashtirilgan shaklda aniqlash usulini ko'rib chiqamiz.

Tugun kuchlanishlar tenglamalari umumiy ko'rinishda ifodalarda berilishi mumkin

$$U_i^* = a_{ik}^* U_k^* + \sum_{m=2}^n b_{im}^* \frac{S_m^*}{U_m^*}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, k, \dots, n.$$

7.4.1-rasmdagi sxema uchun tayanch kuchlanishida tugun kuchlanishlari tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:



7.4.1-rasm. Elektr tarmog'i sxemasi.

$$\left. \begin{aligned} U_1^* &= a_{13}^* U_3^* + b_{12}^* \frac{S_2^*}{U_2^*} + b_{13}^* \frac{S_3^*}{U_3^*} + b_{14}^* \frac{S_4^*}{U_4^*} + b_{15}^* \frac{S_5^*}{U_5^*} \\ U_2^* &= a_{23}^* U_3^* + b_{22}^* \frac{S_2^*}{U_2^*} + b_{23}^* \frac{S_3^*}{U_3^*} + b_{24}^* \frac{S_4^*}{U_4^*} + b_{25}^* \frac{S_5^*}{U_5^*} \\ U_3^* &= U_3^* \\ U_4^* &= a_{43}^* U_3^* + b_{42}^* \frac{S_2^*}{U_2^*} + b_{43}^* \frac{S_3^*}{U_3^*} + b_{44}^* \frac{S_4^*}{U_4^*} + b_{45}^* \frac{S_5^*}{U_5^*} \\ U_5^* &= a_{53}^* U_3^* + b_{52}^* \frac{S_2^*}{U_2^*} + b_{53}^* \frac{S_3^*}{U_3^*} + b_{54}^* \frac{S_4^*}{U_4^*} + b_{55}^* \frac{S_5^*}{U_5^*} \end{aligned} \right\} \quad (7.4.1)$$

Ko'rilayotgan tarmoq uchun

$$a_{13}^* = a_{23}^* = a_{43}^* = a_{53}^* = 1$$

Tayanch tuguni uchun elektr stansiyadan eng uzoqdagi kuchlanishi  $U_3$  bo'lgan, 3-yuklamali tugun qabul qilindi.

Koeffitsiyent  $b_{im}$  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'rilayotgan

sxema uchun boshlanish  $S_3^* = S_4^* = S_5^* = 0$ ,  $I_2 = \frac{S_2^*}{U_2} = 1$ , tartib uchun (7.4.1) tenglamalar

sistemi quyidagi ko'rinish oladi.

$$\begin{aligned} U_1^* &= U_3^* + b_{12}^*; & U_2^* &= U_3^* + b_{22}^*; \\ U_3^* &= U_3^* + b_{42}^*; & U_4^* &= U_3^* + b_{32}^* \end{aligned}$$

Bundan kuchlanishning pasayishini ko'rsatuvchi  $b_{12}$ -koeffitsiyentlarini aniqlash mumkin. O'z navbatida kuchlanish pasayishini tarqatish koeffitsiyenti  $C_{12}^{(2)}$  orqali ifodalash mumkin.

$$\begin{aligned} b_{12}^* &= U_1^* - U_3^* = C_{13}^{(2)} Z_{13}^*; & b_{42}^* &= U_4^* - U_3^* = C_{43}^{(2)} Z_{43}^*; \\ b_{22}^* &= U_2^* - U_3^* = C_{23}^{(2)} Z_{23}^*; & b_{52}^* &= U_5^* - U_3^* = C_{53}^{(2)} Z_{53}^* \end{aligned}$$

Bu yerda -2-tugundagi birlamchi tokdan 1-3 uchastkadagi tarqalish koeffitsiyenti: shunga o'xshash  $C_{23}^{(2)}$ ,  $C_{43}^{(2)}$  va  $C_{53}^{(2)}$ -tegishli tarqalish koeffitsiyentlari. Keyingi ustun tugun kuchlanishlari tenglamasi  $b_{13}$ -koeffitsiyentlarini aniqlash uchun, tartibini ko'ramiz. Shunga o'xshash (7.4.1.) tenglamalar sistemasidan topamiz:

$$\left. \begin{aligned} b_{13}^* &= U_1^* - U_3^* = C_{13}^{(3)} Z_{13}^*; \\ b_{23}^* &= U_2^* - U_3^* = C_{23}^{(3)} Z_{23}^*; \\ b_{43}^* &= U_4^* - U_3^* = C_{43}^{(3)} Z_{43}^*; \end{aligned} \right\} \quad (7.4.2)$$

$$b_{53}^* = U_5^* - U_3^* = C_{53}^* Z_{53}^{(3)}$$

7.4.2-ifoda bo'yicha  $b_{in}$ -koeffitsiyentlarni hisoblash o'rniga vaqtni 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  $S_2^* = S_3^* = S_5^* = 0$  va  $I_4^* = \frac{S_4^*}{U_4^*} = 1$ . Bu tartib va tugun

kuchlanishlari tenglamasidan, (7.4.1)dan aniqlaymiz:

$$b_{14}^* = U_1^* - U_3^* = C_{13}^{(4)} Z_{13}^{(4)} ;$$

$$b_{24}^* = U_2^* - U_3^* = C_{23}^{(4)} Z_{23}^{(4)} ;$$

$$b_{44}^* = U_4^* - U_3^* = C_{34}^{(4)} Z_{43}^{(4)} ;$$

$$b_{54}^* = U_5^* - U_3^* = U_5^* - U_4^* + U_4^* - U_3^* = C_{54}^{(4)} Z_{54}^{(4)} - C_{34}^{(4)} Z_{34}^{(4)}$$

$S_2^* = S_3^* = S_4^* = 0$  va  $I_5^* = \frac{S_5^*}{U_5^*}$  tartib uchun (7.4.1) tenglamalar sistemasi asosida

topamiz.

$$b_{15}^* = U_1^* - U_3^* = C_{13}^{(5)} Z_{13}^{(5)} ;$$

$$b_{25}^* = U_2^* - U_3^* = C_{23}^{(5)} Z_{23}^{(5)} ;$$

$$b_{45}^* = U_4^* - U_3^* = C_{43}^{(5)} Z_{34}^{(5)} ;$$

$$b_{55}^* = U_5^* - U_3^* = C_{45}^{(5)} Z_{45}^{(5)}$$

### 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

$$U_1^{(1)} = U_2^{(2)} = U_3^{(1)} = U_4^{(1)} = U_5 = \dots \quad (7.5.1)$$

(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.

$$U_1^{*(m)} = U_K + b_{i1} \frac{S_2^*}{U_2^{\Lambda(m)}} + \dots + b_{ii} \frac{S_i^*}{U_i^{\Lambda(m-1)}} + \dots + b_{in} \frac{S_n^*}{U_n^{\Lambda(m-1)}}$$

Ko‘rilayotgan (7.5.1)-tenglamalar sistemasi uchun misolda yaqinlashishni yozamiz.

$$\left. \begin{aligned} U_1^{*(3)} &= U_3 + b_{12} \frac{S_2^*}{U_2^{\Lambda(2)}} + b_{13} \frac{S_3^*}{U_3} + b_{14} \frac{S_4^*}{U_4^{\Lambda(2)}} + b_{15} \frac{S_5^*}{U_5^{\Lambda(2)}}; \\ U_2^{*(3)} &= U_3 + b_{22} \frac{S_2^*}{U_2^{\Lambda(2)}} + b_{23} \frac{S_3^*}{U_3} + b_{24} \frac{S_4^*}{U_4^{\Lambda(2)}} + b_{25} \frac{S_5^*}{U_5^{\Lambda(2)}}; \\ U_3 &= U_3; \\ U_4^{*(3)} &= U_3 + b_{42} \frac{S_2^*}{U_2^{\Lambda(3)}} + b_{43} \frac{S_3^*}{U_3} + b_{44} \frac{S_4^*}{U_4^{\Lambda(2)}} + b_{45} \frac{S_5^*}{U_5^{\Lambda(2)}}; \\ U_5^{*(3)} &= U_3 + b_{52} \frac{S_2^*}{U_2^{\Lambda(2)}} + b_{53} \frac{S_3^*}{U_3} + b_{54} \frac{S_4^*}{U_4^{\Lambda(3)}} + b_{55} \frac{S_5^*}{U_5^{\Lambda(2)}} \end{aligned} \right\}$$

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

$$S_{13}^{*(3)} = \frac{\Delta U_{13}^*}{Z_{13}} U_3$$

(qavsdagi daraja quvvatni uchastka orqali 3-tugunga oqishini ko‘rsatadi);

$$S_{23}^{*(3)} = \frac{\Delta U_{23}^*}{Z_{23}} U_3 ; \quad S_{34}^{*(3)} = \frac{\Delta U_{43}^*}{Z_{43}} U_3$$

1-tugun uchastkalaridagi quvvat

$$S_{13}^{*(1)} = \frac{\Delta U_{13}^*}{Z_{13}} U_1 ; \quad S_{12}^{*(1)} = \frac{\Delta U_{12}^*}{Z_{12}} U_1 ; \quad S_{15}^{*(1)} = \frac{\Delta U_{15}^*}{Z_{15}} U_1 ;$$

2-tugun uchastkalaridagi quvvat

$$S_{12}^{*(2)} = \frac{\Delta U_{12}^*}{Z_{12}} U_2 ; \quad S_{23}^{*(2)} = \frac{\Delta U_{23}^*}{Z_{23}} U_2$$

4-tugun uchastkalaridagi quvvat

$$S_{34}^{*(4)} = \frac{\Delta U_{34}^*}{Z_{34}} U_4 ; \quad S_{45}^{*(4)} = \frac{\Delta U_{45}^*}{Z_{43}} U_4$$

5-tugun uchastkalaridagi quvvat

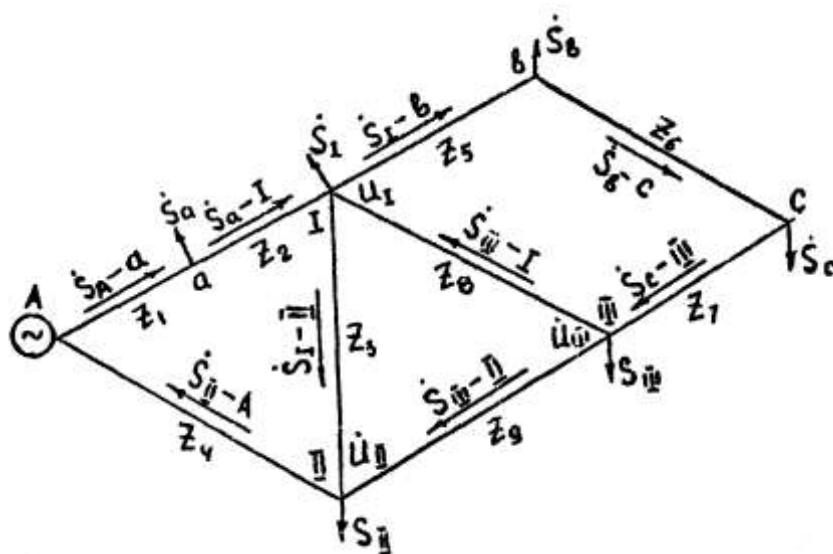
$$S_{15}^{*(5)} = \frac{\Delta U_{15}^*}{Z_{15}} U_{15} ; \quad S_{45}^{*(5)} = \frac{\Delta U_{45}^*}{Z_{45}} U_3$$

**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 liniyalari 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):

$$\dot{I}_{teng} = (\dot{U}_{If} - \dot{U}_{kf}) / Z_3$$

va tenglashtiruvchi quvvat

$$\dot{S}_{TENG} = 3 \dot{U}_{KF} \dot{I}_{TENG} \quad (7.5.1)$$

Bunda, quvvatlarni va kuchlanishlarni ko'riyatotgan faza qiymatlari uchun hisoblash qulaydir.

Yuklamaning mavjudligida ko'riyatotgan liniya uchun (liniya I-v-s-II)

$$\dot{S}_{I-B\phi} = \frac{\dot{S}_s (Z_6 + Z_1) + \dot{S}_c Z_1}{Z_5 + Z_6 + Z_1} + U_{\text{np}} \dot{I}_{TENG} \quad (7.5.2)$$

Bu yerda

$$I_{TENG} = (\dot{U}_{If} - \dot{U}_{III}) / (Z_5 + Z_6 + Z_1) \quad (7.5.3)$$

(7.5.2) va (7.5.3) dan, ifodaga kiruvchi noma'lum kattaliklar – bu faqat tugun kuchlanishlari  $\dot{U}_I, \varphi\dot{U}_{II}, \varphi\dot{U}_{III}$ . Hamma boshqa qiymatlar berilgan.

Shunga o'xshash

$$\dot{S}_{S-III} = [\dot{S}_B Z_5 + \dot{S}_C (Z_6 + Z_5)] / (Z_5 + Z_6 + Z_7) + U_{NF}^* I_{TENG} \quad (7.5.4)$$

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.

$$\begin{aligned} \dot{S}_{AI} - \dot{S}_{I-B} + \dot{S}_{III-I} - \dot{S}_{I-II} - \dot{S}_I &= 0 \\ \dot{S}_{I-III} - \dot{S}_{III-II} - \dot{S}_{II-a} - \dot{S}_{II} &= 0 \\ \dot{S}_{C-III} - \dot{S}_{III-I} - \dot{S}_{III-II} - \dot{S}_{III} &= 0 \end{aligned} \quad (7.5.5)$$

Bu yerda va 7.5.1- rasmda liniya quvvatlari yozilgan (fazalarniki emas).

Shunday qilib, liniya quvvatlari  $\dot{S}_{a-I}$ ,  $\dot{S}_{II-III}$  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 uchastkalaridagi 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 tarafdin 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 programmashtirish 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 tarafdin ta'minlanuvchi tarmoqlardagi kabi, berilgan yuklamalar va qarshiliklarni inobatga olib, liniya uchastkalaridagi quvvatlarni (yoki toklarni) aniqlashdan iboratdir.

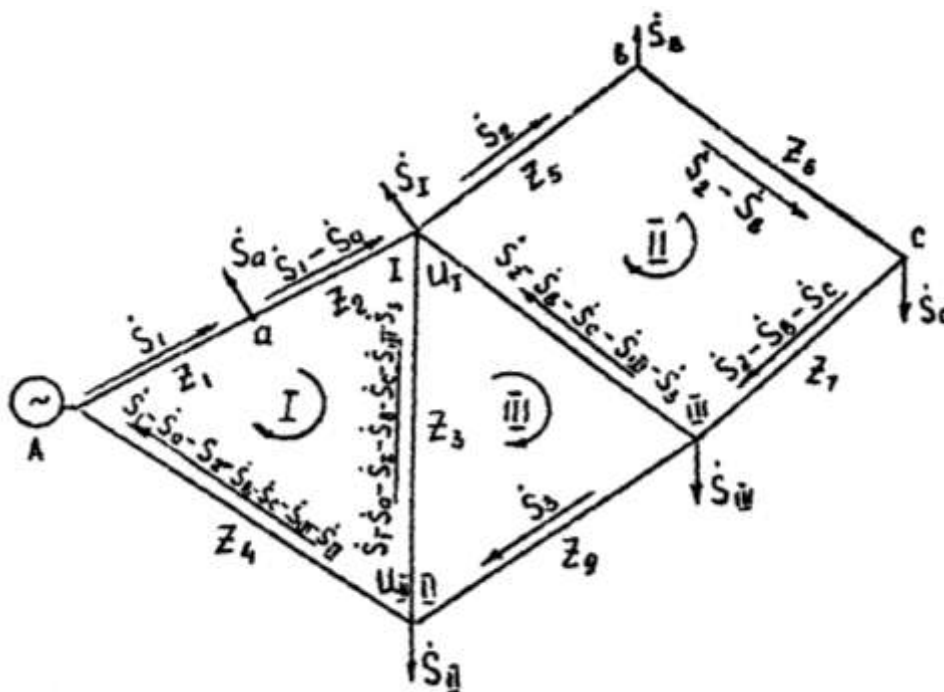
Murakkab zanjirli tarmoqlarni hisoblashdagi maqsadga muvofiq usullardan biri kontur toklari usulidir. Bu usulni bir ta'minlovchi punkti bo'lgan tarmoqlar uchun ko'rib chiqamiz.

Murakkab berk zanjirli tarmoqni hisoblashning birinchi bosqichida tarmoqdagi quvvatlar taqsimlanishi o'tkazuvchanliklarni va quvvat isrofini, ya'ni  $Y_0$  va  $\Delta S$  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).

7.6.1- rasmdan ko‘rinadiki, Bu yerda liniyalar soni 6 ga teng bo‘ladi: A-a-I; I-v-s-III; I-III; I-II; III-II; II-A. tugunlar soni esa uchta: I, II, III. Ta‘minlovchi punkt A shartli tugun hisobiga kirmaydi. Liniya deb tarmoqning manbadan tugungacha yoki tugundan, bir liniyada qancha yuklama joylashganidan qat‘iy nazar, tugungacha bo‘lgan bir qismi qabul qilinadi.



7.6.1 – rasm. Murakkab berk zanjirli tarmoq.

Masalan, «v» va «s» nuqtalardagi yuklamalardan qat‘iy nazar liniya bitta I-v-s-III, bo‘lib qoladi.

Konturlar soni aniqlangandan so‘ng har bir kontur uchun quvvat (tok) aylanishi yo‘nalishini ko‘rsatamiz (bu holat uchun, soat strelkasi bo‘yicha yo‘nalish qabul qilingan).

Mustaqil konturlar sonini shoxobchalar va yuklamali tugunlar sonining ayirmasidan aniqlash mumkin. Shoxobcha-liniyaning yuklamadan yuklamagacha bo‘lgan qismidir. Yuklamali tugun-tarmoqning undan ketadigan yuklamali har qanday nuqtasidir.

2. Noma‘lum quvvatlar (toklar)ni konturlar soniga qarab ko‘rsatamiz. Masalan,  $S_1, S_2, S_3$ .

3. Kirxgofning birinchi qonuniga asosan har bir uchastkadagi hamma noma‘lum quvvatlarni, berilgan quvvatlar orqali belgilaymiz. Shunga asosan Aa uchastkadagi

quvvat  $S_1$ . deb qabul qilingan, unda a1 uchastkadagisi esa  $S_1-S_a$ , 1-11 uchast-kasidagi esa  $\dot{S}_1 - \dot{S}_a - \dot{S}_1 - \dot{S}_B - \dot{S}_C - \dot{S}_{III} - \dot{S}_3$  va h.k.

4. Quvvat isrofini hisobga olmasdan quvvat oqimning taqsimlanishini aniqlash uchun kontur tenglamalarini tuzamiz. Bu tenglamalar Kirxgofning ikkinchi qonuniga asoslangandir. Tenglamalarning hamda noma'lumlarning soni, konturlar soniga tengdir.

$$\begin{aligned} \dot{S}_1 Z_1 + (\dot{S}_1 - \dot{S}_a) Z_2 + (\dot{S}_1 - \dot{S}_a - \dot{S}_1 - \dot{S}_B - \dot{S}_C - \dot{S}_{III} - \dot{S}_3) Z_3 + (\dot{S}_1 - \dot{S}_a - \dot{S}_1 - \dot{S}_{III} - \dot{S}_{II} - \dot{S}_B - \dot{S}_C) Z_4 &= 0 \\ \dot{S}_2 Z_5 + (\dot{S}_2 - \dot{S}_B) Z_6 + (\dot{S}_2 - \dot{S}_B - \dot{S}_C) Z_7 + (\dot{S}_2 - \dot{S}_B - \dot{S}_C - \dot{S}_{III} - \dot{S}_3) Z_8 &= 0 \\ \dot{S}_3 Z_9 - (\dot{S}_1 - \dot{S}_a - \dot{S}_1 - \dot{S}_B - \dot{S}_C - \dot{S}_{III} - \dot{S}_3) Z_3 - (\dot{S}_2 - \dot{S}_B - \dot{S}_C - \dot{S}_{III} - \dot{S}_3) Z_8 &= 0 \end{aligned} \quad (7.6.1)$$

5. Tuzilgan uchta (7.6.1) tenglamadan uchta noma'lumlar ( $\dot{S}_1, \dot{S}_2, \dot{S}_3$ ) ni har qanday mavjud usullarni qo'llab qo'lda yoki EHM yordamida topamiz.

6. Har bir uchastkadagi quvvatlarni, avvalgiga 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:

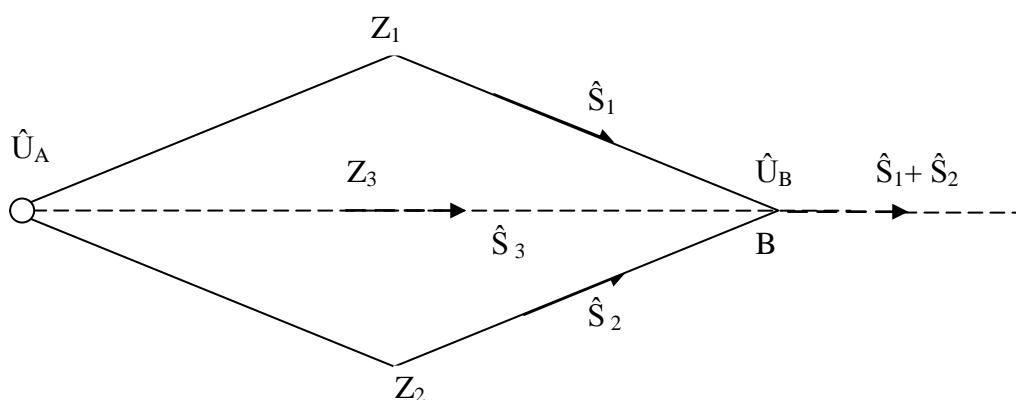
1. Murakkab berk konturlarni hisoblashdan birinchi bosqichida nima uchun  $Y_0$  va  $\Delta S$  ni hisobga olmasdan amalga oshiriladi?
2. Kontur toklari usulida mustaqil deb qanday konturga aytiladi?
3. Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan kontur tenglamalari qanday tuziladi?

## 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 liniyalik quvvat aniqlangandan so'ng, ketma-ket tarmoqni teskari o'zgartirishlarini amalga oshirib, haqiqiy quvvat taqsimlanishi aniqlanadi.

Tarmoqning o'zgartirish usulini nazariy ko'rib chiqamiz. **Yuklamasi bo'lmagan ekvivalent parallel liniyalar.** Liniyalik 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  $Z_e$  qarshilikli,  $S_e$  yuklamali bir ekvivalent liniya bilan almashtirish talab etiladi.



7.7.1-rasm. Yuklamasiz ekvivalent parallel liniyalar.

Elektr texnikaning ma'lum qonunlariga asosan ikki parallel liniyalar uchun:

$$S_E = S_1 + S_2$$

$$Z_E = \frac{Z_1 * Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (7.7.1)$$

Uchta parallel liniyalarda uchun

$$S_3 = \dot{S}_1 + \dot{S}_2 + \dot{S}_3$$

$$Z_E = \frac{Z_1 \cdot Z_2 \cdot Z_3}{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}$$

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'zgarimasdan qolishi kerak, parallel liniyalarda (ularning soniga qaramasdan)  $A$  va  $V$  nuqtalar orasidagi kuchlanishning pasayishi bir xil bo'lishi shart.

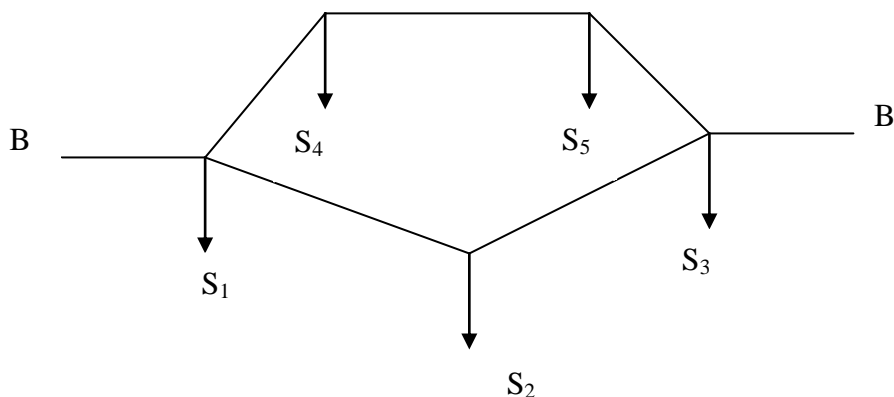
$$\frac{\dot{S}_1}{U_N} Z_1 = \frac{\dot{S}_2}{U_N} Z_2 = \frac{\dot{S}_3}{U_N} Z_3 = \frac{\dot{S}_3}{U_N} Z_3 \quad (7.7.2)$$

(10.1.2) tenglikdan aniqlaymiz:

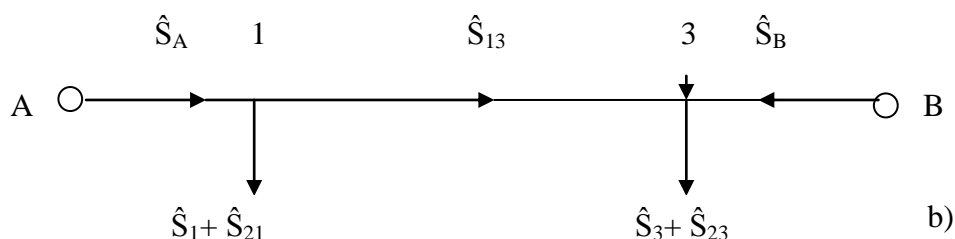
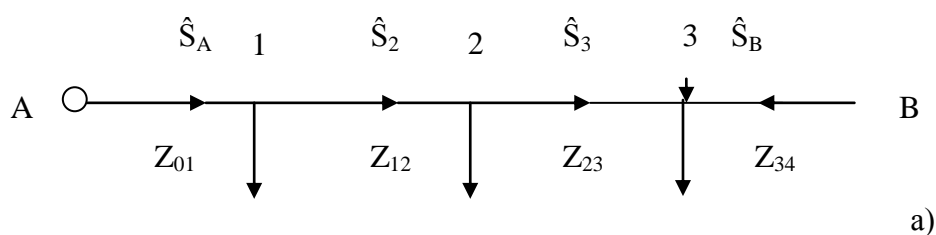
$$\dot{S}_1 = \dot{S}_3 \frac{Z_3}{Z_1}; \dot{S}_2 = \dot{S}_3 \frac{Z_3}{Z_2}; \dot{S}_3 = \dot{S}_3 \frac{Z_3}{Z_3}; \quad (7.7.3)$$

Yuklamani tarmoqni boshqa nuqtasiga ko'chirish. Berk tarmoqlarning har qanday uchastkalari parallel liniyalarni, 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.



**7.7.2-rasm. Yuklamasi bo'lgan parallel linilarni ekvivalentlash.**



**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 isrofisiz liniyalarni hisoblashdan topamiz:

$$\frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_N} Z_{12} + \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_N} Z_{23} = \frac{\dot{S}_{13}}{\dot{U}_N} (Z_{12} + Z_{23}) \quad (7.7.4)$$

1 va 2 nuqtalardagi yuklamalar balansini qabul qilingan cheklanishlar (ya'ni quvvat isrofini hisobga olmay) yozishimiz mumkin:

$$\dot{S}_2 = \dot{S}_A - \dot{S}_1; \quad \dot{S}_3 = \dot{S}_A - (\dot{S}_1 + \dot{S}_2)$$



$$S_{13} = \dot{S}_A - (\dot{S}_1 + \dot{S}_2) \quad (7.7.5)$$

Liniyali quvvat qiymatlarini yig'ilgan yuklamali ifodadan (7.7.5) formulaga asosan 7.7.4 ga qo'yib va soddalashtirib olamiz:

$$\frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_N} Z_{23} = \frac{\dot{S}_{21}}{\dot{U}_N} (Z_{12} + Z_{23})$$

bundan

$$\dot{S}_{12} = \dot{S}_2 \frac{Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23}} \quad (7.7.6-a)$$

Shunga o'xshab, liniyani quvvatlar  $\hat{S}_2$ ,  $\hat{S}_3$  va  $\hat{S}_{13}$  liniyani boshqa tomonidagi  $S_B$  quvvat orqali ifodalab va ularning qiymatlarini 7.7.4 tenglamaga qo'yib topamiz:

$$\dot{S}_{23} = S_2 \frac{Z_{12}}{Z_{12} + Z_{23}} \quad (7.7.6-b)$$

(7.7.6-a) formulalar orqali topilgan  $\hat{S}_{12}$  va  $\hat{S}_{23}$  yuklamalarni qo'shib, aniqlaymiz:

$$\dot{S}_{21} + \dot{S}_{23} = \dot{S}_2$$

Ya'ni o'zgartirilgan tarmoqdagi ikkala ko'chirilgan yuklamalarni geometrik yig'indisi dastlabki yuklama  $\hat{S}_2$  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 liniyali quvvatlarni qanday aniqlanishini ko'rib chiqamiz.

O'zgartirilgan sxemada (7.7.2 b-rasmga asosan quvvat taqsimoti 1-3 uchastkaga teng.

$$\dot{S}_{13} = \dot{S}_A - (\dot{S}_1 + \dot{S}_{21})$$

Dastlabki sxemada  $\hat{S}_{21}$  ni 2-nuqtda qaytarganimizda sxemada 1-2 uchastkadagi belgilangan quvvat yuklanishda  $\hat{S}_{13}$  quvvatdan qaytarilgan quvvatni qiymatiga katta bo'ladi, ya'ni 2-nuqtaga  $\hat{S}_{23}$  ni qaytarilgandan keyin 2-3 uchastkadagi quvvat qaytarilgan  $\hat{S}_{13}$  qiymatga kichik bo'ladi.

$$\dot{S}_3 = \dot{S}_{13} + \dot{S}_{23} = \dot{S}_A - (\dot{S}_1 + \dot{S}_{21}) - \dot{S}_{23} = \dot{S}_2 - \dot{S}_2$$

Yuklamalarning qiymatiga qarab, o'zgartirilgandan dastlabki sxemaga o'tkazilganda, quvvat bo'linishi nuqtasining o'rni o'zgarishi mumkin.

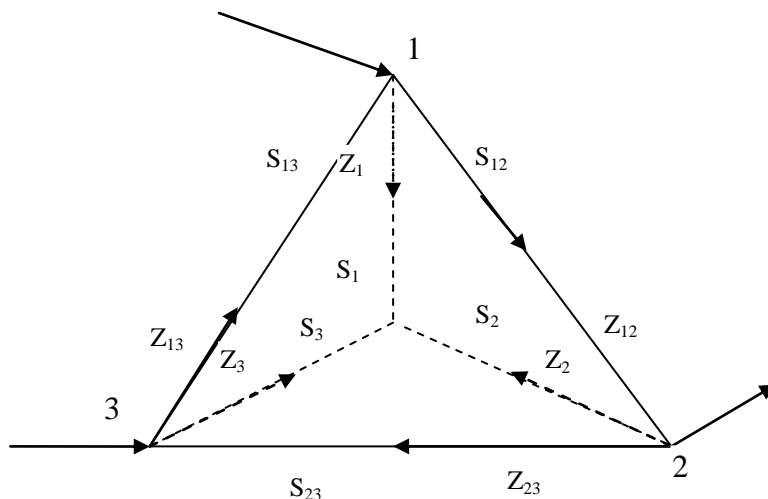
**Uchburchakni ekvivalent yulduzga o'zgartirish.** Agarda berilgan tarmoq sxema tomonlarida yig'ilgan yuklama yo'q uchburchak konturi uchrasa (7.7.4-rasm), unda murakkab sxemani ikki tarafdin ta'minlanuvchi liniyaga keltirish uchun uchburchakni ekvivalent yulduzga (rasmda punktirda ko'rsatilgan) aylantiriladi.

Elektr texnika fanidan ma'lumki, ekvivalent yulduz nurlarining qarshiligi quyidagi tengliklardan aniqlanadi.

$$Z_1 = \frac{Z_{12} * Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}; \quad Z_2 = \frac{Z_{12} * Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}; \quad Z_3 = \frac{Z_{12} * Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}; \quad (7.7.7)$$

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-rasmda ifodalangan uchburchak tomonlaridagi quvvat yoʻnalishini berib, uchastkalaridagi tokni nominal kuchlanishga asosan topib, ega boʻlamiz

$$\frac{\dot{S}_{12}}{\dot{U}_N} Z_{12} = \frac{\dot{S}_1}{\dot{U}_N} Z_1 - \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_N} Z_2$$

Bundan

$$\dot{S}_{12} = \frac{\dot{S}_1 Z - \dot{S}_2 Z_2}{Z_{12}}; \quad \dot{S}_{23} = \frac{\dot{S}_2 Z_2 - \dot{S}_3 Z_3}{Z_{23}}; \quad \dot{S}_{31} = \frac{\dot{S}_3 Z_3 - \dot{S}_1 Z_1}{Z_{13}}; \quad (7.7.8)$$

Agarda natija manfiy belgida chiqsa, uchburchak tomonlaridagi quvvatning shartli yoʻnalishi oʻzgarishi kerak.

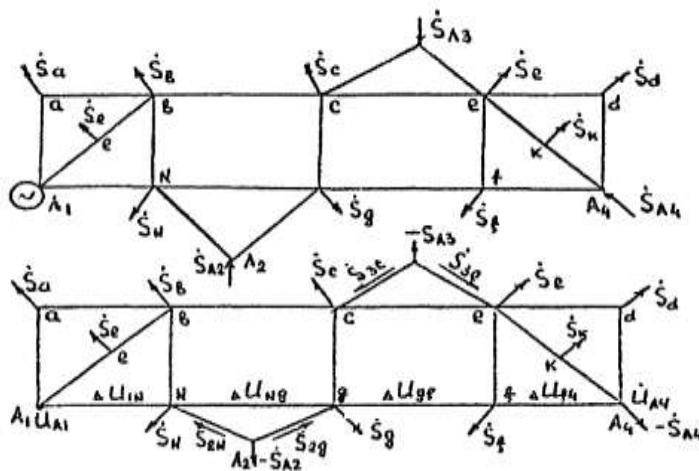
### **Nazorat savollari:**

1. Murakkab berk tarmoqlar qanday oʻzgartiriladi?
2. Parallel liniyalarni qoʻshib umumiy liniya qanday aniqlanadi?
3. Oʻzgartirilgan tarmoqdagi yuklama qanday koʻchiriladi?
4. Qarshiliklarni oʻzgartirishda uchburchakni ekvivalent yulduzga qanday oʻtiladi?

## 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.



7.8.1 – rasm. Bir necha ta'minlash punktlari bo'lgan murakkab berk zanjirli tarmoqning sxemasi.

Hamma ta'minlovchi punktlarning quvvatini ixtiyoriy olish mumkin 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 stansiyasining 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:

$$S_{A1}^I = \dot{S}_a + \dot{S}_b + \dot{S}_c + \dot{S}_e + \dot{S}_d + \dot{S}_N + \dot{S}_g + \dot{S}_f + \dot{S}_k + \dot{S}_L - \dot{S}_{A2} - \dot{S}_{A3} - \dot{S}_{A4} \quad (7.8.1)$$

Tarmoqdagi quvvat isrofi aniqlangandan so'ng, uning yig'indisi ( $\Sigma$ ) hisobga olinib, yana muvozanatlovchi tugunning quvvati aniqlanadi.

$$\dot{S}_{A1} = \dot{S}_{A1} + \sum \Delta \dot{S} \quad (7.8.2)$$

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'rilayotgan 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.

$$\Delta U_{A14} = \sum \Delta \dot{U}_M = \Delta \dot{U}_{IN} + \Delta \dot{U}_{Ng} + \Delta \dot{U}_{gf} + \Delta \dot{U}_{14} \quad (7.8.4)$$

2. Quvvati berilgan ta'minlovchi punktlar uchun Kirxgofning birinchi qonuniga asosan tenglama

$$\dot{S}_{2N} + \dot{S}_{2g} - S_{A2} = 0; \quad \dot{S}_{3C} + \dot{S}_{3R} + \dot{S}_{A3} = 0 \quad (7.8.5)$$

Shunday qilib, noma'lumlarning umumiy soni hamda tenglamalarning umumiy soni ta'minlovchi punktlarning soniga ko'payadi (tenglashtiruvchi punktdan tashqari).

Soʻngra 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:**

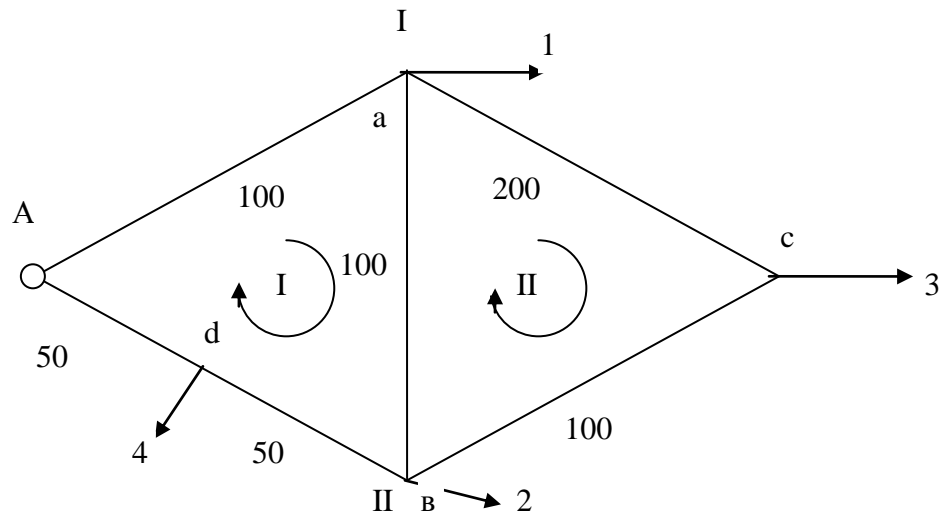
1. Bir necha elektr stansiyalarga ega boʻlgan murakkab tarmoqlarni hisoblashni oʻziga xos tomonlari qanday?
2. Har bir berilgan tugun kuchlanishi qanday aniqlanadi?
3. Tenglashtiruvchi quvvat qanday aniqlanadi?

### 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 1 (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.

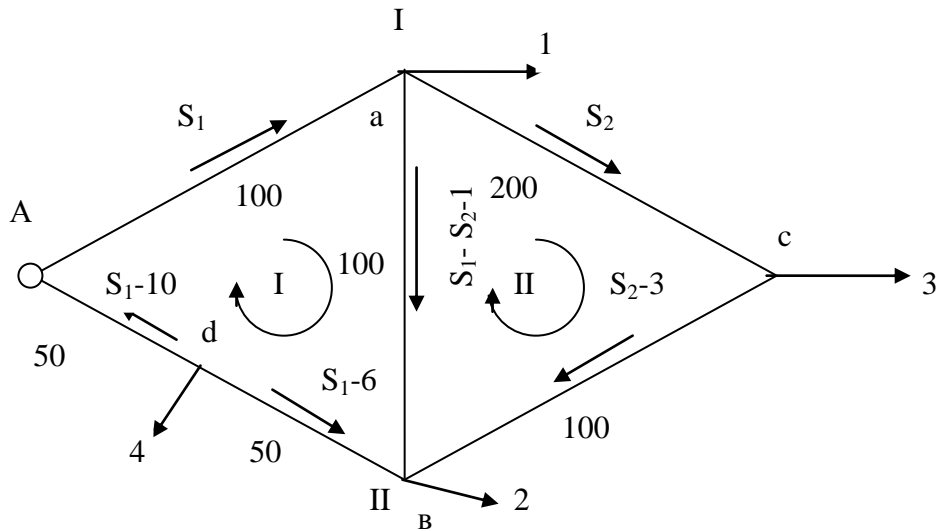
3. Uchastkardagi hamma quvvatlarni belgilangan quvvatlar orqali ifodalaymiz. (7.8.3-rasm).

4. 7.8.3-rasmga asosan Kirxgofning ikkinchi qonuni asosida ikkala kontur uchun kontur tenglamalarini tuzamiz.

$$S_1 \cdot 100 + (S_1 - S_2 - 1) \cdot 100 + (S_1 - 6) \cdot 50 + (S_1 - 10) \cdot 50 = 0$$

$$S_2 \cdot 200 + (S_2 - 3) \cdot 100 - (S_1 - S_2 - 1) \cdot 100 = 0$$

o'zgartirishlardan keyin



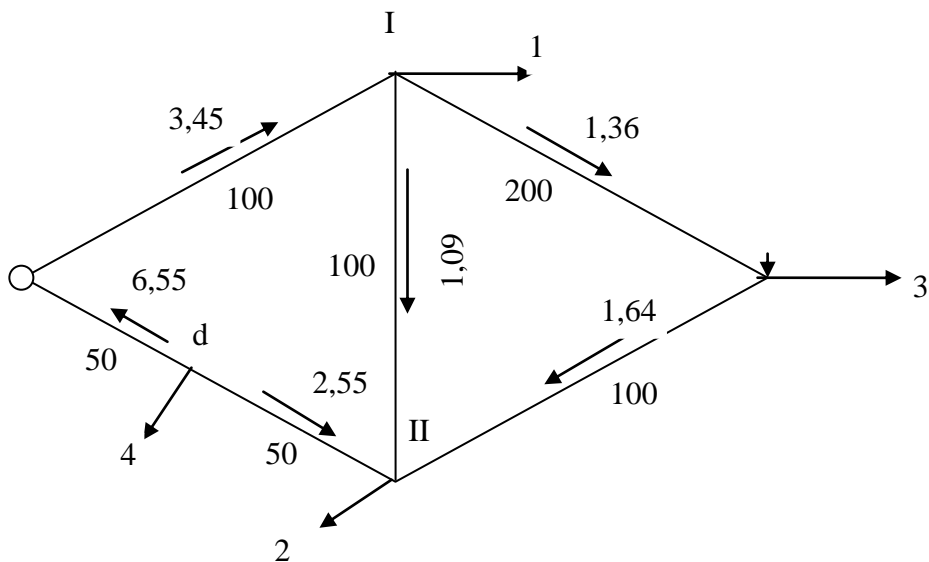
**7.8.3-rasm. Uchastkalarda quvvat taqsimlanishi.**

$$3S_1 - S_2 = 9 \quad \text{va} \quad 4S_2 - S_1 = 2$$

5. Ikkita 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.

$$\text{I-tugun} \quad 3,45 = 1 + 1,36 + 1,09 \text{ kVt}$$

$$\text{II-tugun} \quad 1,09 + 2,55 = 2 + 1,64 \text{ kVt}$$



$$\text{I-kontur } 3,45*100+1,09*100-2,55*50-6,55*50=0$$

$$\text{II-kontur } 1,36*200-1,64*100-1,09*100=0$$

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 uskunalarni 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 uskunalarni 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 turlarini 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‘yorlash (KU va transformatsiyalash koeffitsiyenti bilan rostdashni 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 isrofini 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 isrofini 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 yuklamalrini o‘zgarishi, energetika sistemasida aktiv va reaktiv quvvatlar oqimini hamda undagi isrofni o‘zgarishiga 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.<sup>10</sup>

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?

---

<sup>10</sup> Steven W.Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007, 260 p.

## 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

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R \text{ va } \Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{M^2} \cdot X \text{ qiymatdan}$$

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_{ku})^2}{u^2} \cdot R \text{ va } \Delta Q = \frac{P^2 + (Q - Q_{ku})^2}{u^2} \cdot X \quad (8.2.1)$$

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, isrofnings kamayishi kompensatsiyalovchi uskunalariga ketadigan qo'shimcha xarajatlarni talab qiladi, shuning uchun kompensatsiya uskunalari 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 iqtisodiylikiga, olib keladi. Lekin generatorlarni aktiv quvvat hisobiga reaktiv quvvat bilan yuklash tejamli emas, ayrim hollarda, qachonki sistemada ortiqcha reaktiv quvvat bo'lganda kam tejamli 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 aylanishi 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:

$$Q_{KU} = U_C^2 \cdot \omega C \quad (8.2.3)$$

8.2.3-rasmdan ko'rinib turibdiki, quvvat sig'imga proporsional.

Ketma-ket ulanganda kondensator ishlab chiqargan reaktiv quvvatni tok orqali ifodalash qulay;

$$Q_{KV} = \frac{I^2}{(\omega C)} \quad (8.2.4)$$

Bu holda, quvvat sig'imga teskari proporsional.

Qisqa tutashuvda kuchlanish birdaniga oshib ketmaydi, bundan farqli tok keskin ko'tariladi.

Bunda, har bir kondensatordagi kuchlanish  $U_o$  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 isrofning kamligi;
3. katta hamda kichik quvvatlarda ham ishlatish mumkinligi; kompensatorlarni faqat katta quvvatlarda ishlatish mumkin;
4. mustahkamligi va ishlatishda oddiyliги (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 rostdash 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 oqibatlarini

Elektr energiyani o'zgaruvchan tokda ishlab chiqarish va iste'mol qilishga vaqtning har bir daqiqasida ishlab chiqarilayotgan 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:

$$\sum P_r = \sum P_u = \sum P_{io} + \sum \Delta P \quad (8.3.1)$$

$$\sum Q_r = \sum Q_u = \sum Q_{io} + \sum \Delta Q \quad (8.3.2)$$

Bu yerda  $\sum P_r$  va  $\sum Q_r$  -stansiya ishlab chiqarayotgan aktiv va reaktiv quvvatlar (o'z ehtiyoji iste'molchilari hisobga olinmaydi);  $\sum P_u$  va  $\sum Q_u$  -jami iste'mol qilinayotgan aktiv va reaktiv quvvatlar;  $\sum P_{io}$  va  $\sum Q_{io}$  - iste'molchilarning aktiv va reaktiv quvvatlari;  $\sum P_{ro}$  va  $\sum Q_{ro}$  - 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 ( $\sum Q_r < \sum Q_u$ ) tarmoqda kuchlanish pasayadi. Agar ishlab chiqarilayotgan reaktiv quvvat (barcha vositalar bilan) iste'mol qilinayotgandan katta bo'lsa ( $\sum Q_r > \sum Q_u$ ), 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 oqibatlarini 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, sistemaning alohida generatorlari o'rtasida aktiv quvvatni tegishlicha taqsimlab, bo'ylama rostdashni amalga oshiruvchi maxsus chiziqli rostlagichlarni 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 rostlagichlardan foydalanilganda bu rostlagichlarga 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 uskunalarda 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 uskunalarning 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.

Aytib o'tilganidek, 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 isrofni kamayishi po'latdagi isrofni ko'payishidan ortiq bo'ladi. Buning teskarisi kam yuklanish soatlarida, transformatorlarning bir qismini o'chirish maqsadga muvofiq.

Lekin, podstansiyaning 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:**

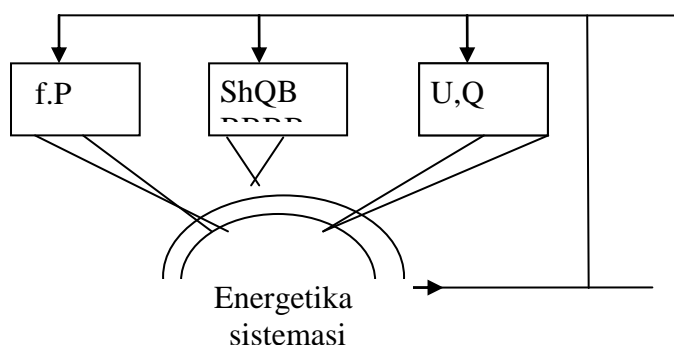
1. Sistemada aktiv va reaktiv quvvatlarni me'yorlash qanday amalga oshiriladi?
2. Transformatorlarda quvvat isrofi qanday kamaytiriladi?
3. Iste'molchilarga yaqin o'rnatilgan reaktiv quvvat manbalari elektr sistemasi ish tartibini qanday yaxshilaydi?

## 8.5. Tartibni boshqaruv sistemasining tarkibi

Energetika sistemasining ishlash prinsipi faqat bir necha universal qoidalarni qo'llash 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.**

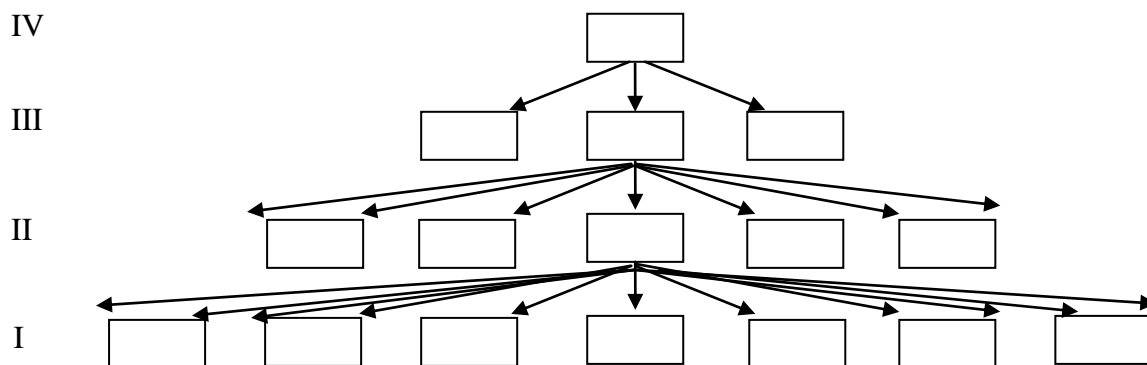
Hududiy dekompozitsiyada energetika sistemasining hududi regionlarga, ya'ni chegaralangan qismlarga bo'linadi. Masalan,  $f$  va  $P$  ni boshqarish, taxminan 10 ta katta quvvatli elektrostansiyalarga ega bo'lgan hududda amalga oshiradi, buning uchun bir necha energetika sistemalarini birlashtirishga to'g'ri keladi.

Kuchlanish va reaktiv quvvat bilan boshqarishni alohida energetik sistemalar amalga oshiradi.

**Iyerarxiyalik tuzilish.** Dekompozitsiya prinsipidan tashqari boshqarish sistemasi yaratilayotganda avtomatik qurilmalar va ularning bog'lanishini iyerarxiyalik 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-iyerarxiyali 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. Iyerarxiyali boshqarishning tuzilishi.**

I-past iyerarxiyali darajada, energetika uskunalari (turbina, generator, transformatorlar) elementlarining ajralmas qismi bo‘lgan avtomatik boshqarish qurilmalari qo‘llaniladi. Bu qurilmalar ishini energetika obyektlari (masalan, elektrostansiyalar) doirasida muvofiqlashtirish II-iyerarxiyali daraja qurilmalari yordamida amalga oshiriladi, energosistema yoki energobirlashma doirasida esa III-daraja qurilmalari yordamida va hokazo.

Avtomatik boshqaruvni iyerarxiyali tuzish ishonchli sistemalarni yaratadi I-darajadagi sistemaning ishonchliligi, odatda boshqarilayotgan uskunalarning ishonchliligidan kam emas. O‘ta yuqori iyerorxiyali darajadagi elementlar ishdan chiqqanda, tartib vaqtincha me’yoriydan chetga chiqadi (og‘adi), lekin ishda qolgan qurilmalarning ta’sirida texnik-ruxsat etilgan oraliqda saqlanadi.

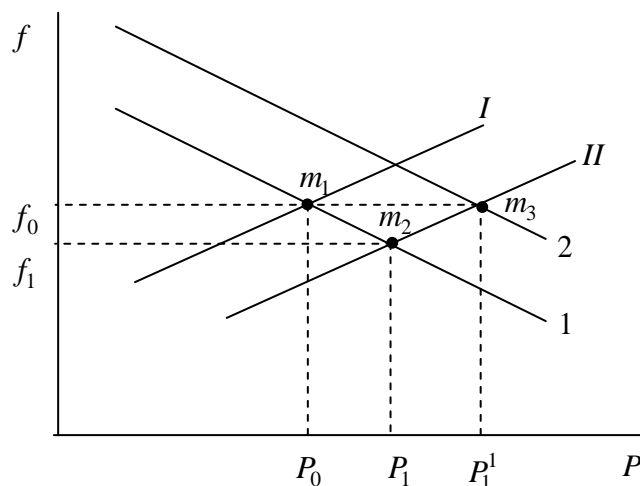
**Nazorat savollari:**

1. Energetika sistemasi ish tartibi nima uchun doim boshqarilishi kerak?
2. Dekompozitsiya prinsipida sistemaning ish tartibini boshqarish nimadan iborat?
3. Iyerarxiyali 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-rasmda, I va II yuklamalarni, 1 va 2 turbinalarning aylanish chastotasi rostlagichlarni statik xarakteristikalari ko‘rsatilgan. 1- to‘g‘ri chiziq bo‘yicha ko‘rinib turibdiki, agregatning aktiv quvvati  $P_0$  dan  $P_1$



**8.6.1-rasm. Turbinani aylanish chastotasini rostlagichi va yuklamani turg‘unlik xarakteristikalari.**

gacha o‘zgarganda chastota  $f_0$  dan  $f_1$  ga kamayadi. O‘zgarmas o‘rnatmada xarakteristikalar qiyaqligini (1 va 2 to‘g‘ri chiziqlar) ifodalovchi rostlash statizmi 4% ni tashkil qiladi ya’ni aktiv quvvat noldan nominal qiymatga o‘zgarganda rostlovchini o‘zgarmas holatida chastota 4%ga pasayadi. O‘rnatma deganda, xodimlar tomonidan ishlatish sharoitiga bog‘liq holda beriladigan ishlab ketish parametrlari tushuniladi.

Chastota bo‘yicha energetika sistemasi tartibi turbinaning rostlash xarakteristikasi bilan yuklamaning statik xarakteristikasining (yuklamalar birikmasi) kesishish

nuqtasi rasmda,  $P_0$  quvvat va  $f_0$  chastotasidagi  $m_1$  nuqtada oʻrnatiladi. Qoʻshimcha isteʼmolchilarning ulanishi va yuklamaning  $P_1$  qiymatigacha oshishi, chastotaning  $f_1$  gacha pasayishiga ( $m_2$  nuqta) olib keladi. Demak, yuklama oʻzgarganda chastotaning ogʻishi turbina quvvatiga bogʻliq va  $\Delta f = f_0 - f_1 = -s\Delta P$  ga teng boʻladi, bu yerda  $\Delta f$  va  $\Delta P$  – chastota va quvvatlarning oʻzgarishi;  $s$ -rostlagich statizm koeffitsiyenti (taxminan 4% ga teng).

Agar oʻrnatilgan chastota nominaldan farq qilsa, unda turbinaning aylanish chastotasining rostlagichi oʻrnatmasining oʻzgartirishga toʻgʻri keladi. Xarakteristika suriladi (2-toʻgʻri chiziq) va yangi tartib,  $P_1^1$  yuklama quvvatiga toʻgʻri keladigan turbinaning nominal chastotasi va quvvatida  $m_3$  nuqtada oʻrnatiladi.

Shunday qilib, oʻzgarmas chastotada aktiv quvvat balansi ishlab chiqarish va isteʼmol qilish quvvatlari tengligiga olib keladi:

$$P_r = P_{ist}, \text{ da } \Delta f \approx 0 \quad (8.6.1)$$

Rostlagich oʻrnatmasiga va rostlash xarakteristikalarini surilishiga taʼsir etish, oʻzgarmas chastotada aktiv quvvatni ishlayotgan turbinalar oʻrtasida qaytadan taqsimlash imkonini beradi, buni energetika sistemasi tartibini boshqarish jarayonida ishlatishga toʻgʻri keladi. Bunday taʼsiri yo xodim qoʻl bilan, yo elektr stansiya aktiv quvvatning ikkilamchi avtomatik rostlagichi yordamida amalga oshiradi. Rostlagichning birinchi kirishiga berilgan aktiv quvvat  $P_{ber}$  boʻyicha xabar keladi, ikkinchiga haqiqiy quvvatlar  $P_{haq}$  yigʻindisiga mos boʻlgan xabar keladi. Agar  $P_{ber} = P_{haq}$  boʻlsa, rostlagich ishlamaydi. Agar tenglik buzilsa, unda quvvat rostlagichi oʻrnatilgan aylanish chastota rostlagichiga taʼsir etib, turbina quvvatini berilganga mos kelmaguncha oʻzgartiradi. Shunday qilib, rostlagich taʼsiri quyidagi shartni bajarilishiga olib kelinadi:

$$P_{haq} - P_{ber} = \Delta P_r = 0$$

Aktiv quvvat rostlagichi elektrostansiyaning barcha turbinalarining aylanish chastota rostlagichlari ishini har bir turbinaning qatnashish ulushini (xissasini) beradigan taqsimlash qurilmasi yordamida amalga oshirilishi mumkin. Bir vaqtning oʻzida bu rostlagich chastota parametrlari va bugʻ bosimini agar ular normal qiymatlardan ancha ogʻganda, koʻrsatilgan parametrlarga bogʻliq holda oʻzgarishini talab qiladigan avariya tartibini bilish kerak boʻlganda, nazorat qiladi. Elektrostansiya



rostlagichlariga berilayotgan quvvat xabari III-iyerarxiya darajasidan energetika birlashmasi chastotasi va aktiv quvvatini markaziy boshqarish sistemasiga keladi.

Birlashmaning ayirboshlash quvvati  $P_{\text{ayr}}$ -bu birlashmaning qo'shni energetika sistemalari bilan bog'lovchi barcha liniyalardagi quvvat oqimlarining algebraik yig'indisidir. Bir vaqtning o'zida, umumiy ayirboshlash oqimi elektr stansiyalar ishlab chiqarayotgan quvvat  $P_g$  bilan ko'rilayotgan birlashma iste'mol qilayotgan quvvat  $P_{\text{ist}}$  ayirmasidir:

$$P_{\text{ayr}}=P_g-P_{\text{ist}}. \quad (8.6.2)$$

Sistemaning o'lchash organiga nazorat qilinadigan parametr sifatida ayirboshlash quvvati barcha tashqi aloqalar bo'yicha keladi, u berilgan bilan solishtiriladi. Agar  $P_{\text{ayr}}-R_{\text{ber}}$  bo'lsa, unda boshqarish sistemasi ishlamaydi. Boshqarish sistemasining ta'siri

$$\Delta P_{\text{ayr}}+\rho_i\Delta f=0 \quad (8.6.3)$$

shartini bajarilishiga olib kelinadi, Bu yerda  $\rho$ -energetika birlashma uchun o'zgarmas koeffitsiyent.

Ayirboshlash oqimi berilgan qiymatlardan og'ganida boshqarish sistemasi harakatga keladi va birlashma elektrostansiyalari berayotgan quvvatni o'zgartirib, bu og'ishni yo'q qiladi. Chastota o'zgarmaganda  $\Delta f=0$ , (8.6.1) ifodadan  $P_{\text{ayr}}-R_{\text{ber}}=\Delta R_{\text{ayr}}=0$  kelib chiqadi.

Ayirboshlash oqimi  $R_{\text{ayr}}$  ni aniqlash teleo'lchov yordamida amalga oshiriladi, uni esa birlashma elektrostansiyalari berayotgan quvvatni telekanallar orqali o'zgarishiga ta'sir qilib, boshqarish signallari yordamida rostlanadi. Ayirboshlash oqimining rostlashdagi elektrostansiyalarning qatnashish ulushini (hissasi), elektrostansiyalar tejamliligini va ularning mohirona ishlashlik xususiyatlarini (quvvatni tez o'zgarishi) hisobga oluvchi markaziy taqsimlagich beradi. Markaziy qurilma sifatida ko'pincha boshqaruvchi EHM qo'llaniladi.

Elektrostansiyalar o'rtasida yuklamalar taqsimlanayotganda, matematik modellar ko'rinishida EHM harakat algoritmiga kirishi zarur bo'lgan omillarni (tejamkorlik, mohirona ishlash va boshqalar) hisobga olish talab etiladi. Bunday boshqarish model bilan boshqarish deyiladi.

Ayirboshlash quvvatining berilayotgan qiymati  $P_{\text{ayr.ber}}$  boshqaruvni IV-yuqori iyerarxiyali darajasidan kelishi mumkin.

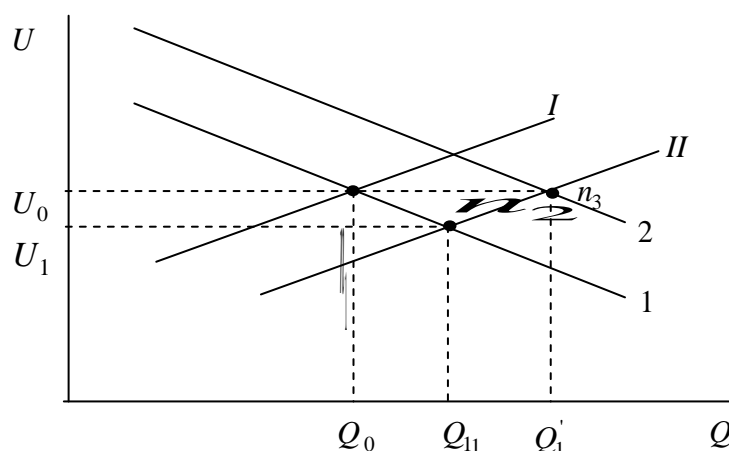
**Nazorat savollari:**

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'rilayotgan 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 xarakteristikalarini va zarur bo'lgan AQRni rostdash xarakteristikalarini 1 va 2, 4% atrofidagi statizm bilan ko'rsatilgan.



8.7.1-rasm. Rostlagich va yuklamani statik xarakteristikalarini.

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:

$$Q_G = Q_{ist} \quad (8.7.1)$$

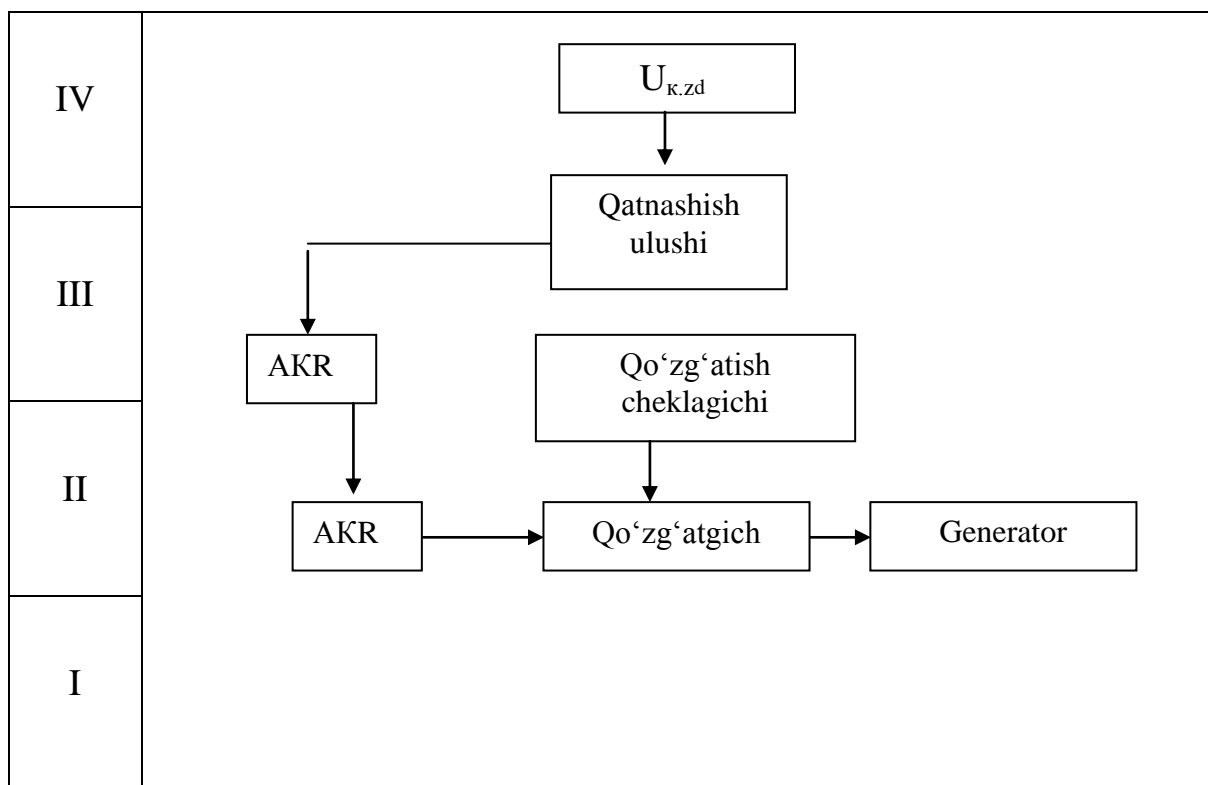
Bunda, tarmoqning nazorat nuqtalarida talab qilingan kuchlanish  $\Delta U_{naz} = 0$  saqlab turiladi.

### **Kuchlanish va reaktiv quvvat tartibining ikkilamchi boshqarish sistemasi.**

AQR qurilmasiga (o‘rnatmaga) yo xodim, yoki barcha elektrostansiya generatorlari AQR ishini muvofiqlashtiruvchi sekin harakatlanadigan 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 uskunalari majmuidir.

Markaziy boshqaruv har qaysi energetika sistemasida elektrostansiya ikkilamchi kuchlanish roslagichlari 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 roslashdagi 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 roslagichlarining o'rnatmasini (berilgan kuchlanish) o'zgartiradi. Telekanal ishdan chiqqanda ikkilamchi kuchlanish roslagichi AQR elektrostansitsiyaning bosh shinasida kuchlanishni berilgan qiymat  $U_{k.ber}$  darajasida ushlab turadi.

Taqsimlovchi tarmoqlarda ta'minlash markazi shinalaridagi kuchlanishni nominal qiymatda ushlab turish, mahalliy rostdash asosida amalga oshiriladi. Bunday rostdash transformatorni transformatsiyalash koeffitsiyentiga (YuOR) ta'sir qilib amalga oshiriladi.

Mahalliy rostdagichning o'lchash organida solishtiriladi;

Mahalliy rostdagichni 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

$$U_{sh}-kI=U_Y$$

Bu yerda  $U_{sh}$ - shinadagi kuchlanish;

$U_Y$ - qurilma kuchlanishi;

$k$  - qarshilik birligidagi o'zgarmas koeffitsiyent.

Ifodadan ko'rinib turibdiki, yuklama tokining oshishi  $U_{sh}-kI$  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 rostdanish deb ataladi. Mahalliy rostdagichlar 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 rostdagichlarini 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 rostdanadi?

## 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.

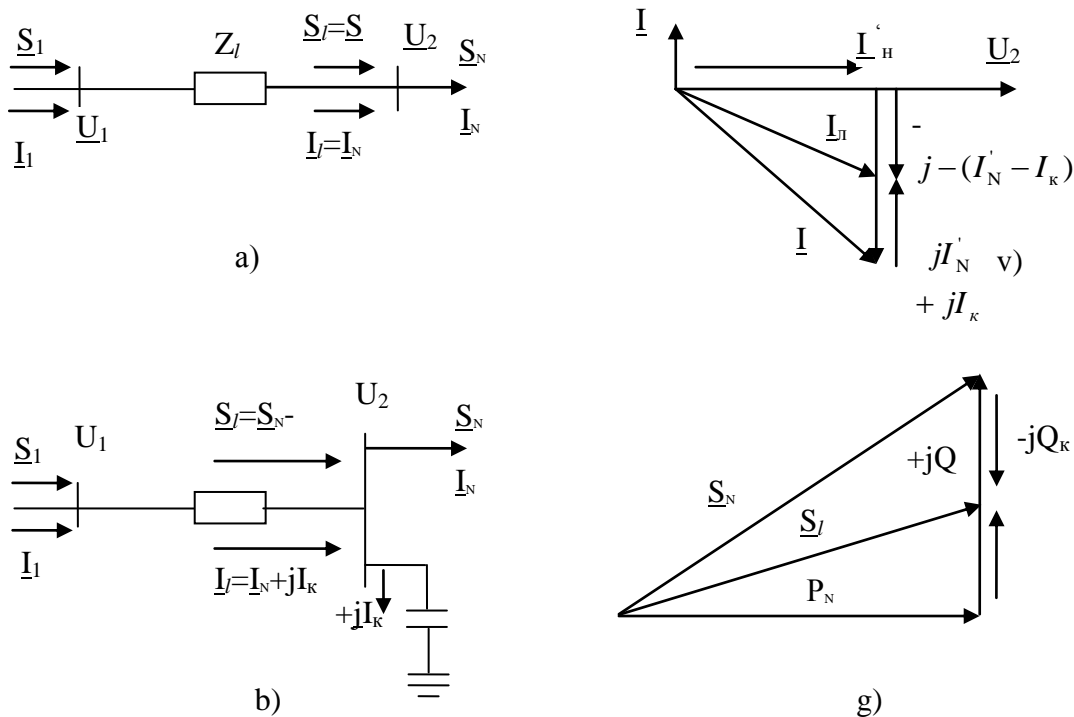
1. Sanoat ishlab chiqarishida aktiv quvvat isteʼmoliga nisbatan reaktiv quvvat isteʼmoli oshib bormoqda.

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.

$$\underline{I}_N = I'_N - jI_k, \quad \underline{S} = P_N + jQ_N \quad (8.8.1)$$

Kompensatsiya qurilmasi oʻrnatilgandan soʻng liniyadagi reaktiv tok va reaktiv quvvat kompensatsiya qurilmasi uzatayotgan reaktiv tok  $I_k$  va reaktiv quvvat  $Q_k$  ga kamayadi. Liniyadagi modul jihatdan kichik reaktiv tok va reaktiv quvvat (8.9.1 b-rasm) oqadi.

$$\underline{I}_l = I'_N - j(I''_N - I_N), \quad \underline{S}_l = P_l + j(Q_N - Q_k) \quad (8.8.2)$$

Shunday qilib, oʻzgarmas yuklamada kompensatsiya qurilmasini podstansiyada ishlatish, liniyadagi reaktiv tok va quvvat kamayadi –liniya reaktiv quvvatdan yengillashadi. Liniyada quvvat isrofi va kuchlanishni pasayishi kamayadi, chunki

$$\Delta P_l = \frac{P_N^2 + (Q_N - Q_k)^2}{U_p^2} R_n ; \quad \Delta U_l = \frac{P_N x_l + (Q_N - Q_k)^2 x_l}{U_{nom}} \quad (8.8.3)$$



**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 nosinusoidalligi 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 ishlahi 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'yrlanadi. Masalan, iste'molchilardagi kuchlanish nominal qiymatdan og'ishi, GOST-13±09 ga ko'ra % da quyidagi oraliqda bo'lishi kerak:

- elektr motor tugunlarida  $\pm 5\%$  (ma'lum joylarda (10%);
- sanoat korxonalarining ish o'rinlarini yoritish qurilmalari qisqichlarida (+5%)-(-2.5%);
- turar joy binolarida ( ichki va tashqi yoritish)  $\pm 5\%$ ;
- shikastlangandan keyingi holatda -10%;
- qishloq tarmog'idan yoki elektr transport tarmog'idan ta'minlanadigan elektr uskunalari qisqichlarida  $\pm 7,5\%$ .

Ko'rinib turibdiki, avariya tartiblarida katta og'ishga ruxsat etiladi, chunki bu tartiblar qisqa vaqtlidir.

## 9.1. Elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlari

Elektr energiyani sifati – elektr tarmoqlarda kuchlanish va chastotani uning me'yoriy qiymatlariga to'g'ri kelishidir. Ko'pincha barcha elektr iste'molchilari texnik va iqtisodiy nuqtai nazardan me'yoriy parametrlarda ( $f_H$ ,  $U_H$ ,  $I_H$ ) ishlashi maqsadga muvofiqdir. Elektr energiyaning sifati 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 koeffitsiyenti, v-garmonika tashkil etuvchisi, kuchlanishni teskari ketma-ketligi koeffitstsiienti, 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.

$$\delta f = f_{\max} - f_{\min}; \quad \delta f \% = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\text{nom}}} \cdot 100\%$$

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.

$$\Delta V = U - U_N \quad \text{ёки} \quad \Delta V \% = \frac{U - U_N}{U_N} \cdot 100\%$$

**Kuchlanishni tebranishi**  $\delta U$  – 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 aylanadi.

$$\delta U \% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} \cdot 100\%$$

Tarmoqni nosinusoidalligi kuchlanish egri chiziqqligi nosinusoidallik koeffitsiyenti bilan tavsiflanadi va quyidagidan aniqlanadi.

$$K_{nsU} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_1} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_{\text{nom}}} \cdot 100\%$$

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'lmashligi tushuniladi.

Kuchlanishni teskari ketma-ketlik koeffitsiyenti – bu sifat ko'rsatkichi, kuchlanish nosimmetriyasini % aniqlaydi.

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_{nom}} \cdot 100\%$$

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 rostdash holati. Kuchlanishni rostdash 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 rostdash uchun reaktiv quvvat chastotani rostdash uchun esa sistemani aktiv quvvatini o'zgartirish kerak. Reaktiv quvvat o'zgaruvchi sistema tugunidagi kuchlanishni rostdash uchun, kerakli nuqtalardagi kuchlanishni rostdash zarur. Chastotani rostdashda energiya mabasi quvvatini shunday o'zgartirish kerakki, chastotani rostdash bilan elektr energiya isrofini kichik qiymatini ta'minlamoq kerak.

Liniya simlari, elektr mashina chulg'amlari, elektr magnet 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:

$$\sum P_N = \sum P_I + \sum P_{XI} + \sum \Delta P_{EI} + \sum \Delta P_L + \sum P_{BU}$$

Bu yerda  $P_I$  - iste'molchilar qabul qiladigan aktiv quvvat

$P_{XI}$  - elektr stansiya va podstansiyalarning xususiy ehtiyoji aktiv quvvati

$\Delta P_{EI}$  - elektr magnet apparatlaridagi aktiv quvvat isrofi

$\Delta P_L$  - havo va kabel liniyalaridagi aktiv quvvat isrofi

$P_{BU}$  - 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.

$$Q_{kq} = b_k \cdot u^2 ; Q_{sq} = b_s \cdot u^2$$

Bu yerda  $b_k, b_c$  – 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  $Q_{xu}$ , elektro magnet apparatlarni magnitlash va yoyishda  $Q_{ea}$ , liniyaning reaktiv qarshiligi  $\Delta Q_l$  reaktiv quvvatlardan yig'ilgan bo'ladi.

$$\Sigma Q_g + \Sigma Q_{sk} + \Sigma Q_k + \Sigma Q_s + \Sigma \Delta Q_l = \Sigma Q_i + \Sigma Q_{xl} + \Sigma \Delta Q_{ea}$$

Muvozanat buzilishining sabablari – generatorning shikastlangandagi uzilishi, to'satdan iste'mol qilinayotgan quvvatni oshishi, liniya yoki transformatorni shikastlangandan uzilishi.

Har qanday tartibda ham kerakliha 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 uskunalari 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 roslash va birlamchi motorlarni aylanishi bilan (aktiv quvvat zaxirasi) va yana agregat qo'zg'atuvchisini sistemali roslash (reaktiv quvvat zaxirasi) bilan aniqlanadi. Chastota va kuchlanishni o'zaro bog'liqligi ya'ni bir vaqtda sistemali roslash 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 roslash deb maxsus texnik vositalar yordamida elektr sistemasining tegishli nuqtalarida kuchlanish darajasini o'zgartirish jarayoniga aytiladi. Tarixan rivojlangan usul, kuchlanish va reaktiv quvvatni roslash 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 roslashda hozirgi vaqtgacha past iyerarxiya darajasida dispetcherlik boshqarishni avtomatlashtirilgan usuli (ASDU) qo'llanilmoqda. Yuqori

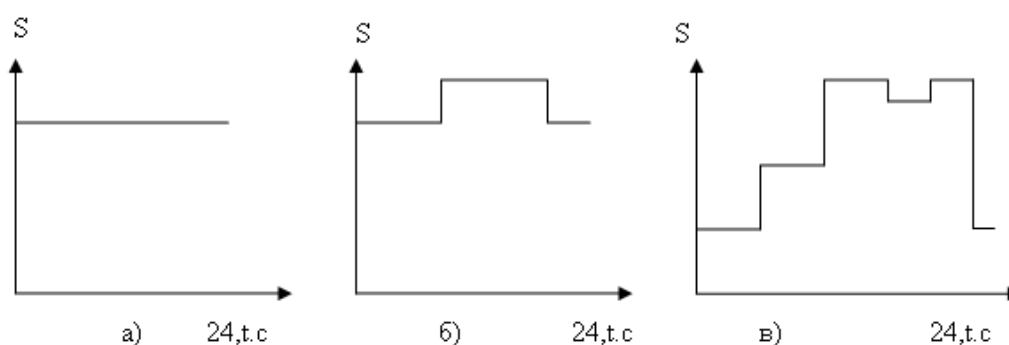


daraja uchun dispatcherlik boshqarishni avtomatlashtirilgan sistemasini mahalliy usuli hisoblanadi. Yuqori darajadagi dispatcherlik boshqarishni avtomatlashtirilgan sistemasi muayyan joydagi roslash sistemalarini va energetika sistemasini tartibini to'liq holda umumlashtiradi.

Muayyan joydagi kuchlanishni roslash markazlashtirilgan ya'ni ta'minlash markazida va mahalliy, ya'ni to'g'ridan to'g'ri iste'molchi yaqinida amalga oshiriladi.

Mahalliy roslashni guruhli va yakka tartibiga bo'lish mumkin. Guruhli roslashni iste'molchilar guruhi uchun yakka tartiblisi esa asosan maxsus maqsadlar uchun qo'llaniladi.

Yuklanishni o'zgarish xarakteriga qarab har bir ko'rsatilgan roslash turini bir nechtaga bo'lish mumkin. Masalan, markazlashtirilgan kuchlanishni roslashda uchta turini ajratish mumkin: kuchlanishni stabilizatsiyalash; ikki bosqichli kuchlanishni roslash; kuchlanishni qarma-qarshi roslash. Yuklamasi amaliy jihatdan o'zgarmaydigan iste'molchilar uchun kuchlanishni stabilizatsiyalash qo'llaniladi. Masalan: uch smenali korxonada 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'zgarimas, 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 roslanadi. 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 rostdash

Kuchlanish rostdanishi 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 rostdash bevosita ta'minlash markazida (TM) YuOR li (yuklama ostida rostdash) transformatorlar va rostdashning mahalliy vositalari bilan amalga oshiriladi.

Taqsimlovchi tarmoqning ta'minlash markazi (9.3.1-rasm) (TM) - energetika sistemasining ta'minlash tarmoqlariga (35-220kV) ulangan podstansiya 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 chulg'amiga past kuchlanish tarmog'i ulangan, undan aksari elektr qurilmalar (iste'molchilar) bevosita ta'minlanadi.

Iste'molchilardagi kuchlanishni nominaldan og'ishi  $U_{ist}$  berilgan yoki boshqa har qanday nuqtada teng, %

$$V\% = \frac{U_{ist} - U_{nom}}{U_{nom}} \cdot 100 \quad (9.3.1)$$

Agar iste'molchi transformator orqali energiya olsa, unda kattaligi  $U_{ist}$  yuqori kuchlanish tomoniga ya'ni  $U_{ist}^1$  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:

$$V_{teb}\% = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{nom}} \cdot 100 \quad (9.3.2)$$

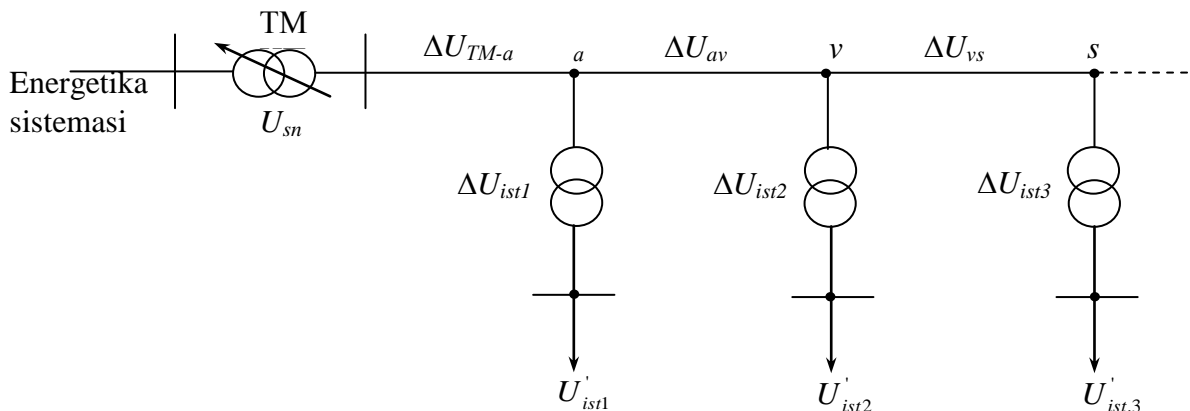
Bu yerda,  $U_{max}$  va  $U_{min}$  - bir tebranish oralig'idagi max va min kuchlanishlar.

Istemolchidagi kuchlanish, yuqori tomondagi kuchlanishdan ko‘rilayotgan istemolchigacha kuchlanish yo‘qotilishini ayirib aniqlanadi.

$$U_2 = U_1 - \Delta U_2 = U_1 - \frac{PR + QX}{U_{nom}}$$

yoki istemolchining haqiqiy kuchlanishi umumiy ko‘rinishda

$$U_{ist}^1 = U_{yu} - \Delta U_{\Sigma} \quad (9.3.3)$$



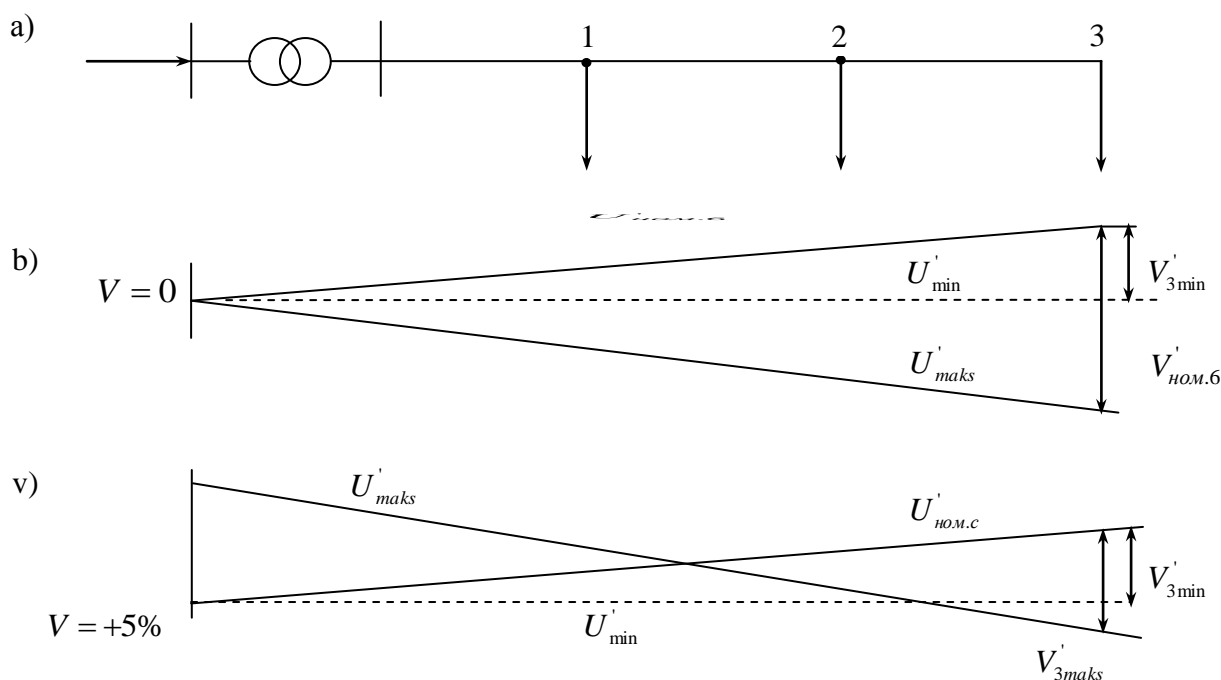
### 9.3.1-rasm. Iste‘molchilarni transformatorlar orqali elektr ta‘minoti.

(9.3.3) dan ko‘rinib turibdiki iste‘molchidagi kuchlanish quyidagi omillarga bog‘liq; TM dagi  $U_{TM}$  kuchlanishga ta‘minlash markazidan ko‘rilayotgan iste‘molchigacha bo‘lgan jami  $\Delta U_i$  kuchlanish yo‘qotilishiga va transformatsiyalash koeffitsiyenti  $K_{TR}$  ga bog‘liq. Shunday qilib, kuchlanishni rostdash, past kuchlanish tarmoqlarida ruxsatlangan kuchlanish og‘ishini ta‘minlash vazifasidan iborat bo‘ladi.

- 1) QR li (qo‘zg‘atishsiz o‘chirilgan halda rostdash) transformatorlarning kerakli shoxobchalarini tanlash, ya‘ni  $K_{TR}$  ni o‘zgartirish.
- 2) TM da kuchlanishni rostdash  $U_{TM}$
- 3) Taqsimlovchi tarmoqlarda kompensatsiyalovchi uskunalardan foydalanib  $\Delta U_{\Sigma}$  kuchlanish yo‘qotilishini kamaytirish.

### Kuchlanishni qarama–qarshi o‘zgartirish.

TM dan kuchlanish rostlanishidan uzoqda joylashgan iste’molchilarda kuchlanish og‘ishi ruxsat etilgan oraliqdan oshib ketishi mumkin (9.3.2b-rasm). Shu sababli «qarama–qarshi» deb atalgan rostlash (9.3.2v-rasm), ya’ni yuklama ortishi bilan transformator podstansiyasi shinasidagi kuchlanishni ko‘tarish zarur. Qarama–qarshi rostlash qo‘llanilganda  $V_{3mak}$  kattaligi ancha kamayadi va iste’molchi ancha sifatli energiya oladi. EUQ ga asosan maksimal yuklamalar tartibida TM shinasidagi kuchlanishni 5-10% ga ko‘tarish, minimal yuklamalar tartibida esa tarmoqning nominal kuchlanishiga teng qilib, ya’ni TM shinasidagi kuchlanish og‘ishini nolga teng qilib ushlab turish ( $V=0$ ) tavsiya qilinadi.



**9.3.2-rasm. Taqsimlovchi mahalliy tarmoq va iste’molchilarda kuchlanishli og‘ishi.**

TM ga yaqin birinchi transformatorida odatda birinchi shoxobcha o‘rnatiladi (kuchlanishga qo‘shimcha  $E_{xqo'sh}=0$  bilan; QRli transformatorlarda hammasi bo‘lib, kuchlanish qo‘shimchasini 0-10% oralig‘ida o‘zgartira oladigan har biri 2.5% dan to‘rtta shoxobcha bor), TM shinasidagi kuchlanish shunday tanlanadiki, bunda PK tarmog‘i shinasida kuchlanish og‘ishi  $V_{bosh}=Q5\%$  ga teng qilib olinadi, bu imkoni bor eng ko‘p kuchlanish yo‘qotilishini kompensatsiya qiladigan shoxobchaga to‘g‘ri kelishi kerak;

$$\Delta U_{\text{imk}} = V_{\text{bosh}} - V$$

Bu yerda  $V_{\text{bosh}}$  - tarmoq boshida kuchlanish og'ishi;

$V$  - eng uzoqda joylashgan iste'molchi uchun kuchlanish og'ishining pastki chegarasi.

Agar, masalan  $V_{\text{bosh}} = 5\%$  bo'lsa, unda iste'molchida kerakli kuchlanishni ushlab turish uchun imkoni bor kuchlanish yo'qotilishi  $10\%$  ga teng bo'lishi mumkin, ya'ni

$$(U_{\text{imk}} - V_{\text{bosh}} - V) \leq 10\%$$

Maksimal yuklamalar tartibida TM shinasidagi kuchlanish og'ishi

$$V = V_{\text{H1}} + \Delta V_{\text{E1}} - E_{\text{QO'Sh}} \quad (9.3.4)$$

Bu yerda  $V_{\text{H1}}$  - transformatorning PK chulg'amidagi iste'molchida 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 rostlab 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 transformatsiyaining har bir bosqichida kuchlanish yo'qotilishi nisbiy birlikda teng.

$$\Delta U_T \approx 0,1 S_T$$

Bu yerda  $S_t=S_t/S_{nom}$  nisbiy birlikda transformator quvvati

Uch-to'rt transformatsiyada tarmoqda kuchlanish yo'qotilishi  $0,3-0,4 S_t$  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.

$$\sum \Delta U_{eng.kat} \% \approx 30 \div 40\%, \quad \sum \Delta U_{eng.kich} \% \approx 12 \div 16\%$$

Bundan ko'rinadiki iste'molchida kuchlanishni o'zgarish oralig'i

$$\sum \Delta U_{eng.kat} \% - \sum \Delta U_{eng.kich} \% \approx 18 \div 24\%$$

Shuning uchun 10% iborat generatorni kuchlanish o'zgarish oralig'i yetmaydi.

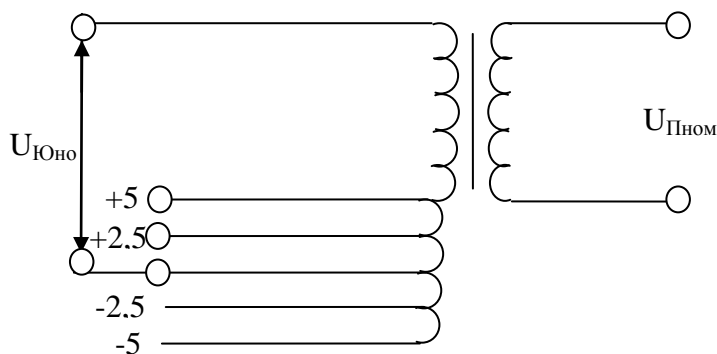
Elektr stansiya generatorlari faqat ikki sababga asosan yordamchi kuchlanishni rostdash vositasi hisoblanadi.

1. Generatorlar bilan kuchlanishni rostdash oralig'i yetarlicha emas.
2. Yaqin va uzoqdagi iste'molchilar uchun kuchlanish bo'yicha talablarni moslashtirish qiyin.

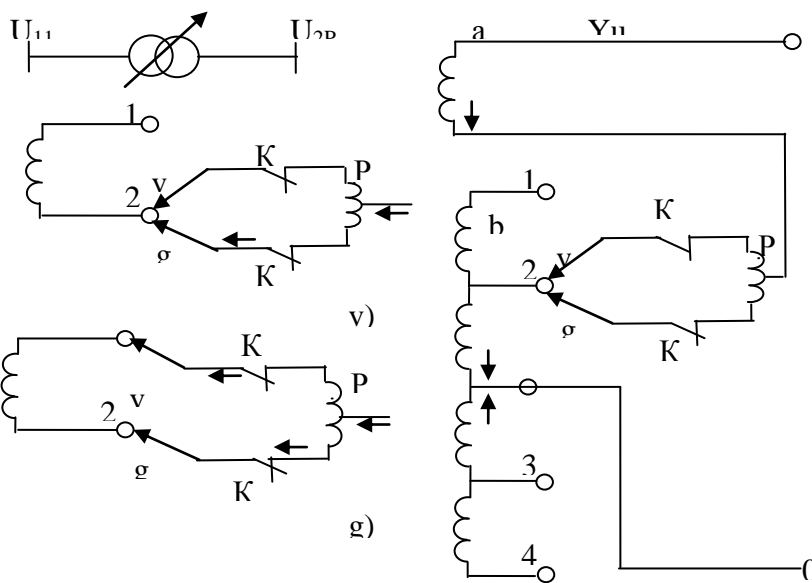
Sistema uchun stansiya – to'g'ri yuklama holatida generatorlar rostdash vositasi qilib ishlatiladi. Bu holatda ayrim ishlayotgan sanoat korxonasi elektr stansiyasi shinalarida kuchlanish qarama-qarshi rostdanadi, ya'ni generator qo'zg'atish tokini o'zgartirib, yuklamani maksimum soatlarida kuchlanish oshiriladi, minimum soatlarida kuchlanish pasaytiriladi.

**Elektr stansiyalardagi kuchaytiruvchi transformatorlari** TDS/110. Yuqori kuchlanish chulgʻamining nominal kuchlanish  $U_{nom,yu}=110$  kV va bir qism TDS/220,  $U_n=220$  kV generatorga oʻxshab kuchlanishni rostlovchi yordamchi vositalar hisoblanadi va  $\pm 2 \times 2,5\%$   $U_{nom}$ , rostlash oraligʻiga ega va ular yordamchi yaqin va uzoqdagi isteʼmolchilar uchun kuchlanish boʻyicha talablarni moslashtirmoq mumkin emas. Shuning uchun kuchlanishni rostlovchi asosiy vosita rayon podstansiyalarini transformator va avtotransformatorlari hisoblanadi.

Pasaytiruvchi podstansiyalarda kuchlanishni rostlash. Ishi boʻyicha pasaytiruvchi podstansiyalarda ikki turli transformatorlar boʻladi: a) rostlovchi shoxobchalarni qoʻzgʻatishsiz (9.4.1-rasm). Yaʼni transformatorlarni tarmoqdan oʻzib (qoʻzgʻatishsiz KR) rostlash; b) yuklama ostida shoxobchalarni (Yu.O.R transformatorlar) rostlash. Koʻp hollarda rostlovchi shoxobchalar (9.4.2-rasm). Kichik tokka ega boʻlgan yuqori kuchlanish tomonida boʻladi. Bunda oʻzgaruvchi qurilma toki yengillashadi.



**9.4.1-rasm. Qoʻzgʻatishsiz rostlanuvchi transformator.**



**9.4.2-rasm. Yu.O.R transformatorlar a) shartli belgilash; b-**

**Yu.O.R.transformator chulgʻamlar sxemasi; v.g-shoxobchalarni oʻzgartirish.**



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  $U_{nom.t}$ 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  $U_{nom.t}$ 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 ( $U_t/U_{nom.t}$ )	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‘rnatilgan 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% rostdash 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 siljimaydigan 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'lmashligi 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.

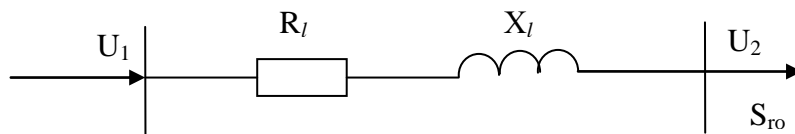
Yu.O.R yordamida sutka bo'yicha yuklama o'zgarganda shoxobcha va transformatsiya koeffitsiyentini o'zgartirish, ya'ni qarama-qarshi rostdash talabini bajarish mumkin.

**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 rostdash

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.

$$\Delta U_{\tau} = \frac{P_l \cdot R_l + Q_l \cdot X_l}{U_2} \quad (9.5.1)$$

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  $\Delta U_t$  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  $\Delta U_t$  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 muvofiq 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

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{\tau} < U_{2rux}$$

Kuchlanishni ruxsatlangan qiymatgacha ko‘tarish uchun liniyaga ketma-ket kondensator ulaymiz.

Unda ifoda quyidagi ko‘rinishni oladi.

$$U_{2_{rux}} = U_1 - \frac{P_1 \cdot R_l + Q_1(X_l - X_k)}{U_{2_{rux}}} \quad (9.5.2)$$

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

$$U_2 = U_1 - \sqrt{3} \cdot I_1(R_l + jX_l)$$

$$U_{2_{rux}} = U_1 - \sqrt{3} \cdot I_1(R_l + jX_l) - \sqrt{3} \cdot I_1(-jX_k)$$

$I_1$  – liniyadagi tok

$\sqrt{3} \cdot I_1 \cdot X_k$  - manfiy kuchlanishni pasayishi yoki zanjirga kiritilgan EYuK deb ko‘rish mumkin.

$U_1$ ,  $U_{2_{rux}}$ ,  $R_l$ ,  $X_l$ ,  $R_l$ ,  $Q_1$  qiymatlarni bilib (9.5.2) dan parallel ketma-ket ulangan kondensatorlarni sonini aniqlash mumkin. Bunda kondensatordagi kuchlanish va tok teng bo‘ladi.

$$U_k = \sqrt{3} \cdot I_{\pi} \cdot X_{\pi}, \quad I_k = I_{\pi} = \frac{S_{\pi}}{\sqrt{3} \cdot U_k}$$

Agarda bir kondensatordagi nominal kuchlanish  $U_{k_{nom}} < U_k / \sqrt{3}$  bo‘lsa, bir fazaga bir necha ketma-ket ulangan kondensator qo‘yish kerak. Ulangan kondensatorlar soni quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$n = U_k / \sqrt{3} \cdot U_{k_{nom}}$$

Kondensator pasportida uning quvvati  $Q_k$  ko‘rsatiladi, uning qiymatini bilib, nominal tok  $I_{k_{nom}}$  ni aniqlash mumkin.

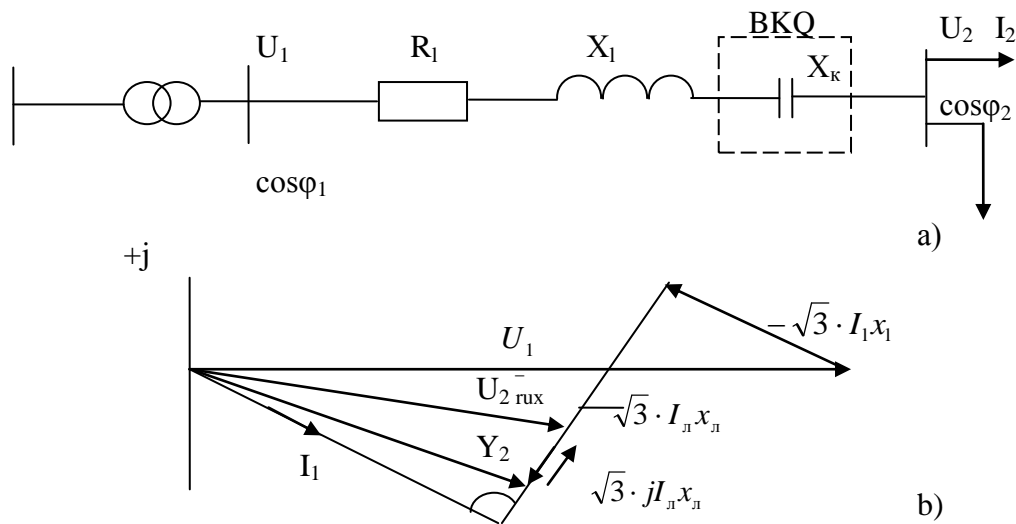
$$I_{k_{nom}} = Q_k / U_{k_{nom}}$$

Agarda  $I_{k_{nom}} < I_k$  bo‘lsa parallel  $m$  dona kondensator qo‘yish kerak

$$m = I_1 / I_{k_{nom}}$$

Liniya bo‘ylamasiga kompensatsiya qurilmalari (BKQ) da sig‘im qarshiligini induktiv qarshilikka foizda nisbati, foizda kompensatsiya deyiladi.

$$c = \frac{X_k}{X_l} \cdot 100$$



### 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 rostdanadi?
2. Tarmoq qarshiliklarini o‘zgartirib kuchlanish rostdanishni matematik va vektor diagrammada 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 nosimmetriyalaridir. 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

$$U_1 = \frac{1}{3} \cdot (U_a + a \cdot U_b + a^2 \cdot U_c)$$

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 choralarini ko'rish zarur.

**Kuchlanish nosimmetriyasini elektr iste'molchilari ishiga ta'siri.** 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 motor 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 korxonalarini yuklamalarining volt-amper 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 jihozlari 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 sinusoidal 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'zgarimas tok iste'molchilarga rostlanuvchi 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 tiristorli 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. Ularning 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 isrofini, 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  $6 \div 8,5\%$  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

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^N U_v^2}}{U_{nom}} \cdot 100$$

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.

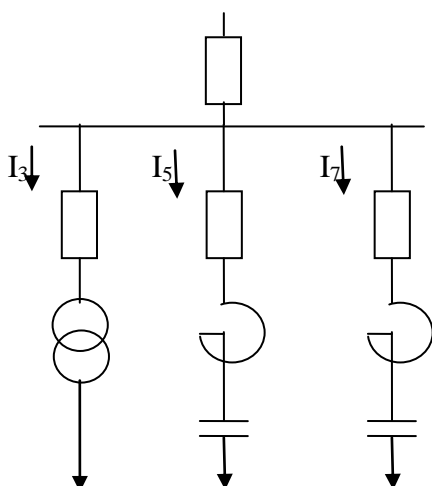
Yuqori garmonikalar darajasini ta'minlovchi tarmoq imkoniyatlari orqali kamaytirish, asosan elektr ta'minotini ratsional sxema asosida bajarishga asoslangan keng tarqalgan usullardan biri bu yuqori, ya'ni 110-220 kV li kuchlanishga ega to'g'rilagich transformatorlarini qo'llash va noxiziqli yuklamalarni alohida transformatorlardan yoki ularni uch chulg'amli transformatorlarning alohida chulg'amlaridan ta'minlashdir. Shuningdek noxiziqli 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.

$$x_{fu} = x_{lv} - x_{su} \quad \text{ëku} \quad x_{fu} = x_{lv} - \frac{x_s}{y}$$

Bunda  $X_l, X_s$ -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.

$$v_p = \sqrt{\frac{x_c}{x_l}}$$

Filtrlar bir vaqtning o'zida reaktiv quvvat manbai ham hisoblandi 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 loyihalalanayotgan 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.<sup>11</sup>

Texnik-iqtisodiy hisoblardan maqsad quyidagilardan iborat bo‘ladi:

---

<sup>11</sup> Steven W.Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007, 260 p.

– 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 tanlash. Bunga sistemasining ayrim qismlaridagi energiya isrofini kamaytirish, elektr energiyani ishonchliligini va sifatini ko‘tarish, kompensatsiyalaydigan 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 navbatma-navbat 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:

$$Z_K = (1 + E_K) \cdot K_{\Sigma} + C_{\Sigma} \quad (10.1.1)$$

Bu yerda  $Z_K$ - har bir variantga to‘g‘ri keladigan kumulyativ xarajati.

$K_{\Sigma}$ -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:

$S_{\Sigma}$ -bir yillik uskunadan foydalanishga (uskunani ishlatish uchun) bo‘lgan xarajatlar yig‘indisi.

$S_{\Sigma}$  xarajatlarni ochib yozamiz, bunda:

$$S_{\Sigma} = S_{\Sigma\text{ren}} + S_{\Sigma\text{Tx}} + S_{\Sigma\Delta E} \quad (10.1.2)$$

(10.1.2) dagi tarkibiy qismlarni ko‘rib chiqamiz. Bunda  $S_{\Sigma\text{ren}}$  –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  $S_{Ztx}$  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/stni 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.

$$S = S_l + S_{n/s} + S_{\Delta E} = \frac{P_{al} + P_{p,l}P_{o,l}}{100} \cdot H_l + \frac{P_{a,n/sm} + P_{P,n/sm} + P_{o,n/cm}}{100} \cdot H_{n/sm} + S_{\Delta E}$$

Bu yerda  $S_l$ ,  $S_{n/s}$  – liniya va podstansiya uchun ishlatish xarajatlari, ming so‘m/yil

$S_{\Delta E}$  – elektr energiya isrofi narxi, ming so‘m/yil.

$P_{al}, \varphi P_{p,l}, \varphi P_{o,l}$  – bir yilda liniya uchun amortizatsiya,

oddiy ta‘mirlash va xizmat ko‘rsatish chegirmalari, %

$P_{a,n/sm}, P_{P,n/s}, P_{o,n/s}$  – xuddi shular podstansiya uchun.

Bu qo‘shilmalarning qiymatlari ma‘luotnomada 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:

$$S = S_a + S_p + S_o + S_{\Delta E}$$

**Amortizatsion chegirma** kapital ta‘mirlashga va yeyilib ishdan chiqqan va ma‘naviy eskirgan uskunalarni 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** uskunalarni ish holatida saqlab turish uchun mo‘ljallangan. Oddiy ta‘mirlash vaqtida izolyatorlar almashtiriladi, tayanchlar va podstansiya uskunalarning 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:

$$S_{\Delta E} = \beta \cdot \Delta E$$

Bu yerda  $\Delta E$  - elektr energiya isrofi, kVt. soat;

$\beta$  - 1 kVt.soat elektr energiya isrofining narxi [sum/kVt.soat]

Texnik iqtisodiy ko'rsatkichlarga uzatiladigan elektr energiyaning tan narxi ham kiradi:

$$G = C/E$$

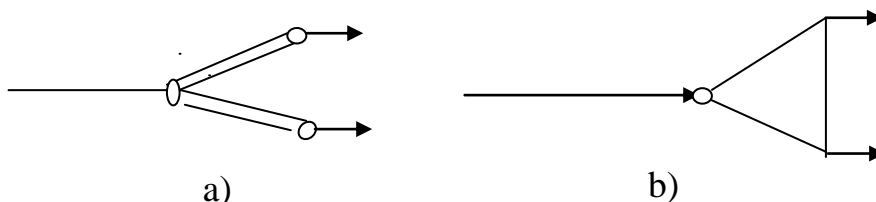
Bu yerda S – tarmoqni ishlatish xarajatlari, sum/yil;

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, ishonchliligi 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:

$$Z_k = (1 + E_k)K + S, \text{ qso'm/yil}$$

Bu yerda K – jami kapital xarajatlar (investitsiya), sum

$E_k$  – 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 uskunalarini 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 ishonchliligiga 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 ishonchliligini baholash mezonlari sifatida ishonchlilikning quyidagi texnik ko'rsatkichlari qabul qilinadi:

- uzilish oqimi parametri (bir yilda o'rtacha uzilish soni),  $\omega$ ;
- bir yilda uzluksiz ishlash ehtimoli,  $\rho$ , 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 ishonchlikni hisobga olgan holda tanlash uchun, har qaysi variantning hisobiy xarajatlariga 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.

$$Z_2 = S_2 + (1 + E_K)K_2 + U_2$$

Ziyon aniqlanadi:

$$U_v = \omega T_v P_{\kappa\delta} E_N U_{ov},$$

Bu yerda  $\omega$  - uzilish oqimi parametri (bir yilda o'rtacha uzilishlar soni);

$T_v$  – o'rtacha yillik tiklash vaqti, yilG'uzilish;

$R_{\kappa\delta}$  – me'yoriy tartib uchun jami yuklama yig'indisi, kVt;

$E_N$  – iste'molchi yuklamasini cheklash koeffitsiyenti;

$U_{ov}$  – elektr ta'minotining majburiy uzilishi oqibatidan keladigan hisobiy solishtirma yillik ziyon ming so'm/kVt.yil.

Elektr tarmoqlari elementlarining  $\omega$  va  $T_v$  ko'rsatkichlari ma'lumotnomadan olinadi.

$E_H$  koeffitsiyenti 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)  $E_N=0$ .

$P_N E_N$  –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:

$$U_v = K_v \cdot R_{ib} \cdot E_{\mu} U_{ov}$$

Bu yerda  $K_v$  – majburiy bekor to‘xtab turish koeffitsiyenti, (nisbiy birlikda).

Tarmoqning bir elementi uchun

$$K_{\epsilon} = \omega T_{\epsilon}$$

Elektr tarmoqlarini loyihalash vaqtida ishonchlilikni 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 xarajatlardan uchun nimadan iborat?
2. Kapital xarajatlardan va ishlatish xarajatlari nimalardan iborat?
3. Tanlangan variantlarni texnik iqtisodiy qanday solishtiriladi?
4. Ishonchlilik talablari bo‘yicha variantlarni 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 energiyaning isrofi bilan bog'langan.

Elektr sistemalarining iqtisodiyiligiga (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 asoslanib tanlanadi:

$$K = a + vF \quad (10.2.1)$$

Bu yerda  $a$ - kesim yuzasiga bog'liq bo'lmagan narxning o'zgarmas 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 qiymatlashish koeffitsiyenti. ( $\text{so'm/km.mm}^2$ )



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

$$C_{\Delta E} = 3I^2(\rho/F) \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} \quad (10.2.2)$$

Bu yerda  $I$  – normal holatga tegishli liniyadagi maksimal tok, A.

$\rho$  - sim materialining solishtirma qarshiligi;

$\tau$  - maksimal quvvat isrofi ajraladigan vaqt, soat;

$\beta$  - 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:

$$Z = (E_N + p)(a + vF) + 3I^2(\rho/F) \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} \quad (10.2.3)$$

Bu yerda  $\rho$  – liniyani amortizatsiyasiga, tuzatishga va u uchun xizmat qiluvchilarga ajratilgan mablag‘ ko‘effitsiyenti.

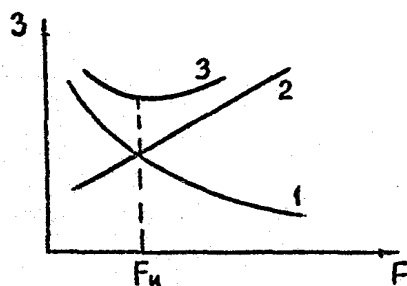
Keltirilgan xarajatning eng kichik qiymati bo‘ladi, qachonki

$$\frac{dZ}{dF} = (E_N + p)v - 3I^2(\rho/F)\tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} = 0$$

Bundan tokning iqtisodiy zichligi:

$$j_N = I/F = \sqrt{(E_N + p)v / 3\rho \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}} \quad (10.2.4)$$

Yuqorida aytilgan liniyani ishlatish (ekspluatatsiya)ga bo‘lgan yillik xarajatlarni simning kesim yuzasiga bog‘liqligini egri chiziqli o‘zgarishi 10.2.1-rasmda ko‘rsatilgan.



**10.2.1-rasm. Yillik keltirilgan xarajatning simni kesim yuzasiga bog‘lanishi**

Undan ko‘rib turibmizki  $C_{\Delta E} = 3I^2(\rho/F) \cdot \tau \cdot \beta$  (energiyani isrofiga ketgan haraj) ga tegishli 1 – egri chiziq, simning kesim yuzasiga teskari munosabatda o‘zgaradi, a’zolar  $C = (E_N + p) \cdot (a + vF)$  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 kapital 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  $F_i$  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  $F_i$  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.

$$F = \frac{I_{MAC}}{j_u} \quad (10.2.5)$$

Bu yerda  $I_{mak}$ - 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/mm<sup>2</sup>.

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.

$j_i$  va  $F_i$  ni maksimal yuklamalardan foydalanish vaqti  $T_{mak}$  ga bog'liqligi teskari o'zgarishlidir, ya'ni  $T_{mak}$  ni kattalashishi bilan  $j_i$  kamayadi,  $F$  esa kattalashadi, chunki  $T_{mak}$  ni o'sishi bilan keltirilgan xarajatlardagi elektr energiya narxi oshadi. (10.2.4 ifodadagi ( o'sadi).

Liniyadagi  $I_{\text{mak}}$  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 mm<sup>2</sup> va undan kichik kesim yuzali izolyatsiya qilingan simlarda ham  $j_i$  ni 40% ga kattalashtirish mumkin.

Uchastkalari katta bo'lmagan va ulardagi  $T_{\text{mak}}$  lar har xil bo'lgan tarmoqlarda iqtisodiy kesim yuzasi har bir uchastka uchun alohida aniqlanadi, lekin bunda uchastkalardagi har xil  $T_{\text{mak}}$  o'rniga butun tarmoq uchun uning o'rtacha qiymati  $T_{\text{o'r.mak}}$  quyidagi ifodaga asoslanib qabul qilinadi.

$$T_{\text{o'r.mak}} = \frac{\Theta}{P_{\text{mak}}} = \frac{P_{1\text{mak}} \cdot T_{1\text{mak}} + P_{2\text{mak}} \cdot T_{2\text{mak}} + \dots}{K_o \cdot (P_{1\text{mak}} + P_{2\text{mak}} + \dots)} = \frac{\sum_1^n P_{i\text{mak}} \cdot T_{i\text{mak}}}{K_o \cdot (\sum_1^n P_{i\text{mak}})} \quad (10.2.6)$$

Bu yerda  $K_o$  – yuklamalar maksimumi bir vaqtga to'g'ri kelmasligini 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  $j_i=j_i$ ;  $K_U$  qabul qilinadi, Bu yerda  $j_i$  – oxirida bir yuklamasi bo'lgan va  $T_{\text{mak}}=T_{\text{o'r.mak}}$  bo'lgan holdagi bir liniyaga tegishli tokning iqtisodiy zichligi.

$K_U$  koeffitsiyenti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$K_U = \sqrt{\frac{I_1^2 L}{I_1^2 \ell_1 + I_2^2 \ell_2 + \dots + I_n^2 \ell_n}} \quad (10.2.7)$$

Bu yerda  $I_1, I_2, I_n$  – ayrim uchastkalardagi yuklama toklari;

$\ell_1 \cdot \ell_2 \cdot \dots \cdot \ell_n$  - 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)  $T_{\text{mak}}=5000$  s bo‘lganda  $F_i$  ni aniqlashdagi xatolik +30%;  $T_{\text{mak}}=8760$ s da esa xatolik intervali o‘rtacha vaqt qiymati uchun tanlangan kesim yuzasiga nisbatan 20% ni tashkil etadi.

Yuklamaning iqtisodiy oraliq‘I (intervali) metodi aniqroq yyechimini beradi, bunda keltirilgan xarajatga ta’sir qiladigan simlarni standart kesim yuzasini uzlukligi, parametrlarni haqiqiy qiymati hisobga olinadi.

Simlarning ma’lum bir kesim yuzasi uchun shunday yuklamalar oraliq‘I 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.

$$Z_{(m)} = (E_n + p)K_{(m)} + ZI^2 r_{(Om)} \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^3 \quad (10.2.8)$$

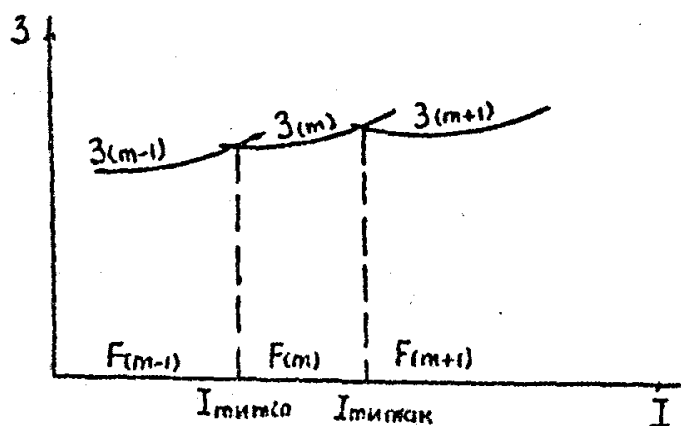
Ushbu kesim yuzasi  $F_m$  uchun iqtisodiy oraliqni hosil qiluvchi mumkin bo‘lgan yuklamalar qiymatini kesim yuzalari  $F_{(n-1)}$  va  $F_m$ , va  $F_{(m+1)}$ ga taalluqli keltirilgan xarajatlarni bir-biriga tenglashtirilib aniqlash mumkin.  $Z_m=Z_{(m-1)}$  shartiga asoslanib, kesim yuzasi uchun tokni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

$$I_{(m)u.min} = \sqrt{(E_\kappa + p)(K_{(m)} - K_{(m-1)}) \cdot 10^{-3} / 3\tau\beta(r_{0(m-1)} - r_{0(m)})} \quad (10.2.9)$$

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

$$I_{(m)u.mak} = \sqrt{(E_\kappa + p)(K_{(m+1)} - K_{(m)}) \cdot 10^{-3} / 3\tau \cdot \beta(r_{0(m)} - r_{0(m+1)})} \quad (10.2.10)$$

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 ( $j_u$  yoki iqtisodiy intervalga asosan) kesim yuzalari standart qiymatga yaxlitlanadi va tokni mumkin bo'lgan qizdirish darajasi bo'yicha (HL uchun shikastlanishdan keyingi holat), 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  $T_{\text{mak}}$  bilan iqtisodiy zichligi qanday bog'langan?

### 10.2.1.Mavzuga doir misollar

1-Misol. (80+j40) MVA quvvat iste'mol qiladigan korxonona 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.

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2} \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} U_N} = \frac{\sqrt{80^2 + 40^2}}{2 \cdot 1,73 \cdot 110} = 235 \text{ A}$$

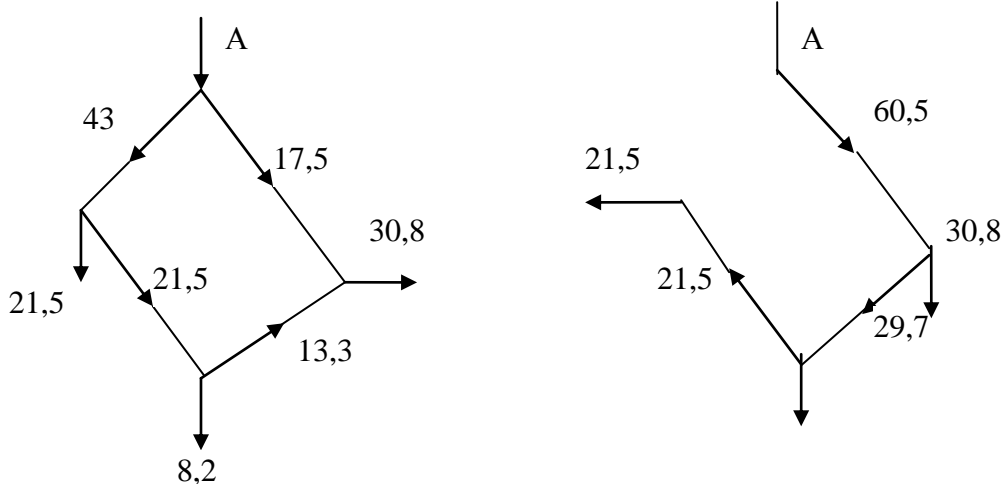
Jadvaldan tokni iqtisodiy zichligini aniqlaymiz  $j_u = 1,1 \text{ A/mm}^2$ . Liniyani iqtisodiy kerakli kesim yuzasi

$$F_u = \frac{I}{j_u} = \frac{235}{1,1} = 213 \text{ mm}^2$$

Standart bo'yicha yaqin kesim yuza AC-240 markali simni tanlaymiz va qizishga tekshiramiz. Bunday apital uchun xonadan tashqaridagi  $+20^\circ\text{C}$ da  $I_{\text{ruх}} = 610 \text{ A}$ . Tekshirish shuni ko'rsatadiki  $I < I_{\text{ruх}}$ . Avariya holatida (bitta liniya uzilganda) tarmoqdagi ishchi toki

$$I_u = 2 \cdot 235 = 470 \text{ A} < I_{\text{ruх}}$$

a) Sanoat korxonasi rasmda ko'rsatilgan 110 kVli berk zanjirli tarmoqdan ta'minlanadi. Uchastkalaridagi 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  $J_{uq}=1,1 \text{ A/mm}^2$ .

Uchastkardagi simlarni kesim yuzasi

Yaqin standart kesim yuzani tanlaymiz

$$F_1 = 240 \text{ mm}^2; I_{rux} = 610 \text{ A}; \quad F_2 = 120 \text{ mm}^2; I_{rux} = 380 \text{ A};$$

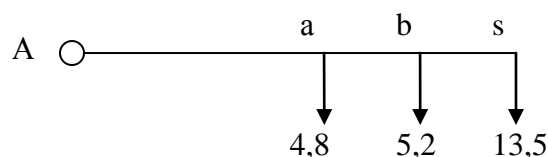
$$F_3 = 70 \text{ mm}^2; I_{rux} = 265 \text{ A}; \quad F_4 = 95 \text{ mm}^2; I_{rux} = 330 \text{ A};$$

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

$$I_{avar} = \frac{60,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 318 \text{ A}$$

Uning qiymati AC-95 markali simni ruxsatlangan  $I_{rux}=330 \text{ A}$  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 uchastkalarini simlarining 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  $j_{uq}=1,1 \text{ A/mm}^2$ .  
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

$$F_1=120 \text{ mm}^2; \quad I_{\text{rux}}=380 \text{ A}; \quad F_2=95 \text{ mm}^2; \quad I_{\text{rux}}=330 \text{ A}; \quad F_3=70 \text{ mm}^2; \quad I_{\text{rux}}=265 \text{ A};$$

Hamma kesim yuzalar qizdirish  $I < I_{\text{rux}}$  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 uzatila-yotgan 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 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.

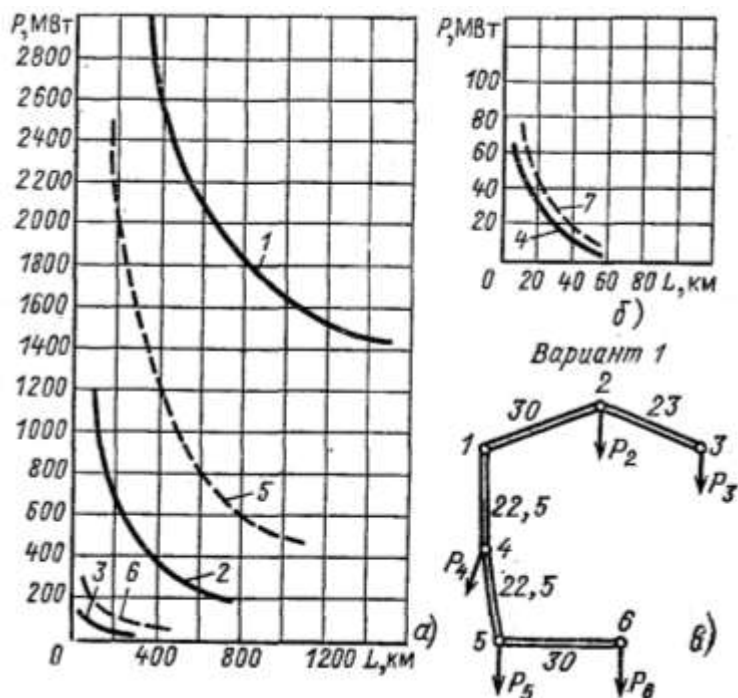
Nominal kuchlanishni ( $U_{nom}$ ) taxminiy qiymatini uzatilayotgan quvvat qiymati va u uzatilayotgan masofa bo'yicha aniqlash mumkin. Liniya orqali uzatilayotgan masofa qancha katta bo'lsa, shuncha texnik va iqtisodiy me'yorlar bo'yicha elektr tarmog'ining nominal kuchlanishi yuqori bo'lishi kerak.

Nominal kuchlanishni quyidagi usullardan biri bilan taxminiy aniqlash mumkin:

- a) 10.3.1a– rasmdagi chiziqlar bo'yicha;
- b) – kapital 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 kapital 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 $U_{\text{nom}}$ 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  $\ell$  ning qiymatlariga to'g'ri keladi.

Ma'lum qiymatli uzatilayotgan quvvat  $R, \text{mVt}$  va liniya uzunligi  $\ell, \text{km}$  bo'yicha nominal kuchlanishni Stilla ifodasi yordamida oldindan aniqlash mumkin:

$$U_{\text{nom}} = 4,34\sqrt{\ell + 0,016P} \quad (10.3.1)$$

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  $j_i$  bo'yicha tanlash bir necha tahlillarga asoslangan holda xatoliklarga olib keladi:

**Birinchidan**,  $j_i$  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**,  $j_i$  uchun ifoda keltirib chiqarilganda, keltirilgan xarajatlar ifodasida kesim yuzasi uzluksiz o'zgaradi degan faraz asoslanmagan taxmin hisoblanadi. Haqiqatda kesim yuzalari uzlukli o'zgaradi.

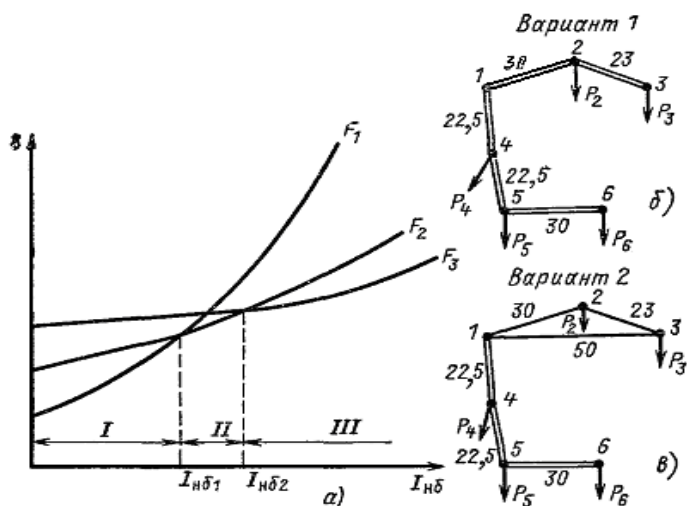
**Uchinchidan**, liniyadagi eng katta tok xarajat ifodasidagi  $I_u$  o'zgarimas deb olingandir. Bu unday emas, chunki turli liniya uchun  $I_i$  har xil. Bu holatda, iqtisodiy kesim yuzasi ( $F_i$ )  $\partial Z / \partial I$  ni nolga tenglik shartidan aniqlanishi kerak.

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  $I_i$  tokiga bog'lanishi quriladi.

Har qaysi kesim yuzasi uchun xarajatlar ushbu ifoda bilan aniqlanadi.

$$Z = (P_N + P_a)K + 3I_{ek}^2 \cdot R \cdot \tau \cdot \beta \quad (10.4.1)$$



**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  $E_{sa}$  – elektr energiya isrofining narxi to‘g‘ri keladi va u tok kvadratiga bog‘liq, shuning uchun xarajat chiziqlari – parabolalardir.

Chiziqlarning kesishish nuqtalari eng katta  $I_{i1}$  ni aniqlaydi. Bunda  $F_1$  li xarajarli  $F_1$  va  $F_2$  li xarajatlarga teng. Agar liniya toki  $I_{i1}$  dan kichik bo‘lsa, eng kam xarajalar  $F_1$  kesim yuzaga to‘g‘ri keladi va ushbu kesim yuzani tanlash iqtisodiy maqsadga muvofiqdir. Tokni 0 dan  $I_{i1}$  qiymati uchun iqtisodiy interval, agarda tok  $I_{i1}$  dan  $I_{i2}$  oralig‘ida bo‘lsa,  $F_2$  maqsadga muvafiq, tok  $I_{i2}$  dan katta bo‘lsa,  $F_3$  kesim yuzani tanlanadi.

Iqtisodiy intervallar usulini boshqa turdagi uskunalarda uchun qo‘llash nazariyasi isbotlangan va taklif qilingan.

Iqtisodiy tokning chiziqlar kesishishi joyidagi qiymati  $I_E$  quyidagi ifodadan aniqlanishi mumkin:

$$Z_{i1} = Z_{i2}$$

Bu yerda  $Z_{i1}$  va  $Z_{i2}$  - tokka bog‘liq bo‘lgan solishtirilayotgan yonma-yon kesim yuzalari uchun xarajalar.

Ularining qiymati teng:

$$Z_{11} = (P_N + P_a)K_{11} + 3I^2 R_1 \tau \beta \cdot 10^{-3}$$

$$Z_{12} = (P_N + P_a)K_{12} + 3I^2 R_2 \tau \beta \cdot 10^{-3}$$

Unda

$$I_3 = \sqrt{\frac{P_N + P_a}{\tau \cdot \beta}} \sqrt{\frac{(K_{12} - K_{11}) \cdot 10^{-3}}{3(R_1 - R_2)}}$$

Bu yerda  $K_{11}$  va  $K_{12}$  solishtirilayotgan kesim yuzalari uchun liniyaning narxi, so'm/km;

$R_1$  va  $R_2$  - o'sha kesim yuzali liniyalarning qarshiliklari, Om ifodadan ko'rinib turibdiki, iqtisodiy tok  $\sqrt{(P_N + P_a)/(\tau - \beta)}$  kattaligiga proporsional

$\xi - (P_N + P_a)/(\tau - \beta)$  - deb belgilab olamiz.

$$I_1 = \sqrt{\xi} \sqrt{\frac{(K_{12} - K_{11}) \cdot 10^{-3}}{3(R_1 - R_2)}}$$

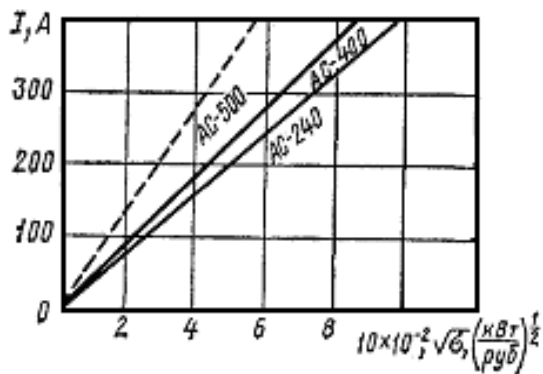
### **Liniyalar uchun iqtisodiy intervallar nomogrammalari**

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]).

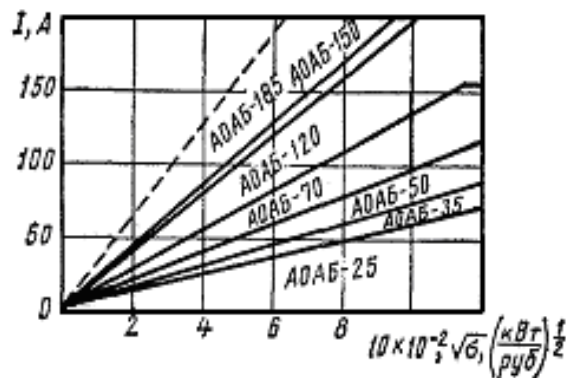
10.4.2 - rasmdan ko'rinib turibdiki, ma'lum tuzilishdagi 220 kVli HL uchun AC-300 kesim yuzasi iqtisod tomondan foydali emas va uni qo'llash tavsiya etilmaydi. Chuqurlikda yotqizilgan 20 kVli kabellar uchun AOAB-95 kesim yuzasi iqtisod tomonidan foydali emas. (10.4.3- rasm)

Shularga o'xshab, turlicha bajarilgan va turli kuchlanishlardagi tarmoqlar uchun boshqa kesim yuzalari ham foydali bo'lmasligi 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‘shini hisobga olish

Yuklamani yil bo‘yicha o‘zgarishi hisobga olinganda hisobiy tokni o‘rtacha qiymati olinadi. Masalan, agar yuklama o‘shisi bir xil bo‘lsa ( $\alpha, \%$ ), unda hisobiy tok aniqlanadi:

$$I_{xisob}^1 = \beta I_1$$

Bu yerda,  $I_1$  – liniyaning 1 – yil ishlashidagi maksimal toki.

$\beta$  - hisobli yuklamani nisbiy o‘shisi.

Iqtisodiy intervallar nomogrammlari bo‘yicha  $\sqrt{\xi}$  va  $I_{xisob}^1$  koordinatalari bilan iqtisodiy kesim yuzasi tanlanadi.  $\beta = f(T va a)$  bog‘lanishi 9.3.2-rasmida ko‘rsatilgan.

[2]

### Ko‘p miqdordagi yuklamalarni hisobga olish.

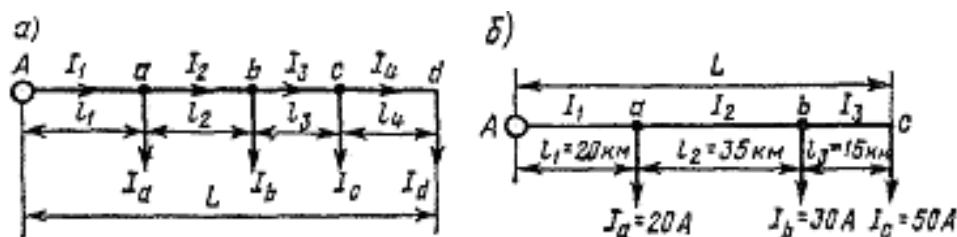
Liniyalar bo‘yicha ko‘p miqdorda yuklamalar ta‘minlanayotganda hisobiy tok sifatida shunday  $I_{xisob}^1$  tok qabul qilinadiki, u liniyada haqiqiy yuklama toki hosil qilgan isrofni hosil qilsin:

$$I_{xisob}^2 \cdot L = I_1^2 \cdot \ell_1 + I_2^2 \cdot \ell_2 + \dots = \sum_{m=1}^{m=n} I_m^2 \ell_m$$

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)  $K_l = f(F)$  kapital xarajatlari noxiziqli bog'lanishini hisobga oladi, tokning zichligi esa chiziqli bog'lanishda hisoblangan.

2) maksimal yuklamada ishlash vaqti  $T_{\text{mak}}$  (yoki  $\tau$ ) haqiqiy qiymatlarini uzluksiz o'zgarishi hisobga olinsa, tokni iqtisodiy zichligi  $j_i$  esa  $T_{\text{mak}}$ , uzlukli (diskvit) keng (1000-300 gacha, 3000-5000 gacha, 5000-8760 gacha) oraliqda o'zgarishiga chiqarilgan.

3) kesim yuzalarni pog'onililigini hisobga oladi.

4) nomogrammalar yordamida  $E_N, \tau, \rho, \nu, \alpha, \varphi, C_s$  larning haqiqiy qiymatlarini va ularning o'zgarishini hisobga oladi.

5) me'yoriy tartibda qizish bo'yicha cheklashni, bu nomogrammalarning gorizontaal 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 tejamli. 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 ju bo'yicha tanlash, optimal kesim yuzasini 1,5-2 barobar kichrayishini, bu esa elektr energiya isrofini oshirib, xarajatlarni ko'payishini ko'rsatadi.

Masalan. Rasmdan, ju bo'yicha tanlangan  $F_{\mu}$  kesim yuzasi m – nuqtaga, iqtisodiy intervallar bo'yia tanlangan  $F_{iq,n}$  - n nuqtaga to'g'ri keladi. Bu holatda, iqtisodiy intervallar bo'yicha tanlangan kesim yuzasiga to'g'ri keladigan xarajatlar  $Z_{iq,i}$ ,  $j_i$  bo'yicha tanlangan kesim yuzasi xarajatlaridan  $Z_j$  ancha kam.

$$Z_{iq,i} < Z_j$$

### 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.

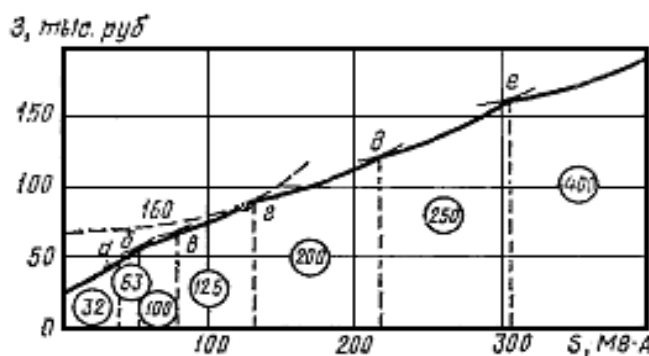
Transformatorlar uchun amaliyotda qo'llash uchun qulay bo'lgan nomogrammalari qurish liniyalarga nisbatan murakkab, chunki ularda ikki xil isrof mavjud:  $\Delta P_{syu}$  va  $\Delta P_{k.t.}$ .

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 gorizontaal 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 gorizontaal chiziq emas, ikkita to'g'ri chiziq orasidagi zanjir ko'rsatilgan. Uzoq vaqtli o'ta yuklanishda pastki to'g'ri chiziqni, qisqa vaqtli 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  $\Psi, [\sqrt{kVt.yil / so'm}]$  ga bog'lanishi hisoblanadi,.

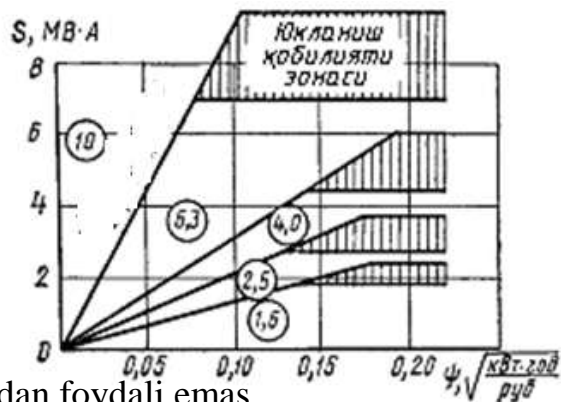
Bu yerda:

$$\Psi = \sqrt{1/\tau \cdot C_K}$$

bunda  $S_K$  – qisqa tutashuv quvvat isrofi narxi, [so'm/kVt.s]

Salt yurish quvvat isrofining  $S_{syu}$  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  $\Delta U <_{\Delta} U_{rux}$  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  $\Delta U_{rux}$  qiymati asosida simning eng kichik kesim yuzasini tanlashni ko'rib chiqamiz. Bunday liniyalarda kuchlanishni yo'qotilishi:

$$\Delta U = \sum_1^n P_i \cdot R_i / U_N + \sum_1^n Q_i \cdot X_i / U_N \quad (10.5.1)$$

(10.5.1) ifodadan ko'rinadiki, kuchlanish yo'qotilishi liniyaning aktiv va reaktiv quvvati va qarshiliklari bilan bog'langan  $\Delta U_a$  va  $\Delta U_r$  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  $D_{o,r}$  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:

$$\Delta U_r = \sum_1^n \frac{Q_i \cdot \ell_i \cdot x_0}{U_n}$$

$\Delta U_{pyx}$  ni qiymatidan  $\Delta U_p$  ni ayirib, aktiv qarshilik  $r_0$ ga bog'liqli kuchlanish yo'qotilishining ruxsatlangan tarkibiy qismi topiladi.

$$\Delta U_{arux} = \Delta U_{rux} - \sum_1^n \frac{Q_i \cdot \ell_i \cdot x_0}{U_N}$$

(10.5.1) ga asosan,

$$\Delta U_{arux} = \sum_1^n \frac{P_i \ell_i \cdot r_0}{U_k}$$

Unda, simlarning kesim yuzasi:

$$F = \frac{\sum_1^n P_i \ell_i}{\gamma \cdot \Delta U_{arux} \cdot U_N} \quad (10.5.2)$$

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, rostdash 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'zgarimas bo'lganida aniqlash.** Ko'pincha amaliy nuqtai nazarda loyihalalanayotgan 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.

$$\Delta U_{arux} = r_0 \sum_1^n \frac{P_i \ell_i}{U_N} = \frac{\rho}{FU_N} \sum_1^n P_i \ell_i$$

Bu yerdan, qidirilayotgan yuza

$$F = \frac{\rho}{\Delta U_{arux} \cdot U_N} \sum_1^n P_i \cdot \ell_i \quad (10.5.3)$$

yoki xuddi shuning o'zi

$$F = \frac{\sum_1^n P_i \ell_i}{\gamma \cdot \Delta U_{arux} \cdot U_N} \quad (10.5.4)$$

Hisoblangan yuza standartgacha yaxlitlanadi, buning uchun ma'lumotnomadagi jadvaldan  $r_0$  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.

Isrofnig minimumiga to'g'ri keladigan tok zichligining qiymati shuningdek aktiv  $r_0$  qarshilikka bog'liqli ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishi orqali aniqlanadi.

$$\Delta U_{apyx} = \frac{\rho}{U_n} \sum_1^n \frac{P_i \ell_i}{F_i} = \frac{\rho}{U_k} \sum_1^n \frac{\sqrt{3} U_n I_i (\cos \varphi_i) \ell_i}{F_i} = \sqrt{3} \rho \sum_1^n \frac{I_i (\cos \varphi_i) \ell_i}{F_i} \quad (10.5.5)$$

Shart bo'yicha  $I_i/F_i = j_{\Delta p} = \text{const}$  bo'lgani uchun uni yig'ish belgisidan tashqaridan chiqarsak, hosil bo'ladi:

$$\Delta U_{apyx} = \sqrt{3} \rho j_{\Delta p} \sum_1^n (\cos \phi_i) \ell_i$$

Bundan

$$j_{\Delta p} = \frac{\Delta U_{apyx}}{\sqrt{3} \rho \sum_1^n \ell_i \cos \phi_i} \quad (10.5.6)$$

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'yamasiga 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 oʻrnatilgan podstansiya 10 kV kuchlanishli 2,5 km uzunlikdagi alyumin simdan tayyorlangan havo elektr uzatuv liniyasidan taʼminlanadi. Alyumin simlar qirralarda 1 m massofada joylashgan. Podstansiyaning isteʼmol qiladigan quvvati 750+j600 kVA. Liniyada ruxsatlangan kuchlanish yoʻqotilishi 4,5% kesim yuzani aniqlab simni markasini tanlang.

Yechish: Liniyadagi ruxsatlangan kuchlanish yoʻqotilishi

$$\Delta U_{\text{rux}} = \frac{10000 \cdot 4,5}{100} = 450 \text{ B}$$

1 km uzunlikdagi liniyaning intuktiv qarshiligini 0,38 Om/km qabul qilib reaktiv quvvat hisobidan undagi kuchlanish yoʻqotilishini aniqlaymiz.

$$\Delta U_a = \frac{Qx_0 l}{U_N} = \frac{600 \cdot 0,38 \cdot 2,5}{10} = 57 \text{ V}$$

Kuchlanish yoʻqotilishini 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:

$$F = \frac{Pl}{\Delta U_R \gamma U_N} = \frac{750 \cdot 2,5 \cdot 10^3}{393 \cdot 32 \cdot 10} = 14,9 \text{ mm}^2$$

A-16 standart simni tanlaymiz va jadvaldan unga tegishli maʼlumotlarni olamiz. roq1,95 Om/km;  $x_0=0,391$  Om/km; unda liniyadagi kuchlanishni yoʻqotilishi.

$$\Delta U = \frac{Pr_0 + Qx_0 \cdot l}{U_N} = \frac{750 \cdot 1,95 + 600 \cdot 0,391}{10} \cdot 2,5 = 424 \text{ V}$$

Shunday qilib  $\Delta U=424\text{B} < \Delta U_{\text{rux}}=450 \text{ V}$  tanlangan sim kuchlanishni ruxsatlangan qiymati boʻyicha qoniqtiradi. Tanlangan kesim yuzali simni qizish darajasi boʻyicha tekshiramiz. Jadvaldan A-16 uchun 105 A. Liniyadagi maksimal tok

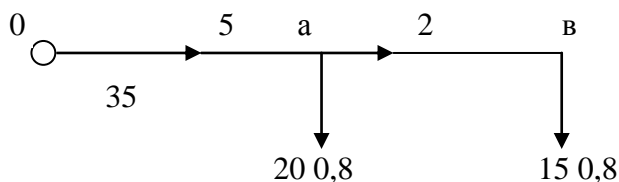
$$I = \frac{\sqrt{750^2 + 600^2}}{\sqrt{3}U} = 55,5 \text{ A.}$$

Tanlangan sim qizish darajasi boʻyicha ham qoniqtiradi.

2. Rasmda koʻrsatilgan ikki isteʼmolchini taʼminlaydigan 6 kV EUL uchun simni kesim yuzasi va markasini aniqlang. Liniya fazalari orasidagi oʻrtacha geometrik masofa 800 mm boʻlgan poʻlat-alyumin simdan tayyorlangan. Liniyada kuchlanishni ruxsatlangan



qiymati 4 %. Rasmda tok amperda liniya uchastkalari km, quvvat koeffitsiyentni  $\cos\varphi$  ko'rsatilgan.



Yechish: Kuchlanishni ruxsatlangan qiymati  $\Delta U_{\text{rux}} = 0,04 \cdot 6000 = 240 \text{ V}$

Liniyani induktiv qarshiligini  $x_0 = 0,4 \text{ Om/km}$  qabul qilib, reaktiv quvvatdan bo'ladigan kuchlanish yo'qotilishini aniqlaymiz.

$$\Delta U_p = \sqrt{3}(I_2 l_2 \sin \varphi + I_1 l_1 \sin \varphi) x_0 = \sqrt{3} \cdot (15 \cdot 2 \cdot 0,6 + 35,5 \cdot 0,6) \cdot 0,4 = 85 \text{ V}$$

Kuchlanish yo'qotilishini aktiv tashkil etuvchisini aniqlaymiz

$$\Delta U_a = \Delta U_{pax} - \Delta U_p = 240 - 85 = 155 \text{ V}$$

(10.5.4) formula orqali liniya simini kesim yuzasini aniqlaymiz

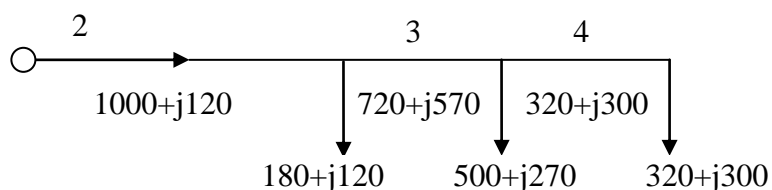
$$F = \frac{\sqrt{3} \cos \varphi (I_1 l_1 + I_2 l_2)}{\gamma \Delta U_R} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^3 \cdot 0,8 \cdot (35 \cdot 5 + 15 \cdot 2)}{32 \cdot 155} = 57,2 \text{ mm}^2$$

Standart A-70 sim tanlaymiz, jadvaldan  $r_0 = 0,42 \text{ Om/km}$ ,  $x_0 = 0,327 \text{ Om/km}$ ; Unda liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi

$$\begin{aligned} \Delta U_x &= \sqrt{3} [(I_1 l_1 + I_2 l_2) \cdot (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)] = \\ &= \sqrt{3} \cdot [(35 \cdot 5 + 15 \cdot 2) \cdot (0,42 \cdot 0,8 + 0,327 \cdot 0,6)] = 188,7 \text{ V} \end{aligned}$$

Shunday qilib  $\Delta U = 188,7 \text{ V} < \Delta U_{\text{rux}} = 240 \text{ V}$  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 alyumin 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:  $x_0=0,38$  Om/km qabul qilib, reaktiv yuklama tufayli kuchlanish yo‘qotilishini aniqlaymiz.

$$\Delta U_r = x_0 \sum_{i=1}^n \frac{Q_i l_i}{U_N} = 0,38 \cdot \frac{690 \cdot 2 + 570 \cdot 1 + 300 \cdot 4}{6} = 199,5 V$$

Quvvat isrofini aktiv tashkil etuvchisini aniqlaymiz.

$$\Delta U_a = \Delta U_{rux} - \Delta U_p = 360 - 198,5 = 160,5 V$$

(7.5.4) formulaga asosan uchinchi oxirgi uchastkadagi simni kesim yuzasini aniqlaymiz.

$$F_3 = \frac{\sqrt{P_3} \cdot 10^3}{\gamma \cdot \Delta U_R \cdot U_{nom}} (l_1 \sqrt{P_1} + l_2 \sqrt{P_2} + l_3 \sqrt{P_3}) = \frac{\sqrt{320}}{32 \cdot 160,5 \cdot 6} (2\sqrt{1000} + 1\sqrt{800} + 4\sqrt{320}) = 94,7 \text{ mm}^2$$

Standart AC-95 kesim yuzali simni tanlaymiz. Jadvaldan ma’lumotlarni yozib olamiz.  $r_{03q0,316}$  Om/km;  $x_{03q0,318}$  Om/km;

Ikkinchi uchastkadagi simning kesim yuzasi

$$F_2 = F_3 \sqrt{P_2 / P_3} = 94,7 \sqrt{1000 / 320} = 167,4 \text{ mm}^2$$

Standart AS-185 kesim yuzali simni tanlaymiz. Jadvaldan ma’lumotlarni yozib olamiz.  $r_{03}=0,316$  Om/km;  $x_{03}=0,318$  Om/km;

Tanlangan kesim yuzali simlardagi kuchlanishni yo‘qotilishi:

$$\Delta U_1 = \frac{\sum (P_i r_{oi} + Q_i x_{oi}) \cdot l_i}{U_n} = \frac{(1000 \cdot 0,154 + 690 \cdot 0,298) \cdot 2}{6} + \frac{(820 \cdot 0,195 + 570 \cdot 0,305) \cdot 1}{6} + \frac{(320 \cdot 0,316 + 300 \cdot 0,318) \cdot 4}{6} = 306,5 V$$

Demak,  $\Delta U=306,5$  V <  $\Delta U_{rux}=360$  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.

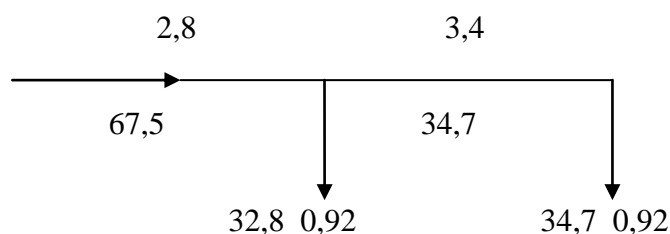
$$I_1 = \frac{\sqrt{1000^2 + 690^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 117 A < I_{rux} = 510 A \quad AC - 185 \text{ sim uchun};$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{820^2 + 570^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 96 A < I_{rux} = 445 A \quad AC - 150 \text{ sim uchun};$$

$$I_3 = \frac{\sqrt{320^2 + 300^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 42 A < I_{rux} = 330 A \quad AC - 95 \text{ sim uchun}.$$

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'effitsiyenti ( $\cos\varphi$ ) va liniya uzunliklari KM da ko'rsatilgan.



Yechish. Kabel liniyasining induktiv qarshiligi kichik bo'lganligi uchun uni hisobga olamiz ( $h_0=0$ ); unda  $\Delta U_R = \Delta U_{\text{rux}}$ .

Liniyadagi tokning zichligini aniqlaymiz

$$j = \frac{\gamma \Delta U_R}{\sqrt{3}(I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2) \cdot 10^3} = \frac{32 \cdot 300}{\sqrt{3} \cdot (2,8 \cdot 0,92 + 3,4 \cdot 0,92) \cdot 10^3} = 0,99 \text{ A/mm}^2$$

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  $35 \text{ mm}^2$ , standart kabel tanlaymiz  $r_{02}=0,89 \text{ Om/km}$ ;  $x_{02}=0,095 \text{ Om/km}$ ;

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  $70 \text{ mm}^2$  li standart kabel tanlaymiz  $r_{01}=0,443 \text{ Om/km}$ ;  $x_{01}=0,086 \text{ Om/km}$ ;

Tanlangan kesim yuzali kabellarda liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi

$$\begin{aligned} \Delta U &= \sqrt{3} \cdot [I_1 l_1 \cdot (r_{01} \cos \varphi_1 + x_{01} \sin \varphi_1) + I_2 l_2 \cdot (r_{02} \cos \varphi_2 + x_{02} \sin \varphi_2)] = \\ &= \sqrt{3} \cdot [67,5 \cdot 2,8 \cdot (0,443 \cdot 0,92 + 0,086 \cdot 0,39) + 34,7 \cdot 3,4 \cdot (0,89 \cdot 0,92 + 0,095 \cdot 0,39)] = \\ &= 318,98 > \Delta U_{\text{rux}} = 300 \text{ V} \end{aligned}$$

Hisoblangan kuchlanish yo'qotilishi ruxsatlangan qiymatdan katta bo'lganligi uchun ikkinchi uchastka uchun  $50 \text{ mm}^2$  li kabel tanlaymiz.  $r_{02}=0,62 \text{ Om/km}$ ;  $x_{02}=0,09 \text{ Om/km}$ ; unda liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi

$$\begin{aligned} \Delta U &= \sqrt{3} \cdot [67,5 \cdot 2,8 \cdot (0,443 \cdot 0,92 + 0,086 \cdot 0,39) + 34,7 \cdot 3,4 \cdot (0,62 \cdot 0,92 + 0,09 \cdot 0,39)] = \\ &= 267,8 > \Delta U_{\text{rux}} \end{aligned}$$

## 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 simlar		70 <sup>0</sup> C	+25 <sup>0</sup> C
kabellar, kV gacha	3	80 <sup>0</sup> C	+15 <sup>0</sup> C
Rezina izolyatsiyali oddiy	6	65 <sup>0</sup> C	+15 <sup>0</sup> C
kabel va simlar	10	60 <sup>0</sup> C	+15 <sup>0</sup> C
Izolyatsiyasi issiqlikka bardosh	20	55 <sup>0</sup> C	+15 <sup>0</sup> C
beruvchi rezinadan bo'lgan oddiy	35	50 <sup>0</sup> C	+15 <sup>0</sup> C
kabel va simlar		55 <sup>0</sup> C	+15 <sup>0</sup> C
		65 <sup>0</sup> C	+15 <sup>0</sup> 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<sub>ru</sub> tok tufayli vaqt birligi bo'yichagi simdagi ajralayotgan issiqlikni quyidagi ifodadan aniqlash mumkin.

$$P = RI_{rux}^2 \quad (10.6.1)$$

Bu vaqt bo'yicha atrof muhitga tarqalayotgan issiqlikning miqdori

$$P' = sF(\theta_{rux} - \theta_{o'r}) \quad (10.6.2)$$

Bu yerda s-issiqlik uzatish koeffitsiyenti, 1 sm<sup>2</sup> sim yuzasining haroratlar farqi 1 0s bo'lganda tarqatadigan issiqlik miqdoriga tengdir; Vt/sm<sup>2</sup> °c  
F-simning yuzasi, sm<sup>2</sup>.

Ma'lumki joriylashtirilgan tokni doimiy oqishida issiqlik muvozanati  $P = P'$  boshlanadi, ya'ni

$$RI_{rux}^2 = cF(\theta_{rux} - \theta_{o'r})$$

$F = \pi d \ell$  bo'lganda (d – simning diametri, sm;  $\ell$  - uning uzunligi, sm).

$$R = \rho \ell / F = \rho \ell / (\pi d^2 / 4) = 4\rho \ell / \pi d^2$$

$$4\rho I_{rux}^2 / \pi d^2 = c\pi d(\theta_{rux} - \theta_{o'r})$$

Bu yerdan

$$I_{rux} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{cd^3(\theta_{rux} - \theta_{o'r})}{\rho}} \quad (10.6.3)$$

Ko'rinib turibdiki, qizish sharoitlari o'zgargan holda (ruxsatlangan simdagi harorati -  $\theta'$ . atrof muhitning harorati  $\theta_0$ ) o'zaro munosabat to'g'ri keladi:

$$\frac{I'}{I_{rux}} = \sqrt{\frac{\theta' - \theta_0}{\theta_{rux} - \theta_{o'r}}}$$

va yangi qizdirish toki quyidagi ifodadan topilishi mumkin

$$I' = I_{rux} \sqrt{\frac{\theta' - \theta_0}{\theta_{rux} - \theta_{o'r}}}$$

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

$$I_{ish} \leq I_{rux} = K_{tuz} \cdot I_{rux.yu.t} \quad (10.6.4)$$

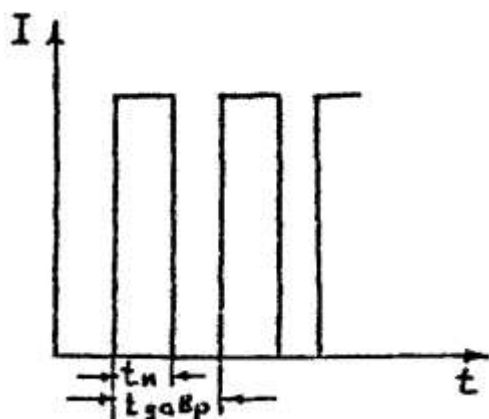
bo'lsa, tanlangan kesim yuzasi qizish darajasi bo'yicha qoniqtiradi.

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

$$I_{rux.yu.t} \geq \frac{I_{ish}}{K_{tuz}}$$

Bu yerda  $I_{ish}$  – 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.**

$$I'_{\text{max},I} = 0,8751_{\text{max}} / \sqrt{UV}, \quad (10.6.5)$$

Bu yerda UV- ulanish vaqti koeffitsiyenti, ish vaqti  $t_{\text{ish}}$  ning davr vaqti  $t_D$  ni nisbatiga teng bo'ladi. Bu ifodadan mis simlarning kesim yuzasi  $6 \text{ mm}^2$  dan va alyumin simlarning kesim yuzasi  $10 \text{ mm}^2$  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  $150 \text{ mm}^2$  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:**

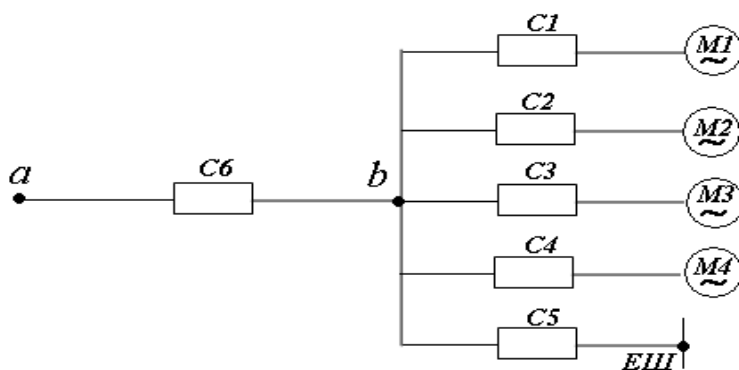
1. Liniya simlarining kesim yuzasi qizish darajasi bo'yicha qanday tanlanadi?
2. Ruxsatlangan tok tufayli simdan ajralayotgan issiqlik va atrof muhitga tarqalayotgan issiqlik orasida bog'lanish ifodasini yozib bering.
3. Tuzatuv koeffitsiyenti qanday aniqlanadi.
4. Qisqa vaqtli yuklamada ishlaydigan 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 elementi tokini quyidagi shart bo'yicha aniqlaymiz:

$$I_e \geq I_i = 28 \text{ A}$$

$$I_e \geq \frac{7 \cdot I_i}{2,5} = \frac{7 \cdot 28}{2,5} = 78,4 \text{ A}$$

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.

$$I_{ruh} \geq I_i = 28 \text{ A}$$

Himoya sharti bo'yicha

$$I_{ruh} \geq \frac{I_i}{3} = \frac{80}{3} = 26,7 \text{ A}$$

Jadvaldan 4 mm<sup>2</sup> kesim yuzali sim tanlaymiz. Ruxsatlangan tok  $I_{ruh}=28 \text{ A}$

Saqlagichlar s4 va s5 uchun erish elementini nominal tokini aniqlaymiz

$$I_e \geq I_i = 40,5 \text{ A}; \quad I_e \geq \frac{2 \cdot I_i}{1,6} = \frac{2 \cdot 40,5}{1,5} = 50,6 \text{ A}$$

Jadvaldan 60 A nominal tok uchun yaqin standart erish elementini tanlaymiz.



Trubada yotqiziladigan bir tomirli alyumin simni kesim yuzasini tanlaymiz.

$$I_{ruh} \geq I_i = 40,5 \text{ A}; \quad I_{ruh} \geq \frac{I_e}{3} = 60 \text{ A}$$

Jadvaldan  $10 \text{ mm}^2$  kesim yuzali sim tanlaymiz  $I_{ruh} = 47 \text{ A}$

Me'yoriy tartibda yoritgich liniyasining ish toki

$$I_i = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_p} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 38 \text{ A}$$

Saqlagich S5 erish elementining nominal tokini quyidagi shartdan aniqlaymiz

$$I_e \geq I_i = 38 \text{ A};$$

Jadvaldan yaqin standart erish elementini tanlaymiz. Nominal toki 45 A.

Trubada yotqiziladigan bir tomirli alyumin sim kesim yuzasini tanlaymiz.

$$I_{rux} \geq I_i = 38 \text{ A}; \quad I_{ruh} \geq \frac{I_e}{3} = \frac{45}{3} = 15 \text{ A}$$

Jadvaldan  $10 \text{ mm}^2$  kesim yuzali sim tanlaymiz  $I_{pyx} = 47 \text{ A}$  a, v liniyadagi ish toki

$$I_i = m \cdot (2I_1 + 2I_2 + I_3) = 0,8 \cdot (2 \cdot 28 + 2 \cdot 40,5 + 38) = 140 \text{ A}$$

Motorlarni ishga tushirishda, eng katta ishga tushirish tokida liniyadagi tok.

$$I_{max} = m \cdot (I_1 + 2I_2 + I_3) + \frac{I_{it}}{2,5} = 0,8 \cdot (28 + 2 \cdot 40,5 + 38) + \frac{7 \cdot 28}{2,5} = 196 \text{ A}$$

Saqlagich s<sup>6</sup> erish elementining nominal tokini quyidagi shartdan aniqlaymiz

$$I_e \geq I_i = 139 \text{ A}; \quad I_e \geq I_{max} = 196 \text{ A};$$

Jadvaldan yaqin standart erish elementini tanlaymiz nominal toki 200 A.

Seh devoridan yotqiziladigan uch tomirli alyumin kabelni kesim yuzasini quyidagi shartdan tanlaymiz.

$$I_{rux} \geq I_i = 139 \text{ A}; \quad I_{rux} \geq \frac{I_e}{3} = \frac{200}{3} = 67 \text{ A}$$

Jadvaldan  $70 \text{ mm}^2$  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 asoslanib tanlangan 110 kV va undan yuqori kuchlanishli HL larining simlari tojlanishni paydo bo'lish sharoitlari va radio aloqa uskunalari 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 hisoblarni 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 mm<sup>2</sup>ga yaqin bo'ladi. 900 mm<sup>2</sup> -500 kV uchun, 1200 mm<sup>2</sup>-750 kV uchun va 2400 mm<sup>2</sup>-1150 kV uchun [A].

Kuchlanganlikni pasaytirish uchun eng ta'sirli tadbir, faza simlarini bo'lishdir, bu tufayli tojlanishga bo'lgan o'rtacha yillik quvvat isrofini 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 isrofini aniqlash uchun avval elektr maydonining ish paytidagi kuchlanganligini aniqlash kerak. Chetdagi simlar uchun faza bo'lingandagi kuchlanganlik, kV/sm, teng:

$$E = \frac{0,354U}{nrg \frac{D_{o'r}}{r_{ekv}}} (1 + 0,25 \ell gn) \quad (10.7.1)$$

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.

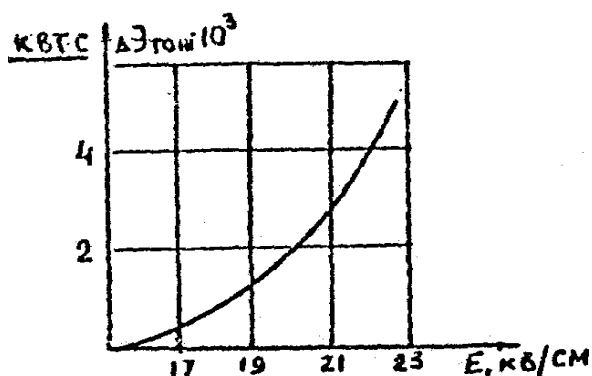
Kabellarni qisqa tutashuv toklari qizdirishiga chidamlngi bo'yicha tekshirishi. Qisqa tutashuv toki simdan oqib, uni tez qizdirgani tufayli izolyatsiya shikastlanishi va kabelning bir qismi yonib ketishi mumkin. Bu esa qisqa tutashuv vaqtida simda ajraladigan miqdoriga borliq.

Hajm birligi uchun qisqa tutashuv paytida ajraladigan issiqlik energiya miqdori quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$E = \frac{R}{l \cdot F} \int_0^{t_k} i_k^2 \cdot dt \quad (10.7.2)$$

yoki  $R = \frac{l}{\gamma \cdot F}$ -ni qo'yib topamiz

$$E = \frac{R}{\gamma \cdot F^2} \int_0^{t_k} i_k^2 \cdot dt \quad (10.7.3)$$



**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  $I_{q,t}$  toki vaqtning ayrim lahzalarida,

masalan  $I_{o'm}$  va soxta vaqt (shunday vaqtgi, 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 uskunalari 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 ( $\cos\varphi=0,8$ .  $Q=42,6$  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.

$$\Delta U_{\%} = \frac{l \cdot (P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_N^2 \cdot 10^3} = \frac{12 \cdot (60 \cdot 1,28 + 42,6 \cdot 0,377)}{6 \cdot 6000} \cdot 100\% \approx 3\%$$

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  $\Delta U_{\text{rux}}$  -ga asosan kesim yuzasi  $6 \text{ mm}^2$  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  $I_{\text{rux}}$  bo‘yicha tanlaniladi.

Soʻngra 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 boʻyicha, tashqi reaktiv qarshilik  $x_0'$ -ni esa liniyaning geometrik koʻrsatkichlariga asosan aniqlanadi.<sup>12</sup>

Jadvalda har xil diametr uchun oqayotgan tokning qiymatiga bogʻliq boʻlgan, tajribadan aniqlangan  $r_0$  va  $x_0 = x_0' + x_0''$  ning qiymatlari keltirilgan.

Soʻngra kuchlanish yoʻqotilishi quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$\Delta U_{\%} = \sum_1^n \frac{P_i \cdot r_0 \cdot l_i + Q_i \cdot (x_0' + x_0'') \cdot l_i}{U_n}$$

va javob ruxsatlangan kuchlanish yoʻqotilishining qiymati bilan taqqoslanadi.

Shuni qayd qilish kerakki qizish boʻyicha ruxsatlangan tok  $I_q$  – ga asosan tanlangan simni kesim yuzasi odatda juda katta kuchlanish yoʻqotilishga olib keladi.

Bunday natijada simni kesim yuzasini kattalashtirib, qaytadan, kuchlanish yoʻqotilishi boʻyicha tekshiriladi. Yakuniy kesim yuzasini tanlash bir qancha ketma-ket yaqinlashishlardan kelib chiqadi. Tokning iqtisodiy zichligiga asosan poʻlat simlarni tanlash amaliyotda qoʻllanilmaydi.

### **Nazorat savollari:**

1. Poʻlat simlardan tayyorlangan liniya simlarining kesim yuzasi qanday tanlangan.

2. Poʻlat simlardan tayyorlangan liniyalarda kuchlanishni aniqlovchi ifodani tushuntirib bering.

---

<sup>12</sup> Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley & Sons, INC Publication, 2007, 260 p.

### 10.8.1. Mavzuga doir misollar

**1-masala.** (80+j40) MVA quvvat iste'mol qiluvchi korxonada 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:

$$F_u = \frac{I}{j_{iq}} = \frac{232}{1,1} = 211 \text{ mm}^2$$

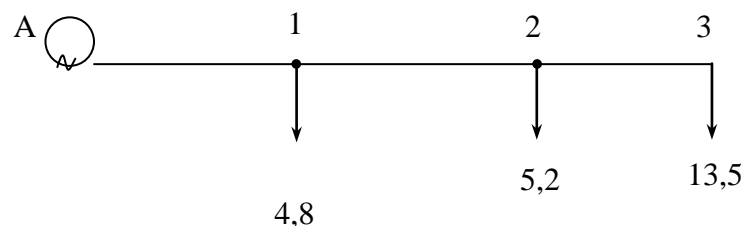
Standart AC-240 kesim yuzasini tanlab, uni qizishga tekshiramiz. Binodan tashqarida  $t=25^\circ \text{ C}$  da 1-ilovadagi 1-jadvalga asosan ruxsat etilgan tok  $I_{rux}=605 \text{ A}$ . Tanlangan kesim yuzali simni qizishga tekshiramiz.  $I < I_{rux}$ . Avariya so'nggi ish tartibi bitta liniya o'chirilganda ishda qolgan liniyadagi ish toki:

$$I_{ish} = 2 \cdot 232 = 464 \text{ A} < I_{rux}$$

**2-masala.** 7.2.1-rasmda ko'rsatilgan 110 kV kuchlanishli magistral tarmoqdan quvvat iste'mol qiladigan uchta sex podstansiyalari – 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 uchastkalaridagi quvvat oqimini aniqlaymiz. Uchinchi uchastkadagi quvvat oqimi 13,5 MVA, ikkinchisida:

$$S_{1-2} = S_3 + S_2 = 13,5 + 5,2 = 18,7 \text{ MVA}$$



7.2.1-rasm

birinchisida:

$$S_{A-2} = S_1 + S_2 + S_3 = 18,7 + 4,8 = 25,5 \text{ MVA}$$

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  $j_{iq}=1,12 \text{ A/mm}^2$ . Uchastka simlarining kesim yuzasi:

$$F_{A-1} = \frac{134}{1,12} \approx 122 \text{ mm}^2; \quad F_{1-2} = \frac{98,3}{1,12} \approx 89,5 \text{ mm}^2; \quad F_{2-3} = \frac{71}{1,12} = 64,5 \text{ mm}^2$$

Yaqin joylashgan standart kesim yuzasini tanlaymiz.

$$F_{A-1}-120 \text{ mm}^2, I_{\text{rux}}=380 \text{ A}; \quad F_{1-2}-95 \text{ mm}^2, I_{\text{rux}}=330 \text{ A}; \quad F_{2-3}-70 \text{ mm}^2, I_{\text{rux}}=265 \text{ A}.$$

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 korxonada, podstansiyasi 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. Podstansiyaning 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:

$$\Delta U_{\text{rux}} = \frac{10000 \cdot 4,5}{100} = 450 \text{ V}$$

1 km liniyaning induktiv qarshiligi  $x_0=0,38 \text{ Ohm/km}$ , 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:

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{rux}} - \Delta U_r = 450 - 57 = 396 \text{ V}$$

Simga kerak bo'lgan kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$F = \frac{Pl}{\Delta U_a \gamma U_i} = \frac{750 \cdot 2,5 \cdot 10^3}{393 \cdot 32 \cdot 10} = 14,7 \text{ mm}^2$$



Standartga yaqin: ААШВ-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:

$$\Delta U = \frac{Pr_0 + Qx_0}{U} l = \frac{750 \cdot 1,98 + 600 \cdot 0,39}{10} \cdot 2,5 = 430 \text{ V}$$

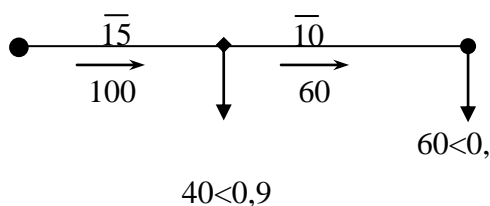
Shunday qilib,  $\Delta U=430\text{V} < \Delta U_{\text{rux}}=450\text{V}$  va tanlangan kesim yuzasi kuchlanish yo'qotilishining ruxsat etilgan qiymati shartini qoniqtiradi. Tanlangan simni kesim yuzasini qizish shartiga ko'ra tekshiramiz. ААШВ-16 sim uchun  $I_{\text{rux}}=105$  A, liniyaning maksimal 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 gorizontal 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 koeffisienti ( $\cos\varphi$ ) 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  $x_0=0,38$  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:

$$\Delta U_a = \Delta U_{rux} - \Delta U_p = 2100 - 593,6 = 1506,4 V$$

Liniyadagi tok zichligini topamiz:

$$j = \frac{\gamma \Delta U_a}{\sqrt{3}(l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2) \cdot 10^3} = \frac{32 \cdot 1506,4}{\sqrt{3}(15 \cdot 0,9 + 10 \cdot 0,9) \cdot 10^3} = 1,23 A/mm^2$$

Uchastkalar uchun simning kesim yuzasini tanlaymiz:

$$F_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{100}{1,23} = 81,3 mm^2; \quad F_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{60}{1,23} = 48,8 mm^2$$

Standart AC-95 sim uchun 1-ilovadagi 2-jadvaldan 1 km uzunlik qarshiliklari  $r_{01}=0,35$  Om/km,  $x_{01}=0,397$  Om/km va AC-50 uchun 1 km uzunlik qarshiliklari  $r_{02}=0,65$  Om/km,  $x_{02}=0,418$  Om/km ni tanlaymiz.

Tanlangan simning kesim yuzasida tarmoqdagi kuchlanishning yo‘qotilishi:

$$\Delta U = \sqrt{3} \left[ I_1 l_1 (r_{01} \cos \varphi_1 + x_{01} \sin \varphi_1) + I_2 l_2 (r_{02} \cos \varphi_2 + x_{02} \sin \varphi_2) \right] = \\ = \sqrt{3} [100 \cdot 15(0,35 \cdot 0,9 + 0,397 \cdot 0,43) + 60 \cdot 10(0,69 \cdot 0,9 + 0,418 \cdot 0,43)] = 2046 V$$

Shunday qilib,  $\Delta U=2046V < \Delta U_{rux}=2100V$  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  $I_{rux}=330A > I_1=100A$ , AC-50 sim uchun  $I_{rux}=210A > I_2=60A$ .

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’larda rasmda ko‘rsatilgan maksimal yuklamada ishlash vaqti 4800 soat. Tarmoq simlarini kesim yuzasini aniqlang.

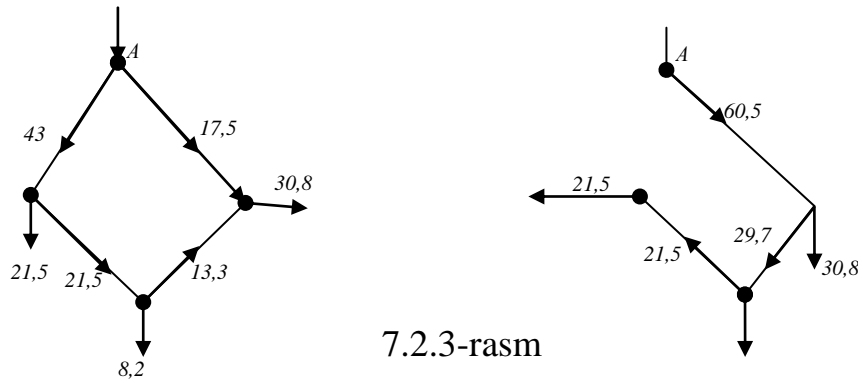
Yechish. Tarmoq uchastkalarida oqayotgan ish tokini aniqlaymiz:

$$I_1 = \frac{S_1 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{43 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 226 A$$

$$I_2 = \frac{S_2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{21,5 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 113 A$$

$$I_3 = \frac{S_3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{13,3 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 70 A$$

$$I_4 = \frac{S_4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{17,3 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 92 A$$



7.2.3-rasm

Po‘lat-alumin simlar uchun  $T_{\max}=4800$  soat bo‘lganda 2-ilovadagi 8-jadvaldan  $j_{iq}$  ning qiymatini olamiz.  $j_{iq}=1,1 A/mm^2$  teng bo‘lganda uchastkalardagi simlarning kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$F_1 = \frac{226}{1,1} = 205 mm^2, \quad F_2 = \frac{113}{1,1} = 102,7 mm^2,$$

$$F_3 = \frac{70}{1,1} = 63,6 mm^2, \quad F_4 = \frac{92}{1,1} = 83,6 mm^2$$

Yaqin standart kesim yuzasini tanlaymiz:

$$F_1 = 240 mm^2, \quad I_{rux} = 610 A, \quad F_2 = 120 mm^2, \quad I_{rux} = 380 A,$$

$$F_3 = 70 mm^2, \quad I_{rux} = 265 A, \quad F_4 = 95 mm^2, \quad I_{rux} = 330 A.$$

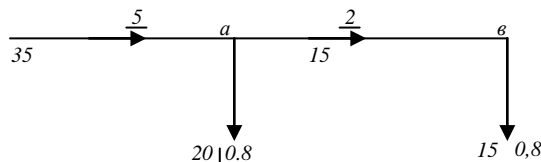
Hamma tanlangan kesim yuzalari tojlanish shartini qoniqtiradi. Eng og‘ir avariya holati, tarmoqning birinchi uchastkasi uzilganda bo‘ladi. Ushbu holatlarda tarmoq uchastkalarida quvvat oqimi 7.2.3-rasmda ko‘rsatilgandek bo‘ladi.

Avariya dan keyingi holatda eng katta tok tarmoqning to‘rtinchi uchastkasidan oqadi, uning qiymati:

$$I_{ak} = \frac{60,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 318 A$$

Uning qiymati AC-95 markali simning ruxsat etilgan  $I_{rux}=330 A$  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.



7.2.4-rasm

Yechish. Kuchlanishni ruxsat etilgan qiymati:

$$\Delta U_{rux} = 0,04 \cdot 6000 = 240 \text{ V}$$

Liniyaning induktiv qarshiligini  $x_0=0,4$  Om/km deb qabul qilib, reaktiv quvvatdan bo‘ladigan kuchlanish yo‘qotilishini aniqlaymiz:

$$\Delta U_r = \sqrt{3}(I_2 l_2 \sin \varphi + I_1 l_1 \sin \varphi) x_0 = \sqrt{3} \cdot 0,4(15 \cdot 2 \cdot 0,6 + 35 \cdot 5 \cdot 0,6) = 85 \text{ V}$$

Kuchlanish yo‘qotilishining aktiv tashkil etuvchisini aniqlaymiz:

$$\Delta U_a = \Delta U_{rux} - \Delta U_x = 240 - 85 = 155 \text{ V}$$

Liniya simining kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$F = \frac{\sqrt{3} \cos \varphi (I_2 l_2 + I_1 l_1)}{\gamma \Delta U_p} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^3 \cdot 0,8(15 \cdot 2 + 35 \cdot 5)}{32 \cdot 155} = 57,2 \text{ mm}^2$$

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:

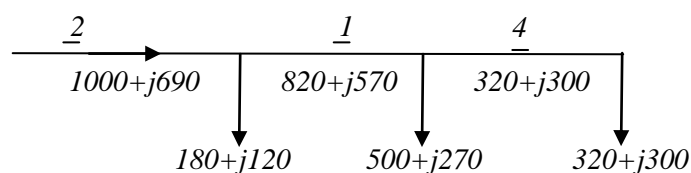
$$\Delta U_x = \sqrt{3}[(I_2 l_2 + I_1 l_1)(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)] = \sqrt{3}[(15 \cdot 2 + 35 \cdot 5)(0,42 \cdot 0,8 + 0,327 \cdot 0,6)] = 188,7 \text{ V}$$

Shunday qilib,  $\Delta U = 188,7 \text{ V} < \Delta U_{rux} = 240 \text{ V}$  va tanlangan sim kuchlanishi yo‘qotilishi bo‘yicha qoniqtiradi.

**7-masala.** 7.2.5-rasmda ko‘rsatilgan masofada joylashgan podstansiya 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:

$$\Delta U_p = X_0 \sum_{i=1}^n \frac{Q_i l_i}{U_H} = 0,38 \frac{690 \cdot 2 + 570 \cdot 1 + 300 \cdot 4}{6} = 199,5 \text{ V}$$

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:

$$F_3 = \frac{\sqrt{P_3} 10^3}{\gamma \Delta U_a U_H} (l_1 \sqrt{P_1} + l_2 \sqrt{P_2} + l_3 \sqrt{P_3}) = \frac{\sqrt{320}}{32 \cdot 160,5 \cdot 6} (2\sqrt{1000} + 1\sqrt{800} + 4\sqrt{320}) = 94,7 \text{ mm}^2$$

Standart AC-95 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:

$$\Delta U_1 = \frac{\sum (P_i r_{0i} + Q_i x_{0i}) l_i}{U_H} = \frac{(1000 \cdot 0,154 + 690 \cdot 0,298) \cdot 2}{6} + \frac{(820 \cdot 0,195 + 570 \cdot 0,305) \cdot 1}{6} + \frac{(320 \cdot 0,316 + 300 \cdot 0,318) \cdot 4}{6} = 306,5 \text{ V}$$

Shunday qilib,  $\Delta U = 306,5 \text{ V} < \Delta U_{rux} = 360 \text{ V}$  va tanlangan simlar kuchlanish yo'qotilishi bo'yicha qoniqtiradi.

Tanlangan kesim yuzali simlarni qizish sharti bo'yicha tekshiramiz. Liniya uchastkalaridagi va ruxsat etilgan toklarning qiymati:

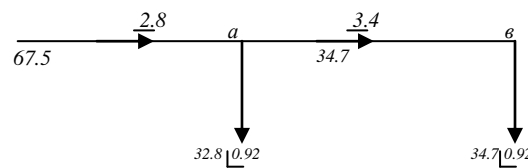
$$I_1 = \frac{\sqrt{1000^2 + 690^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 117 \text{ A} < I_{rux} = 510 \text{ A} \quad \text{AC-185 sim uchun;}$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{820^2 + 570^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 96 \text{ A} < I_{rux} = 445 \text{ A} \quad \text{AC-150 sim uchun;}$$

$$I_3 = \frac{\sqrt{320^2 + 300^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 42 \text{ A} < I_{rux} = 330 \text{ A} \quad \text{AC-95 sim uchun.}$$

Shunday qilib, tanlangan simlar qizish darajasi bo'yicha ham qoniqtiradi.

**8-masala.** Ikki sex podstansiyasini 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  $\Delta U_a = \Delta U_{rux}$ .

Liniyadagi tokning zichligini aniqlaymiz:

$$j = \frac{\gamma \Delta U_a}{\sqrt{3}(l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2) \cdot 10^3} = \frac{32 \cdot 300}{\sqrt{3}(2,8 \cdot 0,92 + 3,4 \cdot 0,92) \cdot 10^3} = 0,99 \text{ A/mm}^2$$

Ikkinchi uchastkadagi kabel tomirlarining kesim yuzasi:

$$F_2 = \frac{I_2}{j_{iq}} = \frac{34,7}{0,99} = 35,05 \text{ mm}^2$$

Tomirlar kesim yuzasi 35 mm<sup>2</sup>li standart kabel tanglaymiz,  $r_{02}=0,89 \text{ Om/km}$ ,  $x_{01}=0,095 \text{ Om/km}$ .

Birinchi uchastkadagi kabel tomirlarining kesim yuzasi:

$$F_1 = \frac{I_1}{j_{iq}} = \frac{67,5}{0,99} = 68,2 \text{ mm}^2$$

Tomirlar kesim yuzasi 70 mm<sup>2</sup>li standart kabel tanlaymiz, r<sub>02</sub>=0,443 Om/km, x<sub>01</sub>=0,086 Om/km.

Tanlangan kesim yuzali kabellarda liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi:

$$\begin{aligned} \Delta U_x &= \sqrt{3}[I_1 l_1 (r_{o1} \cos \varphi_1 + x_{o1} \sin \varphi_1) + I_2 l_2 (r_{o2} \cos \varphi_2 + x_{o2} \sin \varphi_2)] = \\ &= \sqrt{3}[67,5 \cdot 2,8(0,443 \cdot 0,92 + 0,086 \cdot 0,93) + 34,7 \cdot 3,4(0,89 \cdot 0,92 + 0,095 \cdot 0,39)] = \\ &= 318,9 \text{ V} > \Delta U_{rux} = 300 \text{ V} \end{aligned}$$

Hisoblangan kuchlanish yo'qotilishi ruxsat etilgan qiymatdan katta bo'lganligi uchun ikkinchi uchastka uchun 50 mm<sup>2</sup>li kabel tanlaymiz. r<sub>02</sub>=0,62 Om/km, x<sub>01</sub>=0,09 Om/km.

Unda liniyadagi kuchlanishning yo'qotilishi:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \sqrt{3}[67,5 \cdot 2,8(0,443 \cdot 0,92 + 0,086 \cdot 0,93) + 34,7 \cdot 3,4(0,62 \cdot 0,92 + \\ &+ 0,09 \cdot 0,39)] = 267,8 \text{ V} < \Delta U_{rux} \end{aligned}$$

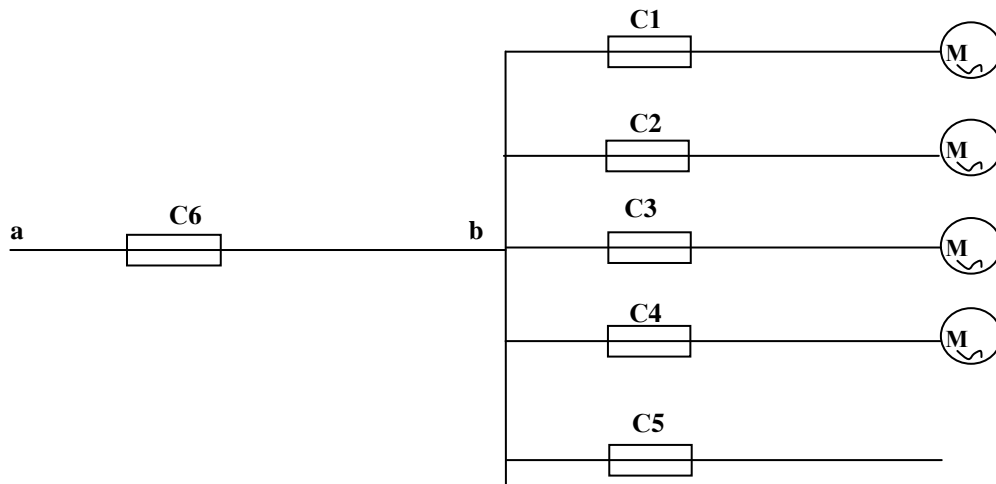
**9-masala.** 380/220 Vli taqsimlovchi tarmoqdan M1-M4 motorlari va 25 kW, cos φ = 1 yoritgich yuklamasi rasmda ko'rsatilgandek ta'minlanadi. Motorlar M1 va M2 ning ish toki 28 A ga, ishga tushirish tokining darajasi 7 ga teng. Motorlar M3 va M4 ning ish toki 40,5A ga, ishga tushirish tokining darajasi 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:

$$I_e \geq I_m = 28 \text{ A}$$

$$I_e \geq \frac{7I_m}{2,5} = \frac{7 \cdot 28}{2,5} = 78,4 \text{ A}$$



7.2.7-rasm

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.

$$I_{rux} \geq I_n = 28 \text{ A}$$

Himoya sharti bo'yicha:

$$I_{rux} \geq \frac{I_e}{3} = \frac{8}{3} = 26,7 \text{ A}$$

1-ilovadagi 5-jadvaldan 4 mm<sup>2</sup> kesim yuzali sim tanlaymiz. Ruxsat etilgan tok  $I_{rux}=27 \text{ A}$ .

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:

$$I_{rux} \geq I_n = 40,5 \text{ A}; \quad I_{rux} \geq \frac{I_e}{3} = 60 \text{ A}$$

1-ilovadagi 5-jadvaldan 10 mm<sup>2</sup> kesim yuzali sim tanlaymiz. Ruxsat etilgan tok  $I_{rux}=42 \text{ A}$ . 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:

$$I_{rux} \geq I_H = 38A; \quad I_{rux} \geq \frac{I_e}{3} = \frac{45}{3} = 15A$$

1-ilovadagi 5-jadvaldan 10 mm<sup>2</sup> kesim yuzali sim tanlaymiz. Ruxsat etilgan tok I<sub>rux</sub>=42 A.

ab liniyadagi ish toki:

$$I_i = m(2I_1 + 2I_2 + I_3) = 0,8(2 \cdot 28 + 2 \cdot 40,5 + 38) = 140A$$

Motorlarni ishga tushirishda va eng katta ishga tushirish tokida liniyadagi tok:

$$I_{max} = m(I_1 + 2I_2 + I_3) + \frac{I_{um}}{2,5} = 0,8(2,8 + 2 \cdot 40,5 + 38) + \frac{7 \cdot 28}{2,5} = 196A$$

Saqlagich C6 erish elementining nominal tokini aniqlaymiz:

$$I_e \geq I_H = 139A; \quad I_e \geq I_{max} = 196A$$

2-ilovadagi 9-jadvaldan standartga yaqin erish elementini tanlaymiz. Nominal tok 200 A.

Sex devorida yotqiziladigan uch tomirli alumin simning kesim yuzasini tanlaymiz.

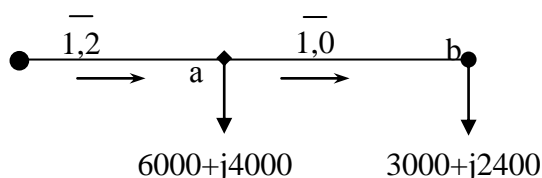
$$I_{rux} \geq I_H = 139A; \quad I_{rux} \geq \frac{I_e}{3} = \frac{200}{3} = 67A$$

1-ilovadagi 5-jadvaldan 70 mm<sup>2</sup> kesim yuzali kabel tanlaymiz. Ruxsat etilgan tok I<sub>rux</sub>=140 A.

### 10.8.2. Mavzuga doir mustaqil tayyorlash uchun misollar

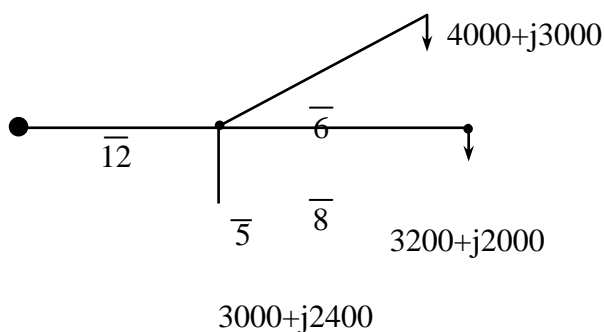
**1-misol.**  $(40+j30)$  MVA quvvat iste'mol qiluvchi korxonaning bosh pasaytiruvchi podstansiyasi 110 kV kuchlanishli ikkita liniya orqali ta'minlanadi.  $T_{\max}=5200$  s. Podstansiyani ta'minlovchi liniya simlarining markasi va kesim yuzasini tanlang.

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.



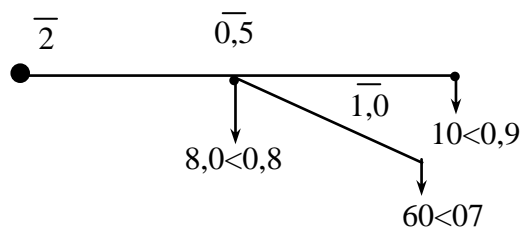
7.3.1-rasm

**2-misol.** 35 kV kuchlanishli rayon podstansiyasidan ko'rsatilgan sxema bo'yicha 3 ta korxonaga ta'minlanadi. Elektr uzatish liniyasi faza simlari o'rtacha geometrik oraliq masofasi 3 m dan po'lat-alumin simdan tortiladi. Ruxsat 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.



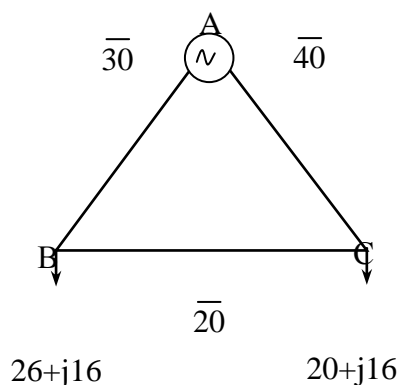
7.3.2-rasm

**3-misol.** Korxonadagi sex podstansiyalari 10 kV kuchlanish bilan ta'minlanadi. Tarmoq kabelda bajariladi. Ruxsat etilgan kuchlanish yo'qotilishi 5,5 %. 7.3.3-rasmda tarmoq uchastkalarining toki (A), uzunligi (km) va quvvat koeffitsienti ( $\cos\phi$ ) ko'rsatilgan. Tarmoq uchastkalari uchun kabel tanlang.



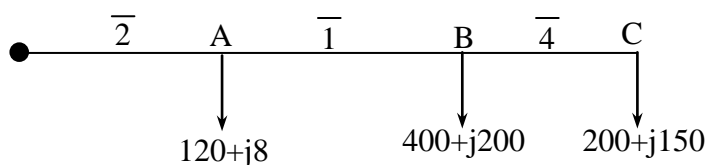
7.3.3-rasm

**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.



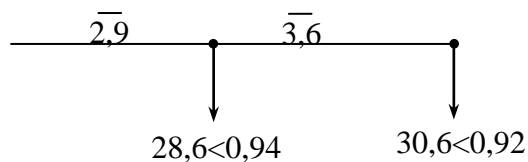
7.3.4-rasm

**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 ruxsat 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. Ruxsat 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 koeffisienti  $\cos\phi$  ko'rsatilgan.



7.3.6-rasm

**7-misol.** Ikkita korxonani ta'minlovchi magistral tarmoq bir xil kesim yuzali simdan tayyorlangan. Birinchi korxonani  $i_1=140\text{A}$  ( $T_{\max}=3400$  soat) iste'mol qilib, ta'minlovchi manbadan 4 km masofada joylashgan. Ikkinchi korxonani  $i_2=80\text{ A}$  ( $T_{\max}=4300$  soat) iste'mol qilib, ta'minlovchi manbadan 7 km masofada joylashgan. Magistral simning iqtisodiy kerakli kesim yuzasini tanlang.

# I L O V A L A R

1-ilova

## Havo liniyalarini hisoblash uchun ma'lumotlar

1 jadval

### Ochiq po'lat-alumin simlarning xarakteristikasi (binodan tashqarida)

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	$r_0$ , Om	35 kV		110 kV			220 kV		
		$x_0$ , Om	$b_0$ , sim, $10^4$	$x_0$ , Om	$b_0$ , sim, $10^{-4}$	$q_0$ , MVAr	$x_0$ , Om	$b_0$ , sim, $10^{-4}$	$q_0$ , MVAr
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 <sup>2</sup>	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  $\tau$  orasidagi bog'liqlik**

$T_{\max}$ (soat)	$\tau$ ning $\cos\varphi$ bo'yicha qiymati, soat		
	$\cos\varphi = 0,6$	$\cos\varphi = 0,8$	$\cos\varphi = 1,0$
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

**1 kV kuchlanishgacha bo'lgan kabel liniyalarini  
hisoblash uchun ma'lumotlar**

Simning kesim yuzasi, mm <sup>2</sup>	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

## Transformatorli podstansiyalarning hisobi uchun ma'lumotlar

1-jadval

## 3-20 kVli moyli transformatorlar

Transformator turi	S <sub>nt</sub> , kVA	U <sub>n</sub> , kV		ΔP <sub>syu</sub> , kVt	ΔP <sub>qt</sub> , kVt	U <sub>qt</sub> , %	I <sub>syu</sub> , %
		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



## 35 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	$R_T$ , Om	$X_T$ , Om
		YuK	PK				
10	ТДНС-100000/35	36,75	6,3;10,5	14,5	80	1,14	18,0
16	ТДН-16000/35	36,75	6,3;10,5	21,0	120	0,48	6,75
25	ТРДН-25000/35	36,75	6,3;10,5	29,0	175	0,31	5,1
32	ТРДН-32000/35	36,75	6,3;10,5	33,0	224	0,23	4,85
40	ТД-40000/35	38,5	6,3;10,5	39,0	260	0,15	2,87
40	ТРДН-40000/35	36,75	6,3;10,5	30,0	260	0,20	2,90
63	ТРДН-63000/35	36,76	6,3;10,5	55,0	378	0,1	2,50
80	ТДС-80000/35	38,5	6,3;10,5	65,0	480	0,07	1,53

## 110 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	$R_T$ , Om	$X_T$ , Om
		YuK	PK				
16	ТДН-16000/110	115	6,6;11	21	135	4,38	86,7
25	ТРДН-25000/110	''-	6,6;11	29	200	2,54	55,9
32	ТРДН-32000/110	''-	6,6;11	35	240	1,87	43,5
40	ТРДН-40000/110	''-	6,6;11	42	280	1,44	34,8
40	ТД-40000/110	121	6,3;10,5	52	280	1,44	34,8
63	ТРДЦН-63000/110	151	6,3;10,5	59	410	0,87	22,0
80	ТРДЦН-80000/110	''-	6,3;10,5	70	480	0,65	17,3
80	ТД-80000/110	121	6,3;10,5	70	480	0,65	17,3
125	ТДЦ-125000/110	''-	10,5	120	678	0,33	11,1
200	ТДЦ-200000/110	''-	13,8	170	100	0,23	6,95
250	ТДЦ-250000/110	''-	15,75	200	1250	0,17	5,55

## 220 kV li uch fazali ikki chulg'amli transformatorlar

S <sub>nt</sub> , MVA	Transformator turi	U <sub>n</sub> , kV		ΔP <sub>po'l</sub> , kW	ΔQ <sub>po'l</sub> , kVAr	R <sub>T</sub> , Om	X <sub>T</sub> , Om
		YuK	PK				
32	ТРДН-32000/220	230	6,6	53	288	8,66	32
63	ТРДЦН-63000/220	230	6,6;11	82	504	4,0	63
80	ТДЦ-80000/220	242	6,3;11	105	480	2,64	80
100	ТРДЦН-100000/220	230	11	115	700	0,90	100
125	ТДЦ-125000/220	242	6,3;11	135	625	1,27	125
160	ТРДЦН-160000/220	230	11	167	960	1,08	160
200	ТРДЦН-200000/220	242	13,8	200	900	0,77	200
250	ТДЦ-250000/220	242	13,8	240	1125	0,55	250

## 110 kV li uch fazali uch chulg'amli transformatorlar va ularning passport ma'lumotlari

S <sub>nt</sub> , MVA	Transformator turi	U <sub>n</sub> , kV			ΔP <sub>po'l</sub> , kW	ΔQ <sub>po'l</sub> , kVAr
		YuK	UK	PK		
25	ТДТН-25000/110	115	38,5	6,6; 11	36	25
40	ТДТН-40000/110	115	38,5	6,6; 11	50	360
63	ТТДН-63000/110	115	38,5	6,6; 11	70	536
80	ТДЦТН-80000/110	115	38,5	6,6; 11	82	640

S <sub>nt</sub> , MVA	Transformator turi	R <sub>T</sub> , Om			X <sub>T</sub> , Om		
		YuK	UK	PK	YuK	O'K	PK
25	ТДТН-25000/110	1,5	1,5	1,5	54	0	33
40	ТДТН-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	ТДЦТН-80000/110	0,4	0,4	0,4	17,6	0	10,3

## 220 kV li uch fazali uch chulg'amli transformatorlar va avtotransformatorlar

S <sub>nt</sub> , MVA	Transformator turi	U <sub>n</sub> , kV			ΔP <sub>po'l</sub> , kW	ΔQ <sub>po'l</sub> , kVAr
		YuK	UK	PK		
25	ТДТН-25000/220	230	38,5	6,6; 11	50	300
32	АТДТН-32000/220/110	230	121	6,6; 11	32	192
40	ТДТН-40000/220	230	38,5	6,6; 11	66	440
63	ТДЦТН-63000/220	230	38,5	6,6; 11	91	630
80	АТДТН-63000/220/110	230	121	6,6; 11	45	315
80	АТДЦТН-80000/220/110	230	121	6,6; 10,5	-	-
100	АТДЦТН-100000/220/110	230	121	6,6; 11	75	500
125	АТДЦТН-125000/220/110	230	122	6,6; 11	85	625
160	АТДЦТН-160000/220/110	230	121	6,6; 11	100	8000
200	АТДЦТН-200000/220/110	230	121	6,6; 11	125	1000

S <sub>nt</sub> , MVA	Transformator turi	R <sub>T</sub> , Ом			X <sub>T</sub> , Ом		
		YuK	UK	PK	YuK	O'K	PK
25	ТДТН-25000/220	5,72	5,72	5,72	276	0	148
32	АТДТН-32000/220/110	3,74	3,74	7,5	198	0	364
40	ТДТН-40000/220	3,97	3,97	3,97	165	0	126
63	ТДЦТН-63000/220	2,13	2,13	2,13	109	0	92,5
80	АТДТН-63000/220/110	1,43	1,43	2,9	100	0	193
80	АТДЦТН-80000/220/110	-	-	-	-	-	-
100	АТДЦТН-100000/220/110	0,69	0,69	0,69	60,8	0	103
125	АТДЦТН-125000/220/110	0,5	0,5	1,0	48,6	0	82,5
160	АТДЦТН-160000/220/110	39	0,78	-	38,0	0	68
200	АТДЦТН-200000/220/110	0,39	0,2	1,5	30,4	0	54

**Yuklama ostida rostlash qurilmali 35-220 kV kuchlanishli pasaytiruvchi va avtotransformatorlar rostlovchi shoxobchalarining nominal kuchlanishi**

35 kV		110 kV		220 kV		Avtotransfarmator O'K tomonida	
Pog'ona %	Kuch-sh, kV	Pog'ona %	Kuch-sh, kV	Pog'ona %	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	-3,3	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 $j_{iq}$ A/mm <sup>2</sup> $T_{max}$ 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, Kavkvz 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, uskunalarni 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‘imlarida 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 shkaflardan 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 <sup>2</sup>	м <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Hajm	kub metr	m <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Kuch, og'irlik	Nyuton	kg*m/s <sup>2</sup>	Н	N
Zichlik	kilogramning metr kubga nisbati	kg/m <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Kuch momenti	Nyuton-metr	kg*m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Нм	Nm
Ish, energiya	Joul	kg*m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Дж	J
Quvvat	Vatt	kg*m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> =J/s	Вт	W
Burchak tezligi	radianning sekundga nisbati	s <sup>-1</sup>	рад/с	rad/s
Burchak tezlanishi	radianning sekund kvadratiga nisbati	s <sup>-2</sup>	рад/с <sup>2</sup>	rad/s <sup>2</sup>
Davr	sekund	s	с	s
Davriy jarayon chastotasi	Gers	s <sup>-1</sup>	Гц	Hz

### SI sistemasida elektromagnit kattaliklarning birliklari

Kattalikning nomlanishi	Birliklarning nomlanishi	SI birligida yozilishi	Birliklarning belgilanishi	
			rus	xalqaro
<b>Elektr kattaliklar</b>				
Elektr tok kuchi	Amper	A	А	A
Elektr miqdori, zaryad	Kulon	A*s=C	Кл	C
Elektr potensial, kuchlanish EYuK	Volt	kg*m <sup>2</sup> /(Ac <sup>3</sup> )=B	В	B
Elektr maydon kuchlanganlik	Voltning metrga nisbati	kg*m/(Ac <sup>3</sup> )=B/m	В/м	V/m
Absolut dielektrik singdiruvchanlik	Faradning metrga nisbati	A <sup>2</sup> c <sup>4</sup> /(kg*m <sup>3</sup> )	Ф/м	F/m
Dipolning elektr momenti	Kulon-metr	Ac*m=Cl*m	Кл*м	C*m

Elektr siljish	Kulonning metr kvadratga nisbati	$Ac/m^2=Kl/m^2$	$Kл/m^2$	$C/m^2$
Qutblanish	Kulonning metr kvadratga nisbati	$Ac/m^2=Kl/m^2$	$Kл/m^2$	$C/m^2$
Elektr sig`im	Farada	$A^2c^4/(kg*m^2)=c/Om$	$\Phi$	F
To`k zichligi	Amporning metr kvadratga nisbati	$A/m^2$	$A/m^2$	$A/m^2$
Elektr qarshilik	Om	$kg*m^2/(A^2c^3)=B/A$	OM	$\Omega$
Elektr o`tkazuvchanlik	Simens	$A^2c^3/(kg*m^2)=1/Om$	CM	S
Solishtirma elektr qarshilik	Om/metr	$kg*m^3/(A^2c^3)=Om/m$	OM/M	$\Omega/m$
Solishtirma elektr o`tkazuvchanlik	Simensning metrga nisbati	$A^2c^3/(kg*m^3)=1/Om*m$	CM/M	S/m
To`la quvvat	Volt-amper	$kg*m^2/c^3$	BA	VA
Aktiv quvvat	Vatt	$kg*m^2/c^3$	BT	Wt
Reaktiv quvvat	Var	$kg*m^2/c^3$	Bap	VAr
<b>Magnit kattaliklar</b>				
Magnit oqim	Veber	$kg*m^2/(Ac^2)=Bc$	Bб	
Magnit induksiyasi	Tesla	$kg/(Ac^2)=Bc/m^2$	Tл	
Absolyut magnit o`tkazuvchanlik	Genrining metrga nisbati	$kg*m/(A^2c^2)$	Гн/м	
Elektr tokening magnit momenti, dipolning magnit momenti	Amporning metr kvadratga ko`paytmasi	$A* m^2$	$A* m^2$	
Magnitlanish	Amporning metrga nisbati	$A/m$	A/м	
Magnit maydon kuchlanganligi	Amporning metrga nisbati	$A/m$	A/м	A
Induktivlik, o`zaro induktivlik	Genri	$kg*m^2/(A^2c^2)=Bc/A=Vb/A=OM*c$	Гн	
Magnit yurutuvchi kuch, skalyar magnit potentsiallar farqi	Amper	A	A	A
Magnit qarshilik	Amporning veberga nisbati	$c^2 A^2/(kg*m^2)=A/Vb=1/Gn$	A/ Bб	A/Wb
Magnit o`tkazuvchanlik	Veberning amperga nisbati	$kg*m^2/(c^2A^2)=Gn$	Bб/A	Wb/A
Vektor magnit potentsial	Veberning metrga nisbati	$kg*m/(Ac^2)=Bc/m$	Bб/м	Wb/м

**Fizik kattaliklarning birliklari**  
**Energiya birliklari**

	J	kVt	kgk m	Kkal
1 J	1	$2,78 \cdot 10^{-7}$	0,102	$2,39 \cdot 10^{-4}$
1 kVt*s	$3,60 \cdot 10^6$	1	$3,67 \cdot 10^5$	$860,0 \cdot 10^{-4}$
1 kgk*m	9,81	$2,72 \cdot 10^6$	1	$2,34 \cdot 10^{-4}$
1 kkal	$4,19 \cdot 10^3$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	427	1

**Quvvat birliklari**

	Vt	kVt	kgs m/s	o.k.	kkl/s
1 Vt	1	$10^{-3}$	0,102	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$2,39 \cdot 10^{-4}$
1 kgs m/s	9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$	1	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$2,34 \cdot 10^{-3}$
1 l.s.	736	0,736	75	1	0,176
1 kkl/s	$4,39 \cdot 10^3$	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/sm<sup>2</sup>=98066,5 Pa

1 ta(texnik atmosfera)= 1 kgk/sm<sup>2</sup>=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/m<sup>2</sup>=133,322 Pa

1 mm suv ust.=1 kgk/m<sup>2</sup>=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 mm<sup>2</sup>/m=10<sup>-6</sup>Om m

1 Mks(Maksvell)=10<sup>-8</sup>Vb

1 Gs(Gauss)=10<sup>-4</sup>Tl

1 Gb(Gilbert)=(10/4π)A

1 E(ersted)= (10/4π)A/m

1 erg(erg)=1\*10<sup>-7</sup> J

### Elektrotexnikada foydalaniladigan fizik konstantalar

Elementar zaryad(electron zaryadi):

$$e=1,6021892*10^{-19} \text{ Kl}$$

Elektr doimiysi:

$$\epsilon_0=1/\mu_0 \quad C_0=8,85418782*10^2 \text{ F/m} \approx 1/4\pi \cdot 9*10^9 \text{ F/m,}$$

bu yerda:  $C_0=2997920458 \text{ m/s}$  –nurning vakuumdagi tezligi

Magnit doimiysi:

$$\mu_0=4\pi*10^{-7} \text{ Gn/m}=4\pi*10^{-9} \text{ Gn/sm}$$

### 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( $c_0$ -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 koefitsiyenti.  
 $n$  – transformatsiya koefitsiyenti; 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  
 $\alpha$  – so`nish koefitsiyenti  
 $B$  – fazalar doimiysi  
 $\beta$  – faza koefitsiyenti  
 $G$  – uzatish doimiysi  
 $\gamma$  – tarqalish koefitsiyenti; solishtirma elektr o`tkazuvchanlik  
 $\delta$  – nobudgarchilik koefitsiyenti  
 $\varepsilon$  – dielektrik singdiruvchanlik ( $\varepsilon_0$  – elektr doimiysi)  
 $\theta$  – tebranishning logarifmik dekrementi.  
 $x$  – magnit ta`sirchanlik  
 $\lambda$  – elektromagnit to`lqin uzunligi; quvvat koefitsiyenti.  
 $\mu$  – magnit singdiruvchanlik ( $\mu_0$  – magnit doimiysi)  
 $P$  – Poynting vektori.  
 $\rho$  – qaytarish koefitsiyenti; elektr zaryadning xajmiy zichligi; solishtirma elektr qarshilik  
 $\sigma$  – elektr zaryadning tashqi zichligi; solishtirma elektr o`tkazuvchanlik  
 $\tau$  – elektr zaryadning tashqi zichligi; vaqt doimiysi.  
 $F$  – magnit oqimi  
 $\varphi$  – elektr potentsial; tok va kuchlanish orasidagi burchak  
 $\chi$  – dielektrik ta`sirchanlik  
 $\psi$  – oqim ilakishi  
 $\Omega, \omega$  – tebranishning burchak chastotasi; aylanish burchak chastotasi



### *Indekslarni qo`llashda misollar*

$\epsilon_a$  – absolut dielektrik singdiruvchanlik.

$Z_{TK}$  – to`lqin qarshiligi.

$r_{iq}$  – ichki qarshilik

$Z_{xq}$  – harakteristik qarshilik

$L_{dif}$  – differensial induktivlik

$r_k$  – qisqa tutashuv qarshiligi

$W_m$  – magnit energiyasi.

$I_m$  – tok amplitudasi.

$I_{max}$  – toknin maksimal qiymati.

$I_{min}$  – tokning minimal qiymati.

$\mu_g$  – nisbatli magnit singdiruvchanlik.

$I_{\Sigma}$  – toklarning yig`indisi.

$U_f$  – faza kuchlanishi.

$r_x$  – salt ishlash qarshiligi.

$a^*=a/a_0$  – bazis qiymatga keltirilgan kattalik( $a_0$ ).

### **Adabiyotlar ro‘yhati**

7. Steven W.Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007, 260 p.
8. Лыпкин А.В. Электрические системы и сети (Электронный ресурс): (учеб. пособ.)– Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002.-248 с.
9. 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.- (1 файл: 11 МБ). – Москва: Высшая школа, 1999.- 352 с.
10. Elektr tarmoqlari va sistemalari: uslubiy qo‘llanma/ O‘zR OO‘MTV; Rasulov A.N., Taslimov A.D., Mamarasulova F.S., Rahmonov I.U.– Toshkent: TDTU, 2014.- 90 b.
11. Электрические системы и сети. Булова Н.В., Винославский В.Н., Данисенко Т.И., Перхач В.С. Под ред. Данисенко Г. – Киев: Высшая школа, 2006.
12. Блок В.М. Электрические сети и системы. Высшая школа, 2006.
13. Иделчик В.И. Электрические сети и системы. М.: Атомиздат, 2003.