

A.N.RASULOV, I.U. RAXMONOV

ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARI



TOSHKENT

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

A.N.RASULOV, I.U. RAXMONOV

**ELEKTR TARMOQLARI
VA TIZIMLARI**

*O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi
tomonidan 5310200 – Elektroenergetika (elektr ta’minoti)
yo‘nalishi bakalavrlari uchun darslik sifatida tavsiya etilgan*

TOSHKENT – 2018

UO'K
KBK 31.279
R-25

R-25 A.N.Rasulov, I.U. Raxmonov. Elektr tarmoqlari va tizimlari. –
T.: «Fan va texnologiya», 2018, 328 bet.

ISBN 978–9943–11–819–5

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

O'quv qo'llanma 5310200 – Elektroenergetika (elektr ta'minoti) 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: 5310200-«Электроэнергетики» (электроснабжения).

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 5310200 – Power Engineering (Power supply).

Taqrizchilar:

F.A. HOSHIMOV –

*“O'zbekenergo” AJ “Ilmiy texnik markaz” MCHJ
“Energetika, energiya samaradorlik va energiya
tejamkorlik” ilmiy tadqiqot laboratoriyasi mudiri,
t.f.d., professor;*

A.D. TASLIMOV –

«Elektr ta'minoti» kafedrası mudiri, t.f.n., dotsent

ISBN 978–9943–11–819–5

MUNDARIJA

Kirish.....	14
1. Elektr tarmoqlari to'g'risida umumiy ma'lumotlar	
1.1. Aktiv quvvat manbalari.....	18
1.2. Reaktiv quvvat manbalari.....	21
1.3. Elektr tarmoqlari hamda tizimlarining tuzilishi va sxemasi.....	24
1.4. Elektr tarmoqlariga qo'yiladigan asosiy talablar.....	30
1.5. Elektr tizim va tarmoqlarning nominal kuchlanishi. Kuchlanishni rostdash tushunchasi.....	35
1.6. Har xil kuchlanishli elektr tarmoqlari neytralining ish holati.....	40
2. Elektr tarmoqlari liniyalarining tuzilishi	
2.1. Havo liniyalari to'g'risida umumiy ma'lumotlar.....	46
2.2. Havo liniyalarining simlari va trosalar.....	49
2.3. Havo liniyalarining tayanchlari.....	52
2.4. Izolatorlar va liniyali armaturalar.....	55
2.5. Kabellarni tuzilishi va kabel liniyalari.....	57
3. Elektr tizimi xarakteristikasi va elementlari	
3.1. Iste'molchilar yuklamasi, yuklamalar grafigi.....	61
3.2. Elektr tarmoqlari hisoblarining asosiy turlari.....	64
3.3. Elektr uzatuv liniyalari qarshiliklari va o'tkazuvchanliklari almashtiruv sxemasi.....	65
3.3.1. Mavzuga doir misollar	78
3.3.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar	82
3.4. Ikki va uch chulg'amli transformatorlarning parametrlari va almashtiruv sxemasi.....	83
3.5. Chulg'amli bo'lingan transformatorlar	91
3.6. Avtotransformatorlarning parametrlari.....	93
3.6.1. Mavzuga doir misollar	96
3.6.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar	101
4. Elektr tarmoqlari ish tartibining tahlili	
4.1. Liniya va transformatorlarda quvvat isrofi.....	102
4.1.1. Mavzuga doir misollar	108
4.2. Liniya va transformatorlarda energiya isrofi.....	110
4.2.1. Mavzuga doir misollar	116

4.2.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar	118
4.3. Kuchlanishning pasayishi va yo'qotilishi. Liniyani oxirida (boshida) berilgan ma'lumotlarga asosan sharti hisoblari	119
4.3.1. Mavzuga doir misollar	126
4.3.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar	129
5. Taqsimlovchi sho'lasimon elektr tarmoqlari	
5.1. Taqsimlovchi ochiq elektr tarmoqlarini hisoblash	132
5.2. Berk zanjirli taqsimlovchi elektr tarmoqlari. Ikki tarafdan ta'minlanadigan liniyalar	134
5.3. Ikki tarafdan ta'minlangan liniyalarni hisoblashning ayrim hollari	142
5.4. Oddiy berk zanjirli tarmoqlar hisobi	143
5.4.1. Mavzuga doir misollar	146
6. Ta'minlovchi elektr tarmoqlarni hisoblash xususiyatlari	
6.1. Liniyaning zaryad toki va zaryad quvvati	150
6.1.1. Mavzuga doir misollar	155
6.2. Elektr uzatuv liniyasining vektor diagrammasi	155
6.3. Katta uzunlikka ega bo'lgan liniyalarning hisobi	161
6.4. Elektr uzatuv liniyasining o'tkazuvchanlik qobiliyati to'g'risida tushuncha	163
7. Energetika tizimining berk tarmoqlarida quvvat taqsimlanishini hisoblash	
7.1. Dastlabki ma'lumotlar	166
7.2. Tugun kuchlanish tenglamalari	168
7.3. Tugun kuchlanishlari tenglamasini foydalaniladigan ko'rinishi	172
7.4. Tugun kuchlanishlari tenglamasi koeffitsiyentlarini aniqlash	174
7.5. Tugun kuchlanishlari tenglamalarini iteratsiya (ketma-ketlik) usulida yechish. Quvvat oqimi taqsimlanishini aniqlash	177
7.6. Murakkab berk zanjirli elektr tarmoqlarni kontur toklari usulida hisoblash	181
7.7. Murakkab berk tarmoqlarni o'zgartirish	183
7.8. Bir necha ta'minlash punktlariga ega bo'lgan murakkab berk zanjirli tarmoqlarni hisoblash xususiyatlari	189

7.8.1. Mavzuga doir misollar.....	191
8. Elektr tarmog'ining ish tartiblari va ularni boshqarish	
8.1. Quvvat isrofi turlari.....	194
8.2. Reaktiv quvvat manbalari va uning xususiyatlari.....	196
8.3. Reaktiv quvvat balansi va uning buzilishi oqibatlar....	200
8.4. Tizimda aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishini me'yorlash.....	201
8.5. Tartibni boshqaruv tizimining tarkibi.....	203
8.6. Chastota va aktiv quvvatni boshqarish.....	205
8.7. Kuchlanish va reaktiv quvvatni boshqarish.....	209
8.8. Reaktiv quvvat kompensatsiyasi.....	213
9. Elektr energiya sifati va uni ta'minlash	
9.1. Elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlari.....	215
9.2. Aktiv va reaktiv quvvat muvozanati va elektr tizimlarda kuchlanishni rostlash holati. Kuchlanishni rostlash usullari.....	218
9.3. Iste'molchilardagi kuchlanishning og'ishiga bog'liq bo'lgan asosiy omillar, kuchlanishni qarama-qarshi rostlash	223
9.4. Elektr stansiyalar va pasaytiruvchi podstansiyalarda kuchlanishni rostlash.....	226
9.5. Tarmoq qarshiliklarini o'zgartirib, kuchlanishni rostlash.....	231
9.6. Elektr tarmoqlarida nosimmetriya va uni kamaytirish tadbirlari.....	234
9.7. Elektr energetika tizimida nosinusoidallik va uni kamaytirish tadbirlari.....	237
10. Elektr tarmoklarini loyihalash elementlari	
10.1. Texnika-iqtisodiy hisoblar, simlar va kabellarning kesim yuzasini tanlash. Kumulyativ xarajatlar.....	243
10.2. Tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha simlarning kesim yuzasini tanlash.....	250
10.2.1. Mavzuga doir misollar.....	257
10.3. Nominal kuchlanishni tanlash.....	259
10.4. Havo liniyalar simlari kesim yuzasini va kabellarni iqtisodiy intervallar usuli bilan tanlash.....	262

10.5. Liniya simi va kabellarining kesim yuzasini kuchlanish qiymatini ruxsat etilgan yo'qotilishi bo'yicha aniqlash.....	269
10.5.1. Mavzuga doir misollar	273
10.6. Liniya simlari kabellarning kesim yuzasini qizish darajasi bo'yicha tekshirish.....	277
10.6.1. Mavzuga doir misollar	281
10.7. Liniya kesim yuzasini tojlanish sharoiti va qisqa tutashuv toklarini qizdirishi bo'yicha tekshirish.....	283
10.8. Po'lat simlardan tayyorlangan liniyalarni hisoblash....	286
10.8.1. Mavzuga doir misollar	287
10.8.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar	298
Ilovalar	302
Glossariy.....	312
Foydalanilgan adabiyotlar.....	324

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение.....	14
1. Общие сведения об электрических сетях	
1.1. Источники активной мощности.....	18
1.2. Источники реактивной мощности.....	21
1.3. Структура и схемы электрических сетей и систем ..	24
1.4. Требования, предъявляемые к электрическим сетям	30
1.5. Номинальные напряжения электрических сетей и систем. Понятие о регулирование	35
1.6. Режимы нетралей электрических сетей различных напряжений.....	40
2. Конструкции электрических сетей	
2.1. Общая сведения конструкции воздушных линий	46
2.2. Провода воздушных линий и тросы.....	49
2.3. Опоры воздушных линий.....	52
2.4. Изоляторы и линейная арматура.....	55
2.5. Конструкция кабелей и кабельные линии.....	57
3. Характеристика и параметры элементов электрических сетей	
3.1. Нагрузок потребителей и графики электрических нагрузок.....	61
3.2. Основные виды расчетов электрических сетей	64
3.3. Сопротивления и проводимости электрических сетей. Схемы замещения.....	65
3.3.1. Задачи по теме.....	78
3.3.2. Примеры по теме для самостоятельного решения..	82
3.4. Параметры двух и трех обмоточных трансформаторов.....	83
3.5. Трансформаторы с расщипленной обмоткой.....	91
3.6. Параметры автотрансформаторов.....	93
3.6.1. Задачи по теме.....	96
3.6.2. Примеры по теме для самостоятельного решения	101
4. Анализ режимов работы электрических сетей	
4.1. Потери мощности в линиях и трансформаторах.....	102
4.1.1. Задачи по теме.....	108
4.2. Потери энергии в линиях и трансформаторах.....	110

4.2.1. Задачи по теме.....	116
4.2.2. Примеры по теме для самостоятельного решения..	118
4.3. Потери и подения напряжения. Расчеты режимов по данным конца (начала) передачи.....	119
4.3.1. Задачи по теме.....	126
4.3.2. Примеры по теме для самостоятельного решения..	129
5. Разамкнуты распределительные сети	
5.1. Расчеты разамкнутых электрических сетей.....	132
5.2. Замкнутые распределительные сети. Линии двух-сторонним питание.....	134
5.3. Особенности расчета линии двухсторонним пита-нием.....	142
5.4. Расчёты простых замкнутых сетей.....	143
5.4.1. Задачи по теме.....	146
6. Особенности расчета питающих электрических сетей	
6.1. Зарядный ток и зарядная мощность линии.....	150
6.1.1. Задачи по теме.....	155
6.2. Векторная диаграмма линии электропередачи	155
6.3. Расчёты длинных линий электропередачи.....	161
6.4. Понятие повышение пропускной способности линии	163
7. Расчёт потокораспределения в замкнутых электрических	
7.1. Предварительные сведения.....	166
7.2. Уравнения узловых напряжений.....	168
7.3. Обращенная форма уравнений узловых напряжений.....	172
7.4. Определение коэффициентов уравнений узловых напряжений.....	174
7.5. Решение уравнений узловых напряжений методом итнрации. Определение распределения потоков мощ-ности.....	177
7.6. Определение распределения потоков мощности методом контурных токов.....	181
7.7. Метод преобразования сложнзамкнутых сетей.....	183
7.8. Особенности расчета сетей при нескольких питаю-щих пунктов.....	189

7.8.1. Задачи по теме.....	191
8. Управление режимами электрических сетей	
8.1. Виды потери мощности.....	194
8.2. Источники реактивной мощности и их особенности	196
8.3. Баланс реактивной мощности и последствие их нарушени.....	200
8.4. Оптимизация распределения активных и реактив- ных мощностей в системе.....	201
8.5. Структура управления режимами.....	203
8.6. Управление частотой и активной мощностью.....	205
8.7. Управление напряжением и реактивной мощ- ностью.....	209
8.8. Компесация реактивной мощности.....	213
9. Качества энергии и их обеспечение	
9.1. Показатели качество электроэнергии.....	215
9.2. Баланс активной и реактивной мощности и регули- рование в электрической системе. Методы регулирова- ние напряжение.....	218
9.3. Основные факторы, от которых зависит напря- жение у потребителя.....	223
9.4. Регулирования напряжения на электростанциях и на понижающих подстанциях.....	226
9.5. Регулирование напряжения изменением сопро- тивления сети	231
9.6. Несимметрия в электрических сетях к мероприятия по её снижению.....	234
9.7. Несинусоидальность в электроэнергетических сис- темах и мероприятия по её снижению.....	237
10. Элементы проектирование электрических сетей	
10.1. Техничко-экономические расчеты, определение се- чения проводов и кабелей, кумулятивные затраты.....	243
10.2. Определение сечения проводов по экономической плотности.....	250
10.2.1. Задачи по теме.....	257
10.3. Выбор номинального напряжения.....	259
10.4. Определение сечения проводов и кабелей по эко- номическим интервалом.....	262

10.5. Определение сечения проводов и кабелей по допустимой потере напряжения.....	269
10.5.1. Задачи по теме.....	273
10.6. Проверка сечения проводов и кабелей по условиям допустимого нагрева.....	277
10.6.1. Задачи по теме.....	281
10.7. Проверка сечений линий по условиям короны и термической устойчивости к токам короткого замыкания.....	283
10.8. Расчет линии стальными проводами.....	286
10.8.1. Задачи по теме.....	287
10.8.2. Примеры по теме для самостоятельного решения	298
Приложения.....	302
Глоссарий.....	312
Список литературы.....	324

CONTENTS

Indtroduction	14
1. The General data on electric networks	
1.1. Sources of active capacity	18
1.2. Sources of jet capacity.....	21
1.3. Structure and schemes of electric networks and systems	24
1.4. The Requirements shown to electric networks.....	30
1.5. Rated voltage of electric networks and systems.	
Concept about regulation.....	35
1.6. Modes netraley electric networks of various pressure...	40
2. Designs of electric networks	
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.....	52
2.4. Insulators and linear armature.....	55
2.5. The Design of cables and cable lines.....	57
3. The characteristic and parametres of elements of electric networks	
3.1. Loadings of consumers and a drawing of electric loadings.....	61
3.2. Principal views gunners electric networks.....	64
3.3. Resistance and conductivity of electric nteworks.	
Equivalent circuits.....	65
3.3.1. Tasks of a subject.....	78
3.3.2. Examples on a subject for the independent decision...	82
3.4. Parameters two and three winding transformers.....	83
3.5. Transformers with cloven a winding.....	91
3.6. Parameters of autotransformers.....	93
3.6.1. Tasks of a subject.....	96
3.6.2. Examples on a subject for the independent decision...	101
4. The analysis of operating modes of electric networks	
4.1. Capacity Lossers in lines and transformers.....	102
4.1.1. Tasks of a subject.....	108
4.2. Energy Losses in lines and transformers.....	110
4.2.1. Tasks of a subject.....	116
4.2.2. Examples on a subject for the independent decision...	118

4.3. Losses and sinking pressure. Calculations of modes according to the end (beginning) of transfer.....	119
5. Open ended distributive networks	
5.1. Calculations open electric networks.....	132
5.2. The closed distributive networks. Lines two sided a food.....	134
5.3. Features of calculation of a line a bilateral food.....	142
5.4. Calculations of the simple closed networks.....	143
5.4.1. Tasks of a subject.....	146
6. Features of calculation of feeding electric networks	
6.1. Charging a current and loading capacity of a line.....	150
6.1.1. Tasks of a subject.....	155
6.2. Vector diagram transmission lines.....	155
6.3. Calculations of long transmission lines.....	161
6.4. Concept increase of throughput of a line.....	163
7. Calculation flux-distribution in the closed electric	
7.1. Preliminary reduction.....	166
7.2. The equations of central pressure.....	168
7.3. The turned form of the equations of central pressure....	172
7.4. Definition of factors of the equations of central pressure	174
7.5. The decision of the equations of central pressure a method of iterations. Definition of distribution of streams of capacity...	177
7.6. Definition of distribution of streams of capacity by a method of planimetric currents.....	181
7.7. A transformation Method closed it is complicated networks.....	183
7.8. Features of calculation of networks at several feeding points.....	189
8. Management of modes of electric networks	
8.1. Loss Kinds capacity.....	194
8.2. Sources of jet capacity and their feature.....	196
8.3. Balance of jet capacity and a consequence their infringement.....	200
8.4. Optimization of distribution of active and jet capacity in system.....	201
8.5. Structure of management of modes.....	203
8.6. Management of frequency and active capacity.....	205

8.7. Management of pressure and jet capacity.....	209
8.8. Compensation of reaction capacity.....	213
9. Qualities of energy and their maintenance	
9.1. Indicators quality of the electric of the power.....	215
9.2. Balance of active and jet capacity and regulation of electric system. Methods regulation pressure.....	218
9.3. Major factors on which pressure at the consumer depends.....	223
9.4. Pressure Regulations on power stations and on lowering substations.....	226
9.5. Regulation of pressure by change of resistance of a network.....	231
9.6. Asymmetry in electric networks to action for its decrease	234
9.7. Ne sinusoidalnost in electro power systems and actions for its decrease.....	237
10. Elements designing of electric networks	
10.1. Technical and economic calculations, definition of section of wires and cables, cumulative expenses.....	243
10.2. Definition of section of wires on economic density.....	250
10.2.1. Tasks of a subject.....	257
10.3. A rated voltage Choice.....	259
10.4. Definition of section of wires and cables on admissible losses pressure.....	262
10.5. Definition of section of wires and cables on admissible losses pressure.....	269
10.5.1. Tasks of a subject.....	273
10.6. Check of section of wires and cables on conditions of admissible heating.....	277
10.6.1. Tasks of a subject.....	281
10.7. Check of sections of lines on conditions of a crown and thermal stability to currents short circuits.....	283
10.8. Line calculation by steel wires.....	286
10.8.1. Tasks of a subject.....	287
10.8.2. Examples on a subject for the independent decision....	298
Appendices	302
Glossarys.....	312
References.....	324

KIRISH

O'zbekiston Respublikasining Birinchi Prezidenti Islom Abdu-g'aniyevich Karimov, O'zbekiston iqtisodiyotining muhim tarmoq-larini tahlil qilar ekan «Respublika energetika mustaqilligiga erish-gan 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 baho-lash juda mushkul hayotimizni va har bir inson hayotini – ishlab chiqarishdami, tadbirkorlikdami, turmushdami elektrsiz tasavvur qilish mumkin emas.

XX asrda sodir bo'lgan ilmiy-texnika inqilobning ikki muhim yo'nalishini ko'rsatish mumkin. Bu – insonning fizikaviy energiya-sini 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 bar-cha 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 tizimiga birlashtirilgan elektr tarmoqlaridagi (elektr

stansiyalaridan iste'molchiga qarab) energiyaning ulkan oqimi tirik organizmning qon tomirlari sistemasiga 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 hududiy 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 tizimli liniya foydalanishga topshirildi.

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

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

1943-yil Sirdaryo daryosida qurila boshlagan 125 ming kVt quvvatli Farhod GESi kimyo sanoatini rivojlantirish va sug'oriladigan

yerlarni suv bilan ta'minlash imkonini berdi. 700 mingga O'zbekiston va qo'shni respublikalar yerlarini o'zlashtirishga imkon beruvchi suv to'g'onlari qurildi.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

O'zbekiston elektr energetikasini rivojlantirishning istiqbolli dasturlari quyidagilardan iborat:

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

Markaziy Osiyo Birlashgan energetika tizimi 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'RSIDA 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 akkumulatsiya 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 vosita 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 ventilatsiya qilib bajariladi.

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

Vodorod zichligining kichikligi ventilatsiya isrofini 8-10 marta kamaytirib, generator foydali ish ko'effitsiyentini 0,7-1,0 % ga oshiradi. Vodorodli sovitish tizimli 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 tizimi suvli generatorlar uchun (suvli) va quvvati 160 dan 1200 mVt gacha turbogeneratorlar uchun (suvli va yog'li) qo'llaniladi.

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

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

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

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

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

Ishlab chiqarilayotgan generatorlarni nominal quvvat 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 ishonchligi, 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 tizimlarida to'g'ridan-to'g'ri issiqlikni elektr energiyasiga o'zgartirib beruvchi MGD – generatorlar (magnit, suv, dinamik) samarali (perespektivniy) quvvat manbalari hisoblanadi. MGD – generatorlari quvvatni o'zgarmas tokda ishlab chiqaradi, uni sanoat chastotasidagi o'zgaruvchan tokka o'zgartiruvchi uskunalar yordamida o'zgartirish mumkin.

Nazorat savollari:

1. Hozirgi yashash sharoitida energetikaning roli qanday?
2. O'zbekiston energetikasi to'g'risida nimalarni bilasiz?
3. Energetika bo'yicha mutaxassis qanday bilimlarni bilishi kerak?

4. Aktiv quvvat manbalari nimalardan iborat?
5. Generator chulg'amlari qanday sovitiladi?

1.2. Reaktiv quvvat manbalari

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

Generator berayotgan reaktiv quvvatni tegishli qo'zg'atish tokini o'zgartirib amalga oshiriladi. $\cos \varphi = 1$ da tegishli reaktiv quvvat nolga teng. O'ta qo'zg'atishda generator reaktiv quvvat manbai hisoblanib, qo'zg'atishga yetmagan holatda tarmoqdan uni iste'mol qiladi. 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 birmuncha qimmatlashishiga olib keladi. Reaktiv quvvatni ushbu holatda ishlab chiqish, boshqa reaktiv quvvat manbalarini o'rnatishdagi sarfxarajatlarga nisbatan 10 marta kam¹.

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

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

tartibda ishlash; turbinadan ajratilib, sinxron kompensator tartibida ishlash.

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

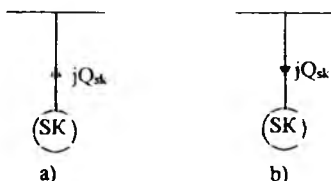
Bug'siz tartibda generator kam yuklangan sinxron motori holatiga o'xshab ishlab, turbinani aylantiradi. Bug' faqat turbina kuraklarini ventilatsiyasiga sarf bo'ladi.

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

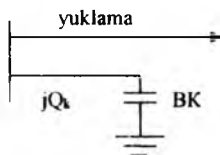
Gidrogeneratorlarini sinxron kompensator tartibiga o'tkazish, turbogeneratorlarga nisbatan sodda va tez bo'lib, avtomatlashtirish oson bo'lishi mumkin.

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

Yirik podstantsiyalarda reaktiv quvvatni ishlab chiqarish uchun salt yurish holatida ishlaydigan yengil qurilmali sinxron motorlar – sinxron kompensatorlar o'rnatiladi. O'ta qo'zg'atish tartibida sinxron kompensatorlar reaktiv quvvat ishlab chiqaruvchi generatorlar. yetilmagan qo'zg'atishda esa iste'molchi (1.2.1-rasm) hisoblanadi. O'ta qo'zg'atishdagi uning eng katta quvvati – **nominal quvvat** deb aytiladi. Yetilmagan qo'zg'atishda SK o'zining tuzilish xususiyatiga qarab ko'pincha nominal quvvatning 60%gacha iste'mol qiladi.



1.2.1-rasm. Sinxron komplekslarni o'ta qo'zg'atish tartibi (a) va qo'zg'atishga yetmagan (b) tartibda ishlashi.



1.2.2-rasm. KB ni ko'ndalangiga ulanishi.

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

Energetika tizimida 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'rta-sida 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 reaktiv quvvat iste'molchisi sifatida ishlaydi. STK energetika sistemasi podstansiyalariga o'rnatish uchun mo'ljallangan bo'lib, 100; 150; 250; 300 va 450 mVAr quvvatga, 10; 15,75; 20; 35; 38,5 va 110 kV kuchlanishga ega.

Reaktiv quvvatni iste'molchi manbalari, reaktiv quvvatni iste'mol qiladigan joyida ishlab chiqadi, bu bilan to'g'ridan-to'g'ri

uzatadigan, energetika tizimi 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 tizimlari 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 katta-lashtirilgan 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 tizimlarining 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 tizimining bir qismi bo'lib, elektr energiyasini manbadan iste'molchilarga uzatish hamda ular orasida taqsimlash vazifasini bajaradi.

Elektr tarmoqlari elektr uzatish liniyalari, podstantsiyalar, 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 uskunolari 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 podstantsiyalar taqsimlovchi punktlar (TP) deb ataladi.

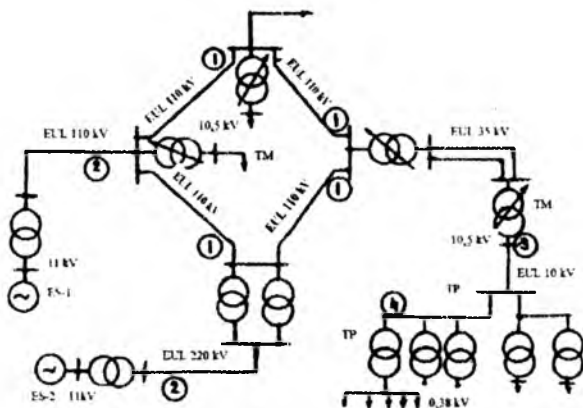
O'z vazifalari bo'yicha elektr tarmoqlarini shartli uch guruhga bo'lish mumkin:

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

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

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

Ulanishning shartli sxemasi bo'yicha elektr tarmoqlar 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) yuklangan markazlariga (1.3.1-rasm) bevosita ta'minlovchi elektr tarmoqlarini tashkil etuvchi elektr uzatuvchi 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 (Y.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 talablarga bog'liqdir.

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

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

Ishonchlilik darajasi bo'yicha iste'molchilar uch kategoriyaga bo'linadi.

1-kategoriyali 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 tizimli 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.

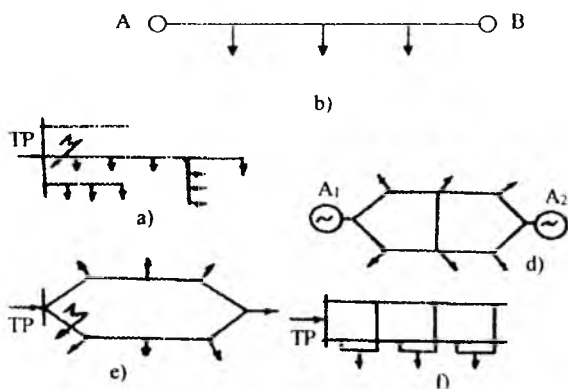
2-kategoriya iste'molchilari uchun ko'pincha ikki ayrim liniyalar orqali ta'minlash nazarga olinadi, lekin elektr uskunalarini tuzilish qoidalari bo'yicha 2-kategoriya iste'molchilarini yakka bir liniya orqali ta'minlashga ruxsat etiladi.

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

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

Zaxiralanmagan tarmoq deb, zaxira sifatida qo'shimcha liniya va transformator podstansiyalari bo'lmagan tarmoqqa 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 halqasimon (1.3.2 b-rasm), ikki tarafdin ta'minlanuvchi (1.3.2 d-rasm), ikki sistemali magistral (1.3.2 e-rasm), tugun nuqtalari bor murakkab berk zanjirli tarmoqlarni (1.3.2 f-rasm) kiritish mumkin.



1.3.2-rasm. Tarmoqlarning mumkin bo'lgan sxemalari.

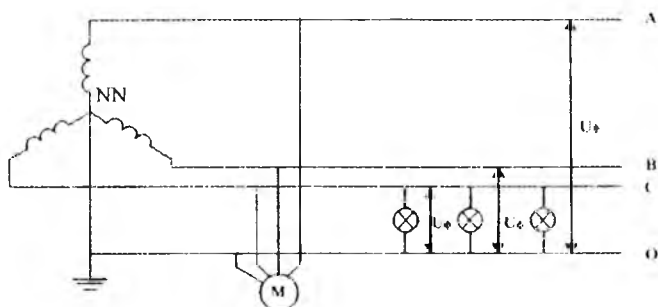
TP - transformator podstansiyasi, A₁ va A₂ ta'minlash tugunlari (stansiya yoki podstansiya).

Sanoat korxonalari va qishloq xo'jaligini asosiy uskunalarini 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.

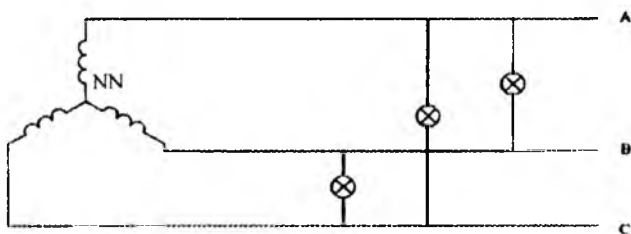
Ko'p hollarda past kuchlanishli uskunalarni ta'minoti to'rt simli uch fazali sistemalar yordamida amalga oshiriladi (1.3.3-rasm), bunda betaraf nuqta bevosita yerga ulangan bo'ladi.

Nol simi yoritkich iste'molchilarini faza kuchlanishiga ulash uchun va fazalar bir xil yuklanmaganida paydo bo'ladigan nosimetriya 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.



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

Texnika xavfsizligi shartiga asosan sanoatimiz hozirgacha 220 V kuchlanishdan yuqori bo'lgan cho'g'lanish lampalarini ishlab

chiqarmaydi. Hozirgi paytda betaraf nuqtasi yerdan izolatsiya 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.

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 podstantsiyalarning sxemasiga ham bog'liq.

Nazorat savollari:

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

1.4. Elektr tarmoqlariga qo'yiladigan asosiy talablar

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

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

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

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

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

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

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

Quvvati katta bo'lmagan iste'molchilar uchun ikkinchi manba o'rnida harakatlanadigan yoki turg'un holdagi dizel elektr stansiyalari yoki akkumulator 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 uchinchil 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 tizimli havo liniyasi orqali ta'minlashga ruxsat beradi. Ayrim paytda bir kabel (bo'lingan va alohida uzgichlari bor) liniyasi orqali va hatto bir transformator yordamida ta'minlash (sharoitga qarab) ruxsat etiladi.

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

Elektr ta'minotini ishonchliligi 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 bog'langan qurilmalarning aylanish tezligini o'zgarishiga, bu esa texnologik jarayonlarni izdan chiqishiga olib kelishi mumkin.

Shuning uchun, hozirgi vaqtda chastotani mumkin bo'lgan og'ish darajasi faqatgina $\pm 0,1$ Hz qilib qabul qilinadi.

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

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

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

Kuchlanish egri chizig'ining 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 uskunarlar 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 uskunalarning 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 "kumulyativ 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. Tizimlarni 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 tizimi va tarmoqlarning nominal kuchlanishi.

Kuchlanishni rostdlash tushunchasi

Texnik uskunalarni standartlash. Ma'lumki, texnikada seriyali ishlab chiqarish imkoniyatiga ega bo'lmoqlik uchun uskunalarni standartlash, ya'ni ularni katta-kichiklik, massa, tok kuchlanish yoki boshqa parametrlari bo'yicha bir necha turga bo'lib ishlab chiqarish kerak. Texnikada hamma narsa standartlashtiriladi: kuchlanish (1.5.1-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 uskunalar 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 mm^2 bo'ldi. Qanday 95 mm^2 yoki 120 mm^2 , kesim yuzasini tanlash kerak. Iqtisodiy hisoblar shuni ko'rsatadiki, 95 mm^2 kesim yuzali kabelni tavsiya etmoq to'g'ri bo'ladi.

1.5.1-jadvalda past (220-660 V), o'rta (3-35kV), 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 loyihalalanayotgan tarmoqlar uchun iqtisodiy mulahozalarga asosan tavsiya etilmaydi.

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

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

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

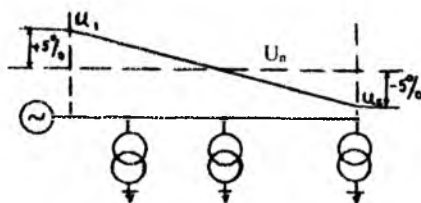
Ammo elektr tarmoqlarining normal ish holatida elektr iste'molchilarga keltirilgan kuchlanish, nominal qiymatidan og'ishi kerak emas.

50 Hzli uch fazali tok sistemasi kuchlanish nominal qiymatidan og'ishi $\pm 5\%$ dan katta bo'lmasligi kerak (GOST 13109). Bu shuni

bildiradiki, uzunligi bo'yicha yuklama taqsimlangan tarmoqning boshidagi kuchlanishi U_1 (1.5.1 - rasm) nominal kuchlanish U dan 5% ga ortiq oshmasligi, U_2 liniya oxiridagi kuchlanish esa U_n dan 5% dan pastga kamaymasligi kerak.

1.5.1-jadval

Tarmoqni va iste'molchilarni nominal kuchlanishi		Iste'mol liniya kuchlanishi			Elektr uskunalari eng katta ish kuchlanishi
Liniya-dagi	Faza-dagi	Generator kuchlanishi	Transformator kuchlanishi		
			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
Kilovolt					
3	-	(3,15)	(3) va (3,15)	(3,15) va (3,2)	(3,6)
5	-	5,3	6 va 6,3	6,3 va (6,6)	7,2
10	-	10,5	10 va 10,5	10,5 va 11	12
20	-	21	20 va 21	21 va 22	24
35	-	-	35 va 36,75	38,5	40,5
110	-	-	110 va 115	115 va 121	126
(150)	-	-	(150) va (158)	(158) va (165)	(172)
220	-	-	220 va 230	230 va 240	252
330	-	-	330	330 va 347	362
500	-	-	500	525	525
750	-	-	750	787	787
1150	-	-	1150	-	1200



1.5.1-rasm. Tarmoq kuchlanishini o'zgarish grafigi.

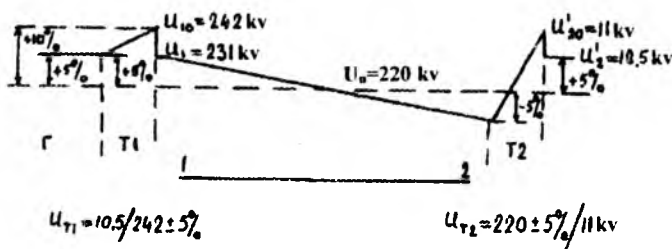
Tarmoqni nominal kuchlanishi deb, uning o'rtacha kuchlanishi qabul qilinadi.

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

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

Generatorlarni nominal kuchlanishi tarmoqda bo'ladigan kuchlanish yo'qotilishini hisobga olib tarmoq kuchlanishidan 5% ga ortiq 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 keltirilmog'chi bo'lgan kuchlanish U_b/U_N ga teng bo'lgan transformatsiya koeffitsiyentiga ko'paytiriladi. Punktir bilan o'tkazilgan gorizontal liniya butun tarmoqni U_b ga keltirilgan nominal kuchlanishini tasvirlaydi.

Kuchaytiruvchi transformator T-1 birlamchi chulg'aming 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 transformatori birlamchi chulg'aming nominal kuchlanishi ta'minlovchi tarmoqning nominal kuchlanishiga teng bo'lishi kerak, ya'ni $U_2=220$ kV, uning ikkilamchi chulg'aming nominal kuchlanishi esa $U'_{20}=11$ kV. Shunday qilib, transformator T-2 ni birlamchi chulg'amiga 220 kV kuchlanish berilganda, uning ikkilamchi chulg'amini qisqichlaridagi kuchlanish yuklama ta'sirida $U'_{20}=10,5$ kV ga teng, ya'ni transformatorga ulangan 10 kV li tarmoqning nominal kuchlanishidan 5% ga yuqori bo'ladi.

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

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

Kuchlanishni rostlash tushunchasi. Elektr iste'molchilarining qisqichlaridagi kuchlanishni ruxsat etilgan qiymatlaridan og'ishi tarmoq ko'rsatkichlarini pasayishiga olib keladi. Energetika tizimidagi elektr tarmoqlari kuchlanishining darajasiga shu tarmoq-

larning energiya o'tkazuv qobiliyati, iqtisodiyligi va iste'molchilarga yetkazib berilayotgan energiya sifati bog'liqdir.

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

Generatorlar yordamida kuchlanishni rostlash, generator imkoniyatiga ega bo'lgan kuchlanishni rostlash diapazoni oralig'ida avtomatik qo'zg'atish regulatorlari (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 rostlash transformatsiya ko'effitsiyentini 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 rostlashni yuklama ostida ham (yuklama ostida rostlash, 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 rostlash 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 (regulator) (AQR) bilan ta'minlangan bo'lsa, kuchlanishni rostlash uchun qo'shimcha vosita sifatida ishlatilsa bo'ladi. AQRni narxi qimmat bo'lganligi uchun kichik quvvatli dvigatellarni kuchlanishni avtomatik rostlashda qo'llash, maqsadga muvofiq emas. Qoidaga asosan, bunday dvigatellarni reaktiv quvvatni o'zgarmas miqdorda generatsiya qilishda ishlatish iqtisodiy tomondan foydalidir.³

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

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

Statik kondensatorlarni liniyani bo'lib, orasiga ulash (ya'ni bo'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 rostlash deganda nimani tushunasiz?

1.6. Har xil kuchlanishdagi elektr tarmoqlari neytralining ish holati

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

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

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

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

Bir fazali yerga tutashuvda elektr sistemalarining simmetriyali holati buziladi; yerga nisbatan fazalar kuchlanishi o'zgarib, yerga ulanish toki hosil boladi va tarmoqlarda kuchlanishni o'zgarish holati paydo bo'ladi. Simmetriyaning o'zgarish darajasi neytralning holatiga, ya'ni uning yerga ulanish usuliga bog'liq.

1000 V kuchlanishgacha bo'lgan elektr tarmoqlarida neytralning holati elektr tarmoqlarida xizmat qiluvchi xodimlarning xavfsizligini ta'minlash bilan, yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlarida esa uzluksiz elektr bilan ta'minlashda elektr qurilmalarining ishonchiligi va tejamkorligi bilan asoslanadi.

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

1000 V kuchlanishgacha bo'lgan elektr tarmoqlari. «Elektr uskunalarining tuzilish qoidalari» (EUTQ)ga ko'ra, 1000 V kuchlanishgacha bo'lgan elektr tarmoqlarida neytral to'g'ridan-to'g'ri yerga ulangan yoki ulanmagan (yerdan izolatsiyalangan) bo'ladi.

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 moterlarni 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 izolatsiyalangan 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 izolatsiyalangan elektr

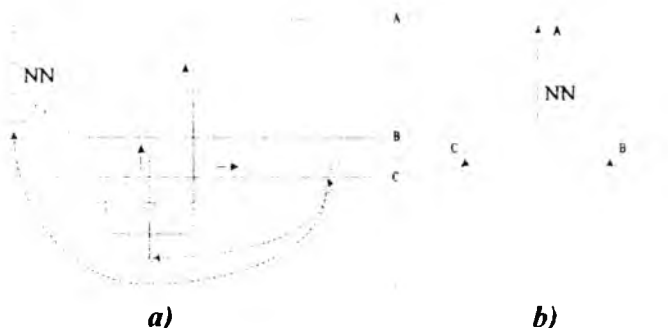
tarmoqlarida izolatsiyaning holatini doimo kuzatib turish va tezda shikastlangan fazani tuzatish yoki avtomatik ravishda uzish kerak.

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 izolatsiyalangan yoki kompensatsiyalangan bo'ladi.

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

Haqiqatan ham, normal holatda tarmoqda yuklanish toklaridan tashqari uch faza simlar orasida sig'im toklari I_C ham oqadi. Uch fazali sistema simmetriyalı 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_{QT} 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.

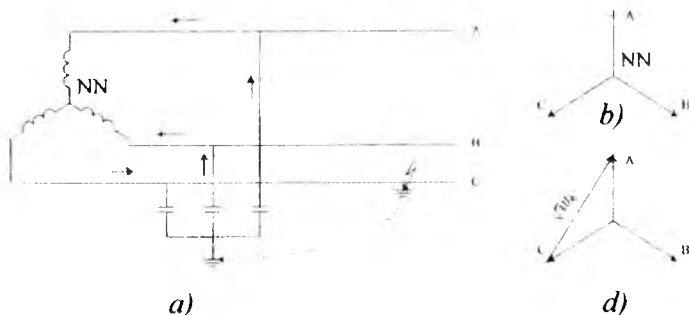
Neytrali yerdan izolatsiyalangan elektr tarmoqlari yerga ulanish toki kichik bo'lgan elektr tarmoqlarga tegishli.

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. Izolatsiyaga 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. Haqiqatan, agarda normal holatda izolatsiya 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 ($\sqrt{3} U_0$).

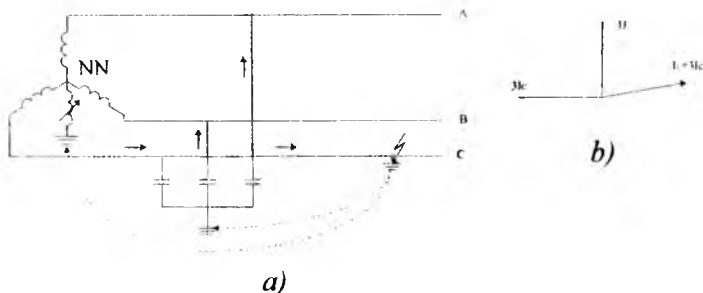


1.6.2- rasm. Neytrali yerdan izolatsiya qilingan tarmoqning sxemasi (a), normal holatdagi vektor diagrammasi (b) va bir faza yer bilan tutashgan holatdagi vektor diagrammasi (d).

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

Neytrali kompensatsiyalangan elektr tarmoqlari yerga ulanish toki kam bo'lgan elektr tarmoqlariga tegishidir. 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 tizimda neytral va yer potentsiali bir xil bo'lgani uchun g'altakka tok oqmaydi. U faqat faza sig'implari orasida oqadi (ba'zan sig'implarning bir xil emasligi tufayli $I_C \neq 0$ boladi va uncha katta bo'lmagan tok g'altak orqali oqishi mumkin).

Biror fazani yer bilan tutashuvi tufayli, neytrali yerdan izolatsiyalangan elektr tarmoqlaridagi kabi qolgar ikki shikastlanmagan fazaning yerga nisbatan kuchlanishi $\sqrt{3}$ 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 shikastlannagan 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).



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

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

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 izolatsiya 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 izolatsiyalangan 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 neytrali-ni ish tartibi qanday bo'ladi?
2. Kuchlanish 1000 V dan yuqori bo'lgan elektr tarmoqlarining neytralini ish tartibi qanday bo'ladi?
3. Neytrali izolatsiyalangan uch fazali tarmoqlarning afzalliklari qanday?

II. ELEKTR TARMOQLARI LINIYALARINING TUZILISHI

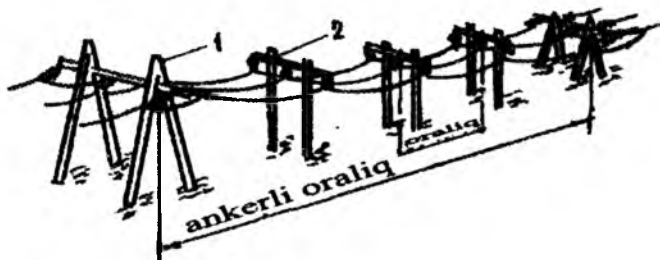
2.1. Havo liniyalari to'g'risida umumiy ma'lumotlar

Havo elektr uzatuv liniyasi (EUL) deb, ochiq havoda joylashgan izolatorlar va armaturalar yordamida tayanchlarga yoki muhandislik inshootlari kronshteynlariga mahkamlangan simlar orqali elektr energiyani uzatish qurilmalariga 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 izolatorlarni osishga mo'ljallangan tayanchlar, simlarni tayanchlardan izolatsiya qiladigan izolatorlar, simlar va troslarni izolator va tayanchlarga mahkamlaydigan hamda ularni birlashtiradigan liniya armaturalaridir.

O'zining tuzilishi jihatidan HL bir va ikki tizimli bo'lishi mumkin. Tizim deganimizda, uch fazali HL dagi uchta simni tushunamiz. HL sini tuzilishi, tayanchlarni turi, oraliq uzunligi, tashqi o'lchami, faza simlarining joylashishi va izolatorlar 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 oralig'i yoki anker uchastkasi deyiladi. Bulardan tashqari yana o'tish, shamol, og'irlik va tashqi o'lcham oraliqlari bo'ladi.

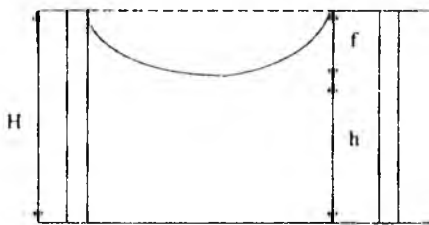
O'tish oralig'i deb shunday oraliqqa aytiladiki, uni bo'yicha HLsi muhandislik inshootlari (yo'llar, kanallar, liniyalar) bilan kesishgan bo'ladi.

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

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

Tashqi o'lcham oralig'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 xartumi (strela proveza) deb aytiladi.



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

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 HL lari 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

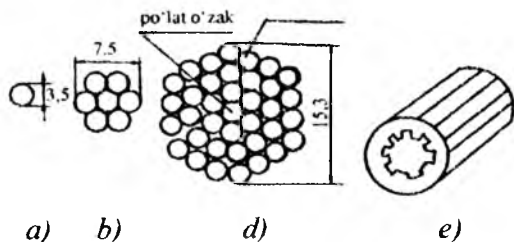
Nazorat savollari:

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

2.2. Havo liniyalarining simlari va troslar

Havo liniyalari ochiq (izolatsiya 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 d-rasm), o'rtasi teshik simlar (2.2.1 e-rasm) va spiral karkasli kengaytirilgan simlar ham tarqalgan.

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

Sim va trosdarga quyidagi talablar qo'yiladi: simlarning materiali juda yaxshi elektr o'tkazuvchanligiga ega bo'lishi kerak; sim va trosdalar yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo'lishi kerak, bu o'z navbatida tayanchlarning balandligini kamaytiradi yoki oraliq masofani uzaytiradi va qurilishiga iqtisodiy jihatdan ta'sir qiladi.⁴

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

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

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

Mis simlar yuqori elektr o'tkazuvchanligiga ega ($\gamma=53/3 \text{ m/Om mm}^2$) solishtirma qarshiligi $\rho=18/8 \text{ Om mm}^2/\text{kn}$. 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 HL larida ishlatilmaydi. Kontaktli tarmoqlarda va maxsus ishlab chiqarish tarmoqarida ularni ishlatishga ruxsat etiladi.

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

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

Alumin simlar mis simlarga nisbatan 1,6 marti kichik solishtirma o'tkazuvchanlikka va bunga mos ravishda kattaroq, solishtirma qarshilikka $\gamma_0=34.7\text{m/Om}\cdot\text{mm}^2$, $\rho 18/8 \text{ Om mm}^2/\text{km}$ egadir.

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

Alumin 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 kinyoviy korxonalar yaqinida qurilayotgan havo liniyalari uchun korroziyadan himoya qilingan alumin simlar (belgi AK-alumin, 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 alumin simlarga nisbatan ancha katta va o'zgaruvchan tok tarmoqlarida u simdan oqayotgan okning qiymatiga

bog'liq bo'ladi. Po'lat simlar uncha katta bo'lmagan quvvatlarni mahalliy tarmoqlarda 10 kVgacha bo'lgan kuchlanishda uzatish uchun, qachonki alumin simlar bilan qurilgan liniyalarni foydasi kamroq bo'lsa qo'llaniladi. Po'lat simlar va trosdarning asosiy kamchiligi korroziyaga bardosh berolmasligidir, bundan qutilish uchun ular rux bilan qoplanadi.

Kesim yuzasi jihatidan bir-biriga teng po'lat-alumin va alumin simlarning qarshiligi bir xildir, chunki elektr hisoblarda po'lat alumin simlarni po'lat o'zagining o'tkazuvchanligi simni alumin 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-alumin simlar ishlab chiqariladi: AS (aluminning po'latga nisbati 6,5-6,0:1), ASU (mustahkamligi kuchaytirilgan aluminning po'latga nisbati 4,0-4,5:1 oralig'ida), ASO (yengillashtirilgan, alumin va po'lat kesim yuzalarining nisbati 8:1 ga yaqin), ASK (korroziyaga chidamli, mis simlarning o'rniga ishlatiladi) va diametri oshirilgan po'lat alumin simlar.

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

Trosdagi HLlarini atmosferadagi o'ta yuqori kuchlanishlardan hamda chaqmoq urishidan saqlash uchun va yana aloqa liniyalarga qilinadigan ta'sirni kamaytirish uchun mo'ljallangan. Trosdagi ta'yanchlarning eng yuqori nuqtasiga osiladi va natijada chaqmoqni elektrsizlanishi liniyada bo'lmay, balki trosda bo'ladi va razryad to'ki ta'yanchlar orqali yerga bevosita ulanganligi tufayli yerga o'tadi.

110 kV va undan kichik kuchlanishli HL larida trosdagi 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 HL larida trosdagi liniyaning butun uzunligi bo'yicha tortiladi.

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

Nazorat savollari:

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

2.3. Havo liniyalarining tayanchlari

Tayanchlar simlar va trosalarni 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, ya'ni 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 HL larini 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. him atrofidagi muzning og'irligini va shu bilan liniyaning yo'nalishiga perpendikular 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 trosning bir tomonli tortilish kuchlarini ko'zda tutgan holda hisoblanadi.

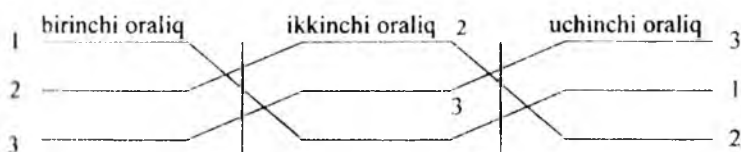
O'tish tayanchlari har xil muhandislik inshootlari, tabiiy to'siqlardan (ko'priklar, ko'llar, daryolar, tog'lar va b.q.) va boshqa HL laridan o'tishni ta'minlash uchun xizmat qiladi. O'tish tayanchlari yoki ular bilan qo'shni tayanchlar ankerli oxirli tayanch bo'lishi kerak.

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

Transpozitsiya 100 km dan uzun bo'lgan 110 kV va undan yuqori kuchlanishli liniyalarda induktivlik hamda 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.

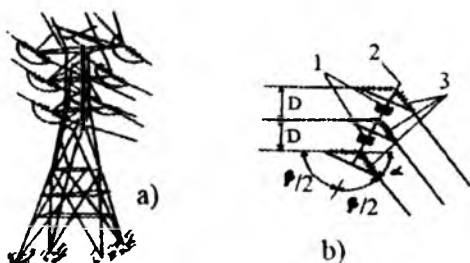
Tarmoqlaydigan tayanchlar tarmoqlangan simlarni asosiy liniyaga ulash va ajratish uchun xizmat qiladi.

Tayanchlar-liniyalarning osilgan tizimlariga (bir sistema-liniyaning uch fazasi) qarab **bir tizimli** va **ikki tizimli** 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 HL larni 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.

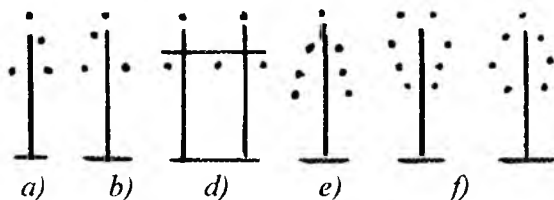


2.3.2-rasm. Burchakli tayanchlar-a, EULsi burilish burchagi-b.
1- tayanch oyog'i: 2- traversa: 3-halqa.

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

Vazifasiga ko'ra tayanchlar burchakli, oxirli, o'tishli, transpozitsiyali va tarmoqlaydigan tayanchlarga bo'linadi.⁵

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



2.3.3- rasm. Bir va ikki tizimli HLlarning simlar va troslarni tayanchlarda joylashishi.

⁵ Steven W. Blume. Electric Power System Basics. USA. Wiley. Interscience. A John Wiley & Sons, INC. Publication, 2007. 260 p

Bir tizimli tayanchlarda simlar uchburchakning choʻqqisida yoki gorizontal tekislikda (2.3.3 a-d-rasm), ikki tizimlida esa toʻgʻri va teskari "archa" koʻrinishida va yoki "bochka" (2.2.3 e-f-rasm) koʻrinishida joylashadi. Toʻgʻri "archa" koʻrinishidagi tayanchlarda jihozlash qiyin boʻlganligi uchun, juda kam qoʻllaniladi. 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. Izolatorlar va liniyali armaturalar

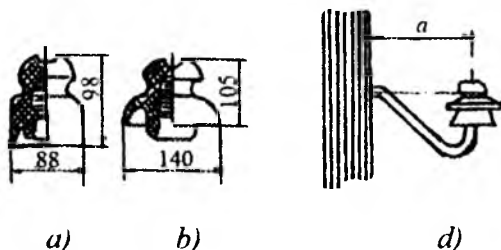
Izolatorlar simlarni tayanchlarga mahkamlash uchun va kuchlanish ostidagi simlar bilan tayanchlar orasida kerakli izolatsiya oraligʻi hosil qilish uchun ishlatiladi. Liniya izolatorlari chinni va shishadan tayyorlanadi. Har bir izolator xususiy izolatsiya elementidan, sim va troslarni izolatorga, izolatorni esa tayanchga mahkamlaydigan metall armaturadan tashkil topgan.

Shishali izolatorlar chinniga nisbatan yuqori mexanik mustahkamlikka, kichik ogʻirlikka ega va ishlatishda, koʻz bilan nazorat qilib nuqsonlarini topishda osondir. Hozirgi vaqtda oʻta yuqori kuchlanishli HL larida izolatsiya qiladigan elementiga faqat toblangan shishadan tayyorlangan izolatorlar oʻrnatiladi.

Konstruktiv tuzilishiga qarab, liniya izolatorlari shtirli, osma va sterjen shaklida boʻladi.

Shtirli izolatorlar kuchlanishi 35 kV gacha boʻlgan HL larida qoʻllanilib, bunda 6-10 kV kuchlanishga ular bir butun holatida yakka izolatsiya materialidan tayyorlanadi (2.4.1 a-rasm), 20-35 kV kuchlanishga qoʻllaniladiganlari esa ikkita, sement bilan birlash-

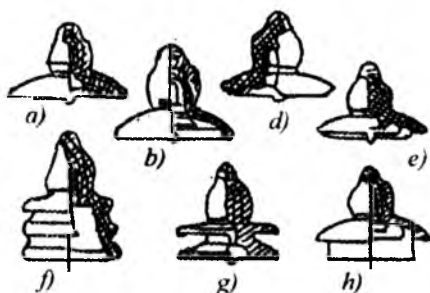
tirilgan qismdan iborat bo'lib tutashgan joyi namga chidamli lak bilan qoplangan bo'ladi (2.4.1 b-rasm). Tayanchlarga izolator shtir yordamida mahkamlanadi (2.4.1 d- rasm).



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

Oasma izolatorlar shtirli izolatorlarga nisbatan ancha yuksak mexanik xususiyatlarga egadir. Ular 35 kV va undan yuqori kuchlanishli HL larida qo'llaniladi. PF (osmali, chinni) yoki PS (osmali, shisha) izolator xillari toza atmosfera hollarida qo'llaniladi. PFG, PSG xillari ifloslanish darajasi yuqori bo'lgan rayonlardagi HL larida o'rnatiladi.

Oasma izolatorlar (2.4.2-rasm) tutib turuvchiga (simlarni oraliq tayanchlariga mahkamlash uchun) va tortib turuvchi (simlarni ankerli tayanchlarga mahkamlash uchun) sistemalariga yig'iladi.



2.4.2-rasm. Oasma izolatorlar. a,b - shishadan tayyorlangan (PS); d,e - chinnidan tayyorlangan (PF); f,g - ifloslangan hududlar uchun chinnidan tayyorlangan, h - xuddi shu maqsad uchun faqat shishadan tayyorlangan.

Tizimlardagi izolatorlarning soni liniyaning kuchlanishiga, atmosferaning ifloslanish darajasiga, tayanchning materialiga va qo'llanilayotgan izolatorning turiga bog'liq. Tortib turuvchi tizimlar 110 kV kuchlanishgacha bo'lgan HL larida qo'llanilganida, ancha yengil sharoitda ishlaydigan osma tizmalariga nisbatan bitta ortiqcha izolatorli bo'ladi.

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

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

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

Nazorat savollari:

1. Havo liniyalarida izolatorlarni vazifasi nimadan iborat?
2. O'zining vazifasiga ko'ra izolatorlar necha turga bo'linadi?
3. Izolatorlar 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 izolatsiya 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 (alumin, qo'rg'oshin va b.q.) bilan farq qiladi. Kabelning asosiy elementlari – tok o'tkazuvchi sim tomiri (1), tomir izolatsiyasi (2), o'ralgan jut tolasi (3), belbog' (poyasnaya) izolatsiyasi (4), qobiq (5), to'qima qatlami (6), zirh (7), bitumli qoplama (8) (2.5.1-rasm).



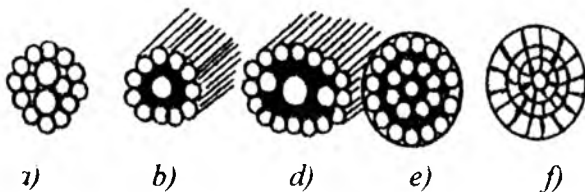
2.5.1-rasm. Kabel ko'ndalang kesim yuzasining ko'rinishi.

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

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

Bir sim tomirli kabellar o'zgarmas tok kabel liniyalarida (KL) va 110 kV va undan yuqori kuchlanishli uch fazali o'zgaruvchan tok KL larida, ikki sim 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 izolatsiya materiallari uchun rezina, kabel qog'ozi va plastmassalar ishlatiladi.

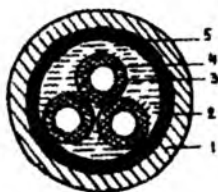


2.5.2-rasm. Kabelning tok o'tkazuvchi sim tomirlarining har xil ko'rinishi.

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 izolatsiyasi, 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 inshootlarga aytiladi.

Kabel inshootlariga kabel tunellari, kanallar, kollektorlar, shaxtalar, binoni maxsus qavatlar, blok, 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'liga 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 TIZIMI XARAKTERISTIKASI VA ELEMENTLARI

3.1. Iste'molchilar yuklamasi, yuklamalar grafigi

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

Hisoblar uchun dastlabki asosiy ma'lumotlar, bu iste'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 mamlatdagi hamma elektr stansiyalarni quvvatiga teng quvvatni iste'mol qiladi.

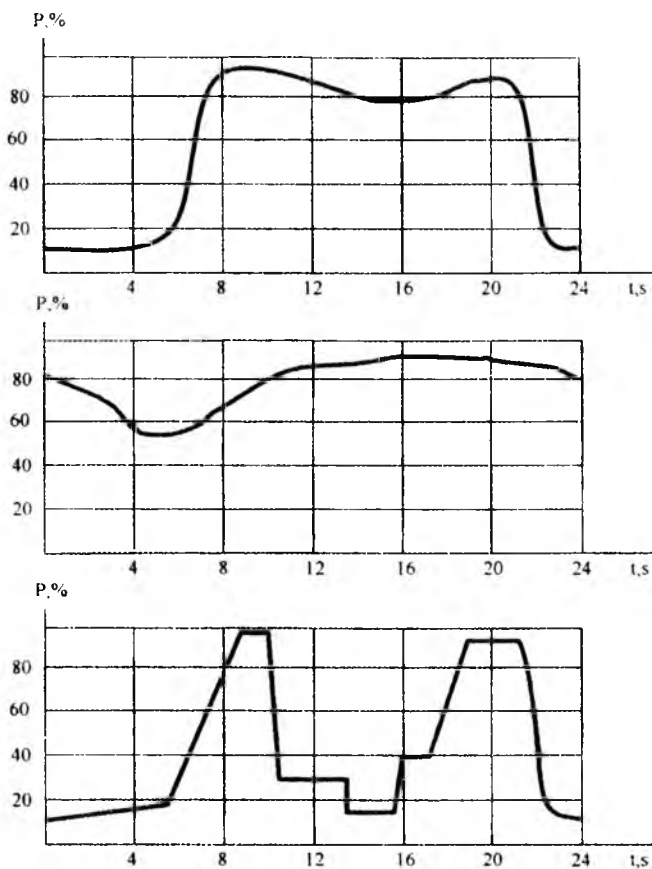
Elektr energiyaning iste'mol qilish tartibiga energetika uskunalari; ES, EUL va transformator podstansiyalarini ishlash tartibi bog'liqdir.

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

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

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

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



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

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

Yuklamalar grafiklari asosida elektr uskunolari 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 faol quvvatni aniqlashga kerak bo'ladi.

Elektr tarmoqlari yuklamalarini loyihalashtirishda ayrim hamda bir toifa elektr qabul qiluvchilarni andazali grafiklari asos qilib olinadi. Andazali grafiklar ko'p sonli bir xil ko'rinishli elektr iste'molchilari uchun o'lchov va o'zi yozadigan asboblar 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 tizimlarini 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 tarmoqlarining ish holatlarini qulaylashtirish uchun juda ham aniq hisoblar talab qilinadi.

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

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

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

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

Parametrlarni tanlashda avtomatikani ko'zda tutmoq kerak. Ko'pincha, agarda zarur texnik parametrlarga yetishishga avtomatik vositalar imkon bersa, bu birlamchi uskunalarining parametrlarini (simlarni ko'ndalang kesim yuzasi, quvvat va boshqaar) 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 rostlasa uskunasi qo'llanilishi mumkin. ikkinchisida tez harakatlanuvchi himoya.

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

Dinamik programmashtirish yordamida eng qulay yechimni topish mumkin.

Holatlarni hisoblash amaliyotda qo'llaniladi:

1. Bevosita hisoblash usuli, qachonki natija bir tadbirda topiladi, masalan, tenglamalar sistemasini to'g'ridan-to'g'ri yechish. Bu usul sxemasi ancha soddta 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 tizimlarining 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 tizimda 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 $R(Ohm)$, reaktiv qarshilik $X(Ohm)$, aktiv o'tkazuvchanlik $G(Sm)$, reaktiv o'tkazuvchanlik $V(Sm)$ bilan ifodalanadi. Rangli metallardan tayyorlangan simlar uchun R , X , G , B ni tarkibini ko'ramiz.

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

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

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

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

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

Rangli metallardan ishlangan elektr tarmoqlari uchun sanoat chastotasida va kesim yuzasi 500 mm^2 dan kichik bo'lgan simlarda

bu farq katta emas. $F > 500 \text{ mm}^2$ bo'lgan tarmoqlar uchun bu farq 5% ga teng bo'lib, sezilarli qiymatni tashkil etadi. Ammo katta kesimli simlar po'lat-aluminiydan 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'rila-yotgan simdagi tokka nisbatan teskari sim bo'lib, unda ko'rila-yotgan 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, uning magnit singdiruvchanligi va o'zgaruvchan tok chastotasi ta'sir qiladi. 1 km uzunlikdagi liniyaning induktiv qarshiligi, Om/km da

$$x_0 = 2\pi Lf = 0,144 \ell g\left(\frac{D_{o,r}}{r}\right) + 12500 \mu \quad (3.3.3)$$

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

Rangli metallardan tayyorlangan (alumin 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

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

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

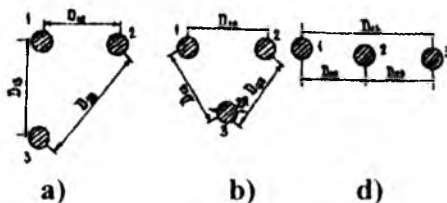
$$x_o = 0,144 \ell g \frac{D_{or}}{r} + 0,016 \quad (3.3.5)$$

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

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

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

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



3.3.1-rasm. Simlarni HL tayanchlarida uchburchaklarning cho'qqilarida (a,b) va gorizontaal aylanishi (d).

Agar simlar gorizontaal joylashsa (3.3.1. d - rasm), unda

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

EUL induktiv qarshiligini ikki qarshilikning yig'indisi, ya'ni x_o^1 - tashqi qarshilikning va x_o^{11} -ichki qarshilikning yig'indisi deb tasavvur qilish mumkin:

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

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

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

$$x_0' = 0.144 \lg \frac{D_{o'r}}{r} \quad (3.3.8)$$

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

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

Rangli metallardan tayyorlangan simlar uchun $x_0'' = 0,016 \frac{\text{Om}}{\text{km}}$, bu x_0' ga nisbatan ancha kichik. Shuning uchun x_0'' ni ko'pincha hisobga olishmaydi. EUL ni induktiv qarshiligini 0,36-0,44 Om/km ga (3.3.2 rasm) teng qilib olinadi.

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

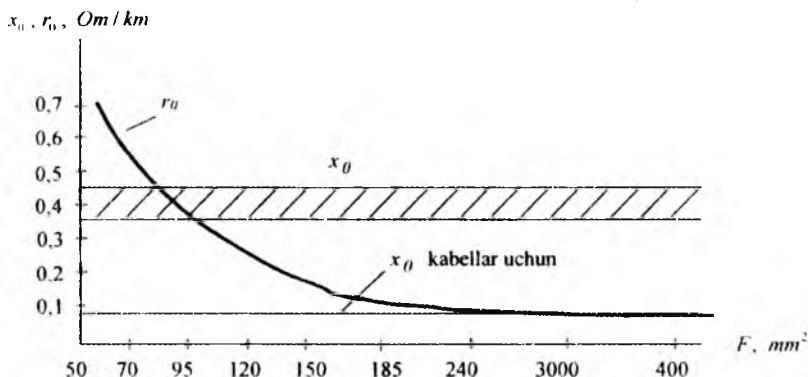
$$R_{kab} \gg X_{kab}$$

(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 nuqtayi nazardan foydali emas.

$D_{o'r}$, r ni qiymati logarifm belgisi ostiga kiradi, x_0'' esa o'zgar-masdir. Demak, rangli metallardan tayyorlangan simlar uchun qarshilik x_0 kesim yuzasi F ni o'zgarishiga nisbatan kam o'zgaradi (3.3.2-rasm).

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

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



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

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

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

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

$$a_{\text{or}} = \sqrt[n]{\prod_i a_i} \quad (3.3.11)$$

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 birlashtiriladi.

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

Masalan, agar 600 mm^2 faza simi $16,5 \text{ mm}$ li tashqi radiusga ega bo'lsa, uning radiusi $12,2 \text{ mm}$, yuzasi 300 mm^2 , simlar orasidagi o'rtacha masofa $a_{o,r}=400 \text{ mm}$ 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 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, uchta -28% , to'rtta -32% ga va hokazo.

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

$$x_\eta = 0,144 \ell g \frac{D_{o,r}}{r_{ekv}} + 0,016 / n \quad (3.3.12)$$

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

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 dielektriklarda aktiv quvvat isrofi tufayli yuzaga keladi. Havo liniyalaridagi bu isrof simlarning tojlanishi va izolatorlarning kamchiliklari bilan bog'langan. Lekin, havosi eng ifloslangan joylarda ham izolatorlar 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 energiya isrofi katta miqdorga oshadi. Shunday qilib 330-750 kV kuchlanishli havo liniyalarida tojlanishga sarf bo'lgan elektr energiya isrofi yaxshi havoli kundagi isrofga nisbatan qorda 14% gacha, simlar yaxlaganda esa, 107% gacha ko'payadi. Tojlanish aktiv quvvat va energiya isrofidan tashqari simlarda zanglashni yuzaga keltiradi, aloqa liniyalariga xalaqit beradi, radioni tiniq eshitishga to'sqinlik qiladi. Shuning uchun normal holatda EUL tojlanmasligi uchun ayrim tadbirlar ko'riladi, bu chora-tadbirlar 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'yicha 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 silliqlik koeffitsiyenti, silliq silindr shaklidagi simlar uchun $m=1$, ko'p tolali simlar uchun $m=0,82-0,92$ (katta qiymat simni kesim yuzasiga to'g'ri keladi).

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

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

$$E = 0.355U_{ish} / (r \lg(D_{or} / r)) \quad (3.3.16)$$

Fazalari bo'lingan EUL uchun bunday ifodadan topiladi.

$$E = 0,355U_{ish} / (nr \lg(D_{or} / r_{ekv})) \quad (3.3.17)$$

Bunda logarifm oldidagi r santimetrda qo'yiladi. Simlar gorizont tal 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 nuqtayi nazardan simlarning kesim yuzasi boshqa hisoblash natijalarga ko'ra kattaroq qilib olinadi. Masalan, 110kV kuchlanish uchun tojlanishda bo'lgan energiya isrofi sharti bo'yicha eng kichik yuza 70mm², 220 kV uchun 240 mm² va h.k.

Tojlanishda bo'lgan energiya isrofi EUL ni haqiqiy 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 ΔP_{toj} , kVt/km	10.4	11.36	13.75	15.7	18
---	------	-------	-------	------	----

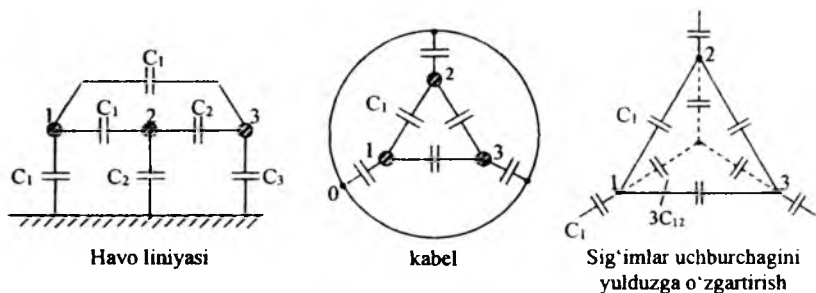
Keltirilgan qiymatlardan ko'rinadiki, kuchlanish 5% ga oshsa, tojlanishga bo'lgan energiya isrofi taxminan 31% ga oshadi. Kuchlanish 5% ga kamaysa, energiya isrofi 750 kV nominal kuchlanishga nisbatan 24% ga kamayadi. Shunday qilib, yomon ob-havoda yuqori kuchlanishli EUL larida tojlanishga bo'lgan energiya isrofini kamaytirish uchun kuchlanish darajasini nominal kuchlanishga nisbatan birmuncha kamaytirish maqsadga muvofiqdir. Tojlanishda bo'lgan quvvat isrofi ΔP_{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 liniyalarining 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 liniyalar uchun, masalan, uch fazali kabellar uchun, transpozitsiyani hisobga olgan holda havo liniyalari uchun haqlidir. Ish sig'imi ekvivalent yulduz yelkasining sig'imi kabi, sig'im uchburchagini yulduzga o'zgartirilganidan keyin aniqlanadi.

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

Buni rasmlardagi belgilar orqali tushuntirish mumkin.

Ish sig'imi simlarning diametriga, ularning o'zaro joylashuviga, ular orasidagi masofaga, muhitning dielektrik o'tkazuvchanligiga bog'liq. Qo'shni liniyaning va momaqaldiraqqan himoya qiluvchi

sim ta'sirini hisobga olinmasa, injenerlik hisoblarida yo'l qo'yiladigan 5% lik mumkin bo'lgan noaniqlik bilan uch fazali tok havo liniyalarining ish sig'imi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi.

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

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

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

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

Bunda ξ – yer va trosning ta'sirini hisobga oladigan koeffitsiyent ($\xi = 1,05$ – bir tizimli 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 izolatsiyaning 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.

$$B_0 = \omega C_0, \quad \text{Cm} / \text{km} \quad (3.3.22)$$

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

50 Hz lik o'zgaruvchan tokli faza simlari bo'linmagan havo liniyalari uchun b_0 quyidagicha topiladi.

$$b_0 = 7,58 \cdot 10^{-6} / \lg(D_{0,r} / r) \quad (3.3.23)$$

faza simlari bo'lingan HL uchun.

$$B_0 = 7,58 \xi \cdot 10^{-6} / \lg(D_{0,r} / r_{ekv}) \quad (3.3.24)$$

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

Liniyaning kuchlanishi kV	110-220	330-500	750	1150
$b_0, \text{Sm/km}$	2.7-10-6	3.7-10-6	2-10-6	4.6-10-6

ℓ – km uzunlikdagi EUL sig'im o'tkazuvchanligi

$$B_s = b_0 \cdot \ell, \quad \text{Cm} \quad (3.3.25)$$

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

Zaryad toki

$$I_z = B_r \cdot U_F \quad (3.3.26)$$

Bunda U_F – faza kuchlanishi

Zaryad quvvati

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

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 tufayli rangli metallar uchun qo'llanilgandek, Om qarshiligini o'zgaruvchan tok aktiv qarshiligiga tenglashtirish mumkin emas, ya'ni

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

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

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

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

EUL ning to'liq qarshiligi [Om]

$$Z_l = R + jX = Z_l \exp(j\phi_{*l}) \quad (3.3.28)$$

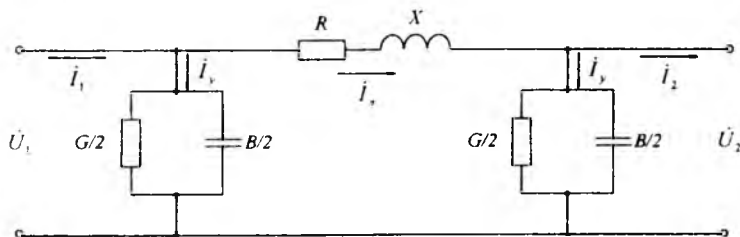
Bunda

$$Z_l = \sqrt{R^2 + X^2}; \phi_{*l} = \arctg(X / R) \quad (3.3.29)$$

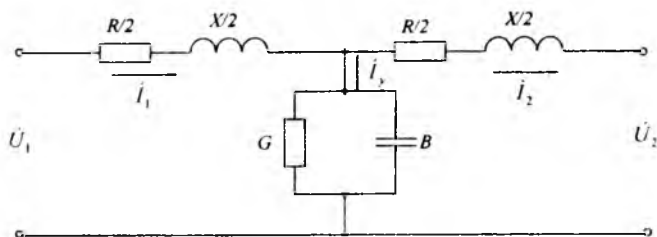
EUL ning to'liq o'tkazuvchanligi [Om]

$$U_l = G - jB = Y \Delta \exp(j\psi_{*u}) \quad (3.3.30)$$

$$U_l = \sqrt{G^2 + B^2}; \psi_{*u} = \arctg(B / G) \quad (3.3.31)$$



a) «Π» ko'rinishli



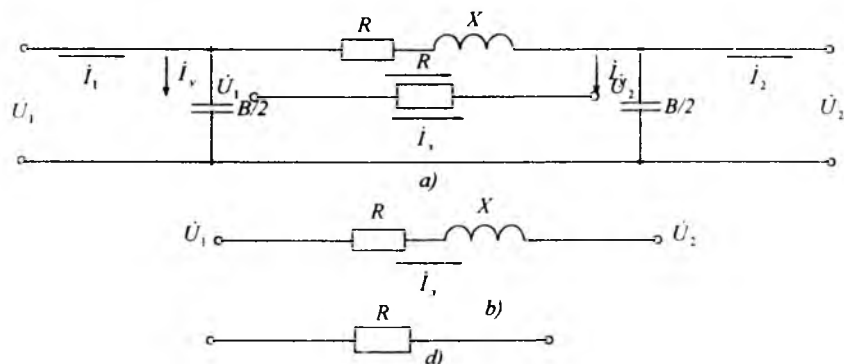
b) "T"-ko'rinishli

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

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'tkazuvchanlik 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.



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

O'zgarmas tokli EUL almashtiruv sxemasini $X=0$ va $V=0$ holtdagi 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 gorizontall, faza simlari orasidagi masofa - 4 m, liniyada transpozitsiya amalga oshirilgan.

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

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

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 ($2r_s=13,5$ mm) aniqlaymiz. Unda:

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

Liniyaning induktiv qarshiligi:

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

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

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

Simlarning gorizontal joylashishi o'rtadagi simning kritik kuchlanishi:

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

Chetdagi simlarda:

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

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

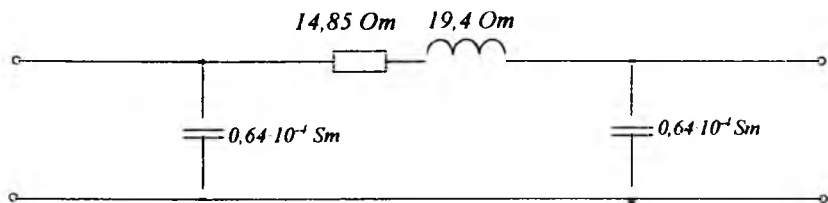
Liniyaning eng katta faza kuchlanishi kritik kuchlanishdan kichik, shuning uchun liniyaning butun uzunligi davomida tojlanish bo'lmaydi. Hisoblarsiz bunday xulosaga kelish mumkin, agar 1-ilovadagi 3-jadvaldan foydalansak, unda tojlanishdagi quvvat isrofi bo'lmaydigan simning eng kichik diametri ko'rsatilgan. 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 gorizontall 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:

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

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

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

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

$\frac{3,36 \cdot 10^{-6}}{2,63 \cdot 10^{-6}} 100\% = 127,7\%$, ya'ni 27,7% 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-havoda $b=1$, $m_s=1$ va kritik faza kuchlanishi.

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

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 ($d_s=17,5\text{mm}$) 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:

$$b_0 = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{D_{or}}{r_s}} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{7000}{8,75}} = 2,61 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$$

Liniya generatsiya qiladigan reaktiv quvvat:

$$Q_c = U^2 b_0 \cdot l \cdot 10^3 = 220^2 \cdot 2,61 \cdot 10^{-6} \cdot 130 \cdot 10^3 = 16422 \text{ kVAr} = 16,4 \text{ mVAr}$$

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'rta 7 m geometrik masofada joylashgan. Elektr uzatish liniyasining parametrlarini, yaxshi va yomon ob-havoda tojlanishdagi quvvat isrofini hamda liniya generatsiya qiladigan reaktiv quvvatni aniqlang.

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

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

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

5-misol. ACK-95 simdan tayyorlangan 110 kV li liniya qarshiligi $z_1=15,51 \text{ Om}$. Agar $D_{or}=5\text{m}$ bo'lsa, liniya uzunligini aniqlang.

6-misol. Uzunligi 15 km bo'lgan AC-70 simdan tayyorlangan ikki tizimli havo liniyasining almashtirish sxemasini tuzing va parametrlarini aniqlang. Liniya simlari orasidagi masofa 1 m, liniya

parallel ishlaydi. Bir tayanchda joylashgan simlarning o'zaro ta'sirini hisobga olmang.

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

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

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

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

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

Transformator va avtotransformatorlarda reaktiv quvvat isrofi ayniqsa kattadir. Ular elektr energiyani uzatishda sezilarli darajada kuchlanish yo'qotilishini yuzaga keltiradi va buni albatta hisobga olish kerak bo'ladi. Transformatorlar orqali elektr energiyani uzatish hisoblari qarshiliklarni, kuchlanishni, liniya va transformatorlarning toklarini muvofiqlashtirilgan bir kuchlanishga keltirib amalga oshiriladi. Bunda quvvat o'zgarmas bo'lib, magnit aloqalar shartli ravishda elektr aloqalar bilan almashtiriladi (quvvat keltirilmaydi). Umuman olganda, parametrlar qaysi kuchlanishga keltirilmasin yuqori kuchlanish (U_{yu}), o'rta kuchlanish (U_o) yoki trans-

formatorning past kuchlanish (U_p) chulg'amlarigami, uning farqi yo'q. Ko'pincha, 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 bo'ladi:

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

Shunga muvofiq, qarshilik va toklarning keltirilishi

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

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

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

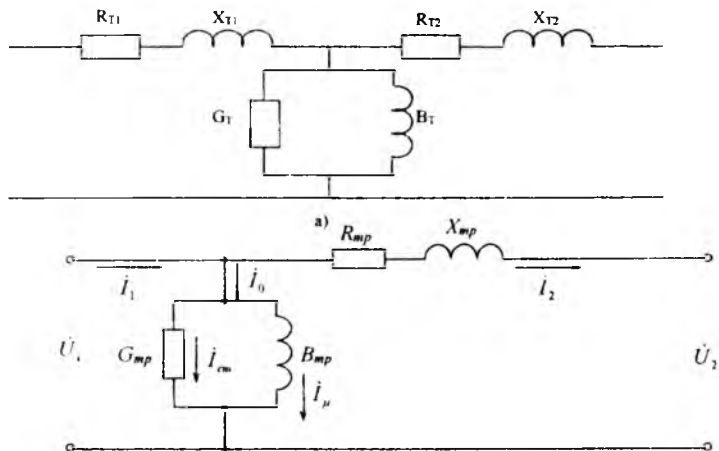
Salt yurish toki $I_{syu}\%$ deb, nominal kuchlanishga ulangan biror chulg'am toki (salt yurish tajribasi), boshqa chulg'amlar ochiq qolgandagi holatida aytiladi. Salt yurish toki transformatorning ishlashi uchun zarur bo'lgan magnitlash quvvatini yuzaga keltiradi.

Biror juft chulg'amning qisqa tutashuv kuchlanishi $U_{q,t} / \%$ deb, ularning biri qisqa tutashtirilib, ikkinchisiga tokning nominal qiymatini olish uchun berilgan kuchlanishga aytiladi (qisqa tutashuv tajribasi). Bu kuchlanish nominal tok oqayotgan paytda transformatorning aktiv va reaktiv qarshiliklaridagi kuchlanishning pasayishiga teng.

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

Transformatorlar uchun ayniqsa to'liq «T» ko'rinishli almashtiruv sxemasi o'rniga «G» ko'rinishligini qo'llash (3.4.1b-rasm)

hisoblarni soddalashtiradi. Bunda salt yurish tokini transformatorning birlamchi chulg'am tokining qiymati va fazasiga ta'siri juda kichik bo'lgani tufayli transformatoridagi kuchlanish pasayishini aniqlashda paydo bo'lgan noaniqlik sezilarli darajada emas (3.4.1-rasm) va uni hisobga olmasa ham bo'ladi. O'tkazuvchanlik ko'pincha birlamchi tomonga, ya'ni kuchaytiruvchi transformatorlar uchun past kuchlanish (PK) tomonidan, pasaytiruvchi transformatorlar uchun yuqori kuchlanishli (YuK) chulg'am tomonidan ulanadi.



3.4.1-rasm. Ikki chulg'umli transformatorning almashtiruv sxemasi.

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 Om da olamiz:

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

Transformator chulg'ami asosiy shoxobchasidan ishlash uchun boshqa bir shoxobchasiga o'tkazilsa, chulg'amning aktiv qarshiligi juda kam miqdorda o'zgaradi. Shuning uchun uni o'zgaras deb faraz qilish mumkin.⁶

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

$$\begin{aligned} u_a &= 100\sqrt{3}R_t I_n / U_n = 100 \Delta P_{QT} / S_n \\ u_p &= 100\sqrt{3}X_t I_n / U_n \end{aligned} \quad (3.4.4)$$

Qisqa tutashuv uchburchagidan

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

(3.4.4) ga ko'ra transformatorning induktiv qarshiligi

$$X_t = \frac{u_p - U_n}{100 \cdot \sqrt{3} I_n} = \frac{u_p - U_n}{100 \cdot S_n} \quad (3.4.5)$$

Hozirgi elektr tarmoqlarida qo'llanilayotgan katta quvvatli transformatorlarda u_a ni qiymati u_p ga nisbatan juda kichik, shu sababli hisobga olinmaydi va $u_k = u_p$ qabul qilinadi. Unda (3.4.5) quyidagi ko'rinishni 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_k -kV, X_{tr} – Om da o'lchanadi.

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

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

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

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

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

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

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.

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

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

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

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:

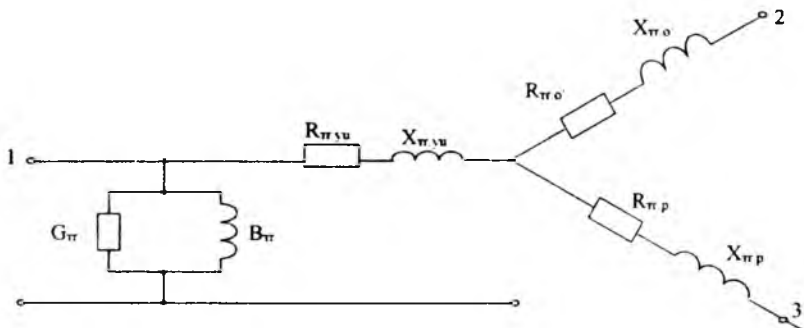
$$B_T = \frac{I_{s,yu} \% \cdot S_n}{U_n^2 \cdot 10} \quad (3.4.11)$$

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

$$B_r = \frac{I_{s,ju} \% \cdot S_n}{U_n^2 \cdot 10^3}.$$

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

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



3.4.2-rasm. Uch chulg'amli transformatorning almashtiruv sxemasi

Uch chulg'amli transformatorlarning almashtiruv sxemasi uch nurlu 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'amlarining 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.

$$R_I = R_{TU} = R_{TU}^I = R_{TP}^I \frac{R_{Tuum}}{2}, \quad (3.4.12)$$

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 $\Delta R_{kl\text{ mak}}$ 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):

$$\Delta P_{KF2} = I^2 R_{TU} + I^2 R_{TU}^I = I^2 R_{Tu} + I^2 R_{TP}^I = 2I^2 R_T, \quad (3.4.13)$$

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

$$\Delta P_{K/3} = I R_{Tu} (0,5I)^2 R_T^I + (0,5I)^2 R_{TU}^I = 1,5I^2 R_T,$$

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

$$\Delta P_{KF2} = \Delta P_{KF2\text{ maks}}$$

Unda (3.4.13) dan

$$R_{TU} = R_{TO}^I = R_{TP}^I = \frac{R_{Tuum}}{2} = \frac{\Delta P_{km} \cdot U_n^2}{2S_n^2 \cdot 10^3}, \quad (3.4.14)$$

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

$$\begin{aligned} u_{K(Yu-O')} &= u_{KYu} - u_{KO'} \\ u_{K(Yu-P)} &= u_{KYu} - u_{KP} \end{aligned} \quad (3.4.15)$$

$$u_{K(O'-P)} = u_{KO'} - u_{KP}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} X_{T\gamma u} &= u_{K\gamma u} \cdot u_n^2 / (100Sn) \infty \\ X_{TU} &= u_{KU} \cdot u_n^2 / (100Sn) \\ X_{TP} &= u_{KP} \cdot u_n^2 / (100Sn) \end{aligned} \quad (3.4.17)$$

Bu qarshiliklar hisoblashni qulaylashtiradigan shartli qiymatini ifodalaydi. Agarda boshqa ikki chulg'am orasida joylashgan biron chulg'am nurini olsak, unda bu nurning qarshiligi qo'shni chulg'am-larning 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.

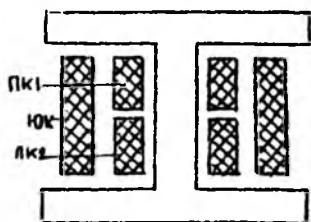
Nazorat savollari:

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 kuchlanishiga qanday bog'langan?
5. Uch chulg'amli transformatorlarni o'tkazuvchanliklari ikki chulg'amli transformatorlardan farq qiladimi?

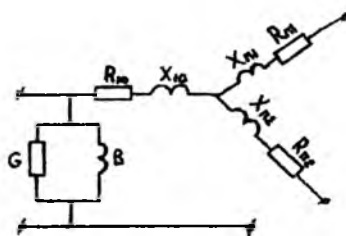
6. Ikki chulg'amli transformatorlarga qaraganda uch chulg'amli transformatorlar qarshiligini hisoblashni o'ziga xos xususiyati nimadan iborat?

3.5. Chulg'amlari bo'lingan transformatorlar

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



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



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

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

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

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

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

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

(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 shinasi tomonidagi qisqa tutashuv quvvati deyarli ikki marta kamayadi, bu ko'p hollarda tokni chegaralaydigan reaktorlarsiz ishlashga imkon beradi.

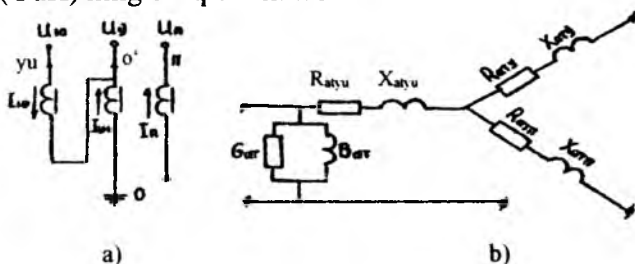
Hozirgi paytda uch fazali chulg'amlari bo'lingan ikki chulg'amli transformatorlar 110 va 220 kV kuchlanishlari uchun qabul qiluvchi podstantsiyalarning asosiy transformatorlari hisoblanadi.

Nazorat savollari:

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

3.6. Avtotransformatorlarning parametrlari

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



3.6.1-rasm

a-avtotransformator chulg'amlarining ulanishi,
b-avtotransformatorning almashtirish sxemasi.

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

$$I_{\text{umumiy}} = I_o - I_{yu} \quad (3.6.1)$$

Hamma 220, 330, 500 kV li avtotransformatorlarda o'rta kuchlanish chulg'ami O'K yuqori kuchlanish chulg'ami YuK va past kuchlanish chulg'ami PK orasida joylashgan holda bo'lib, yuqori va o'rta kuchlanish chulg'amlarining uchta fazasi O nuqtasida yulduzga yig'ilgan bo'lib, bu ikkala kuchlanish uchun umumiy yerga bevosita ulangan nol nuqtani tashkil etadi. Past kuchlanish chulg'ami boshqa chulg'amlar bilan magnit aloqaga ega. ⁷

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

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

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:

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

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

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

unda (3.6.2) va (3.6.3) dan

$$\frac{S_{and}}{S_n} = \frac{\sqrt{3} I_{yw} (U_{yw} - U_u)}{\sqrt{3} U_{yw} \cdot I_{yw}} = \frac{U_{yw} - U_u}{U_{yw}} \quad (3.6.4)$$

ya'ni

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

Bunda $K = U_{yw}/U_u$ transformatsiya koeffitsiyentidir.

Shunday qilib, avtotransformator uzatish mumkin bo'lgan andazali quvvat nominal quvvatdan kamdir. Bunday chulg'amli 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 chulg'amli transformatorlarda bo'lganidek, butun transformator uchun berilmay, balki har bir juft chulg'am uchun beriladi, ya'ni

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

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

$$\begin{aligned}\Delta P_{kym} &= 0,5(\Delta P_{k(yw-o)} + \Delta P_{k(yw-p)} - \Delta P_{k(o-p)}) \\ \Delta P_{ku} &= 0,5(\Delta P_{k(yw-o)} + \Delta P_{k(o-p)} - \Delta P_{k(yw-p)}) \\ \Delta P_{kp} &= 0,5(\Delta P_{k(yw-p)} + \Delta P_{k(o-p)} - \Delta P_{k(yw-o)})\end{aligned}\quad (3.6.6)$$

unda

$$\begin{aligned}R_{aym} &= \Delta P_{kym} \cdot U_n^2 / S_n^2 \cdot 10^3 \\ R_{au} &= \Delta P_{ku} \cdot U_n^2 / S_n^2 \cdot 10^3 \\ R_{ap} &= \Delta P_{kp} \cdot U_n^2 / S_n^2 \cdot 10^3\end{aligned}\quad (3.6.7)$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned}\Delta P_{k(yw-o)}^I &= \Delta P_{k(yw-o)} \\ \Delta P_{k(yw-p)}^I &= \Delta P_{k(yw-p)} \cdot (S_n / S_{and})^2\end{aligned}\quad (3.6.8)$$

$$\Delta P_{k(u-p)}^I = \Delta P_{k(u-p)} \cdot (S_n / S_{and})^2$$

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.

$$\begin{aligned}
 U_{k(yu-o')}^1 &= U_{k(yu-o)} \\
 U_{k(yu-p)}^1 &= U_{k(yu-p)} (S_n / S_{and}) \\
 U_{k(o'-p)}^1 &= U_{k(u-p)} (S_n / S_{and})
 \end{aligned}
 \tag{3.6.9}$$

Nazorat savollari:

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

3.6.1. Mavzuga doir misollar

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

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

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

Chulg'amlarning aktiv qarshiligi:

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

Chulg'amlarning induktiv qarshiligi:

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

Transformatorning aktiv o'tkazuvchanligi:

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

Transformatorning reaktiv o'tkazuvchanligi:

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

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

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

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

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

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

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

Chulg'amlarning aktiv qarshiliklarini aniqlaymiz:

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

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

Transformatorning aktiv o'tkazuvchanligi:

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

Reaktiv quvvatni aniqlaymiz:

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

Transformatorning reaktiv o'tkazuvchanligi:

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

Magnitlashning aktiv o'tkazuvchanligini aniqlaymiz:

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

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

Magnitlashning reaktiv o'tkazuvchanligini aniqlaymiz:

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

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

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

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

Reaktiv quvvat isrofini aniqlaymiz:

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

Unda

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

2-ilovadagi 1-jadvaldan to'g'ridan - to'g'ri yuqori kuchlanish tomonga keltirilgan r_t va x_t va ΔQ_{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.

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

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

Almashtirish sxemasining bitta transformator parametrlarini aniqlaymiz.

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

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

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

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

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

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.

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

$$G_{ek} = 2 \cdot 1,66 \cdot 10^{-6} = 3,32 \cdot 10^{-6} \text{ Sm} \quad B_{ek} = 2 \cdot 5,29 \cdot 10^{-6} = 10,58 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}$$

$U_{nyu}=110 \text{ kV}$ 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:

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

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:

$$r_{iyu} = r_{io'} = r_{ip} = \frac{110 \cdot 10^{-3} \cdot 230^2}{40^2} = 3,64 \text{ } \Omega$$

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

$$X_{iyu} = \frac{U_{qyu} \cdot U_{yu nom}^2}{100S_n} = \frac{12,5 \cdot 230^2}{100 \cdot 40} = 165 \text{ } \Omega \quad X_{io'} = \frac{U_{qyu} \cdot U_{yu nom}^2}{100S_n} = 0$$

$$X_{ip} = \frac{U_{qyu} \cdot U_{yu nom}^2}{100S_{r,n}} = \frac{9,5 \cdot 230^2}{100 \cdot 40} = 126 \text{ } \Omega$$

Reaktiv quvvat isrofi:

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

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, qismga 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 tizimlarda isrofni qoplash uchun stansiya qurilmalariga qo'shimcha uskunalar, reaktiv energiya kompensatsiya uskunalari, qo'shimcha xodimlar, yoqilg'i va boshqalar uchun bir vaqtning o'zida sarflanadigan qo'shimcha mablag' zarurdir. Shuning uchun bu isrofni kamaytirish yo'llarini qidirib, tadbirlarini ishlab chiqish uchun doimiy ilmiy tekshirish ishlarini olib bormoq zarurdir.

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

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

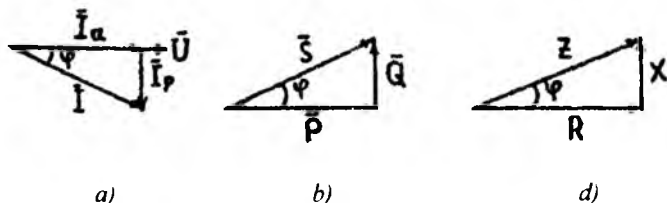
4.1. Liniya va transformatorlarda quvvat isrofi

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

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

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

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, d) 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

$I_a = \frac{P}{\sqrt{3}U}$; $I_p = \frac{Q}{\sqrt{3}U}$ - aniqlangan ifodani (4.1.1) va (4.1.2) ga qo‘yib, elektr tarmoqlari uchun juda ham zarur bo‘lgan ifodani olamiz:

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

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

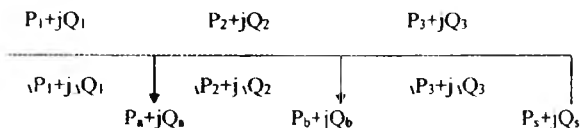
Bu yerda S 4.1.1 b-rasmga asosan to‘liq quvvat.

Olingan ifodalardan xulosalar:

1. Aktiv va shuningdek reaktiv quvvatlar isrofi R va Q ga bog‘liqdir.

2. Isrof kuchlanish kvadratiga teskari proporsional. Shuning uchun kuchlanishni kichik biror qiymatga ko‘tarilishi quvvat isrofini anchaga kamaytiradi. Ammo kuchlanishni ko‘tarish sarflangan mablag‘ vositalarini qo‘shimcha oshirishni talab qiladi.

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



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

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

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



4.1.2 - 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'rilayotgan L uzunlik liniyasidagi ΔP ni aniqlash uchun 0 va L oralig'idagi juda kichik (ΔP) qiymatlarini qo'shib chiqamiz, ya'ni

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

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

$$\Delta P = \frac{I^2}{I^2} \cdot I^1 \cdot r_o = I^2 r_o = I^2 \cdot R = \frac{P^2 + Q^2}{3U^2} \cdot R \quad (4.1.8)$$

Shunga o'xshash

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

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 tizim juda keng tarqalgandir, chunki bu tizimda xuddi shu quvvat va kuchlanishda bir fazali tizimga nisbatan quvvat isrofi kamdir.

Haqiqatan uch fazali tarmoqlar uchun

$$S = \sqrt{3}UI_1, \quad I_1 = \frac{S}{\sqrt{3}U} \quad (4.1.10)$$

Bir fazali tarmoqlar uchun

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

Uch fazali tarmoq uchun quvvat isrofi

$$\Delta P_1 = 3I_1^2 \cdot R_1 \quad \Delta Q = 3I_1^2 \cdot X_1 \quad (4.1.12)$$

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'yanimizdan keyin, quyidagilarni olamiz:

uch fazali tarmoq uchun quvvat isrofi

$$\Delta P_1 = \frac{S^2}{U^2} R_1, \quad \Delta Q_1 = \frac{S^2}{U^2} X_1 \quad (4.1.14)$$

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, haqiqatan bir fazali tarmoqlarga nisbatan uch fazali tarmoqlarda quvvat isrofi 2 marta kam. Ammo bir fazali tizimda ikkita sim, uch fazalida esa uchta. Metall isrofini bir xil qilish uchun uch fazali liniyada simlarning kesim yuzasini bir fazaliga nisbatan 1,5 marta kamaytirish kerak. Shuncha marta qarshilik oshadi, ya'ni $R_3 = 1,5R_1$. Bu qiymatni ΔP_3 ga qo'ysak, 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 ΔP_T , ΔQ_T (chulg'amlar qarshiligi R_T va X_T dagi) bo'linadi. Transformatorlarni e'tiborga olib, uzatuv liniyalarini hisoblashda, o'tkazuvchanliklar G_T va V_T tegishli yuklama ko'rinishda hisobga olinib, uzatilayotgan quvvat tenglamasiga (balansiga) kiradi.

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

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

$$\Delta P_{po'l} \approx \Delta P_{yur} \approx U^2 G_T \quad (4.1.16)$$

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.

$$\Delta Q_{po'l} = \Delta Q_{yur} = \frac{I_{yur} \% S_{nom}}{100} = U^2 B_T \quad (4.1.17)$$

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

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

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

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

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

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

$$\Delta P_k \approx 3I_k^2 R_T = \frac{S_k^2}{U^2} R_T$$

Yuklama tokining boshqa qiymatida ham bir transformatoridagi isrof:

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

O'zaro munosabat $\Delta RT/\Delta RQ$ dan topamiz:

$$\Delta P_T = \Delta P_k (S/S_{nom})^2 \quad (4.1.20)$$

Agarda ΔQT ni aniqlaydigan (4.1.19) ifodadagi X_T ni uning (3.4.6) ifodadagi qiymati bilan almashtirsak, quyidagiga ega bo'lamiz

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

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

Shunday qilib,

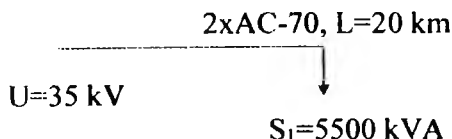
$$\Delta P_{T\Sigma} = \Delta P_T + \Delta P_{\Sigma}$$

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

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

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 mm^2 kesim yuzali simdan ikki tizimli holda, ayrim tayanchlarda tortilgan bo'lib, simlarni tayanchda joylanishi uchburchak ko'rinishda va kuchlanishi 35 kV, liniyaning uzunligi 20 km.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Liniyaning 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 nuqtayi nazardan 6300 kVA quvvatli ikki transformatorni qabul qilamiz va shu jadvaldan transformatorning kerakli hujjat ma'lumotlarini yozib olamiz:

$$S_1 = 6300 \text{ kVA}, \quad R_T = 1.60 \text{ Om}$$

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

$$U_{\text{pt}} = 11 \text{ kV}, \quad \Delta P_{\text{om}} = 9.4 \text{ kVt}$$

$$\Delta Q_{\text{om}} = 56.7 \text{ kVar}$$

Podstansiya ikkita parallel ishlovchi transformatorlarga ega bo'lganligi uchun

$$\Delta P_{\text{om}} = 9.4 \cdot 2 = 18.8 \text{ kVt}, \quad R_T = 1.6 \cdot 2 = 0.80 \text{ Om},$$

$$\Delta Q_{\text{om}} = 56.7 \cdot 2 = 113.4 \text{ kVar}, \quad X_T = 16.1 \cdot 2 = 8.05 \text{ Om}$$

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

$$\Delta P_T = \frac{S^2}{U^2} R_T = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 0.8 \cdot 10^{-1} = 19.76 \text{ kVt},$$

$$\Delta Q_T = \frac{S^2}{U^2} X_T = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 8.05 \cdot 10^{-1} = 198.79 \text{ kVar}$$

$$\Delta P_{T_2} = \Delta P_T + \Delta P_{\text{om}} = 19.76 + 18.8 = 38.56 \text{ kVt}$$

$$\Delta Q_{T_2} = \Delta Q_T + \Delta Q_{\text{om}} = 198.79 + 113.4 = 312.19 \text{ kVar}$$

$$\Delta S_{T_2} = \sqrt{38.56^2 + 312.19^2} = 314.56 \text{ kVA}$$

Liniyaning oxiridagi quvvatni topamiz.

$$S_2 = S_1 + \Delta S_{T_2} = 5500 + 314.56 = 5814.56 \text{ kVA}$$

Liniyadagi quvvat isrofi

$$\Delta P_3 = \frac{S_2^2}{U^2} R_3 = \frac{5814.56^2}{35^2} \cdot 4.5 \cdot 10^{-1} = 125.22 \text{ kVt}$$

$$\Delta Q_3 = \frac{S_2^2}{U^2} X_3 = \frac{5814.56^2}{35^2} \cdot 4.04 \cdot 10^{-1} = 112.42 \text{ kVar}$$

$$\Delta S_3 = \sqrt{125.22^2 + 112.42^2} = 168.28 \text{ kVA}$$

Liniyaning boshidagi quvvat

$$S_1 = S_2 + \Delta S = 5814.56 + 168.28 = 5982.84 \text{ kVA}$$

Nazorat savollari:

1. Liniya va transformatorlarda quvvat isrofi qaysi kattaliklarga bog'liq bo'ladi?
2. Qaysinisi afzal, uch tizimli uzatishmi yoki bir tizimli?
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?

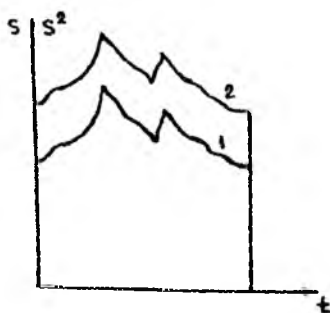
4.2. Liniya va transformatorlarda energiya isrofi

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

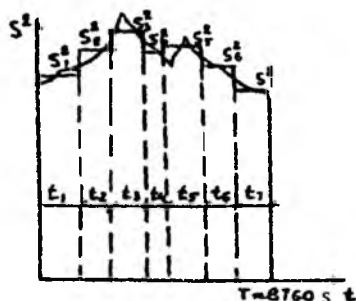
$$\Delta\mathcal{E} = 3I^2 R t = \Delta P \cdot t, \quad (4.2.1)$$

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.

$$\Delta\mathcal{E} = \int_0^T \left(\frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \right) dt = \frac{R}{U^2} \int_0^T (P^2 + Q^2) dt = \frac{R}{U^2} \int_0^T S^2 dt \quad (4.2.3)$$

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

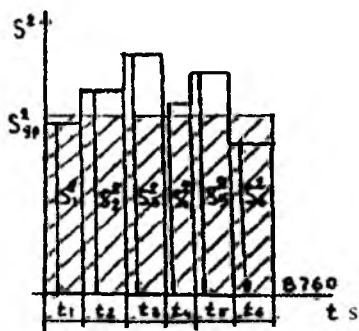
chegaralangan yuzani aniqlash yetarlidir. Amaliyotda yuklamalar kvadratini yillik grafigini kichik vaqt $t_1, t_2, t_3, \dots$ oraliqlaridagi, $S_1, S_2, S_3, \dots$ (4.2.2-rasm) yuklamalar qiymatiga tegishli bo'lgan bosqichli taxminiy grafik bilan bajarish mumkin, unda isrof qiymatlar yig'ilib aniqlanadi.

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

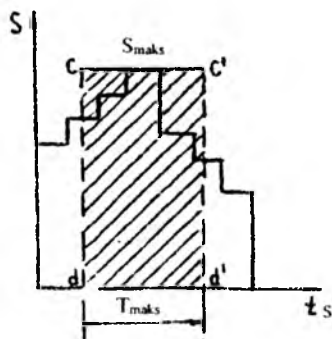
Tarmoqdagi energiya isrofini aniqlashning keyingi usuli o'rtacha kvadrat quvvat qiymatlariga asoslangan isrofni aniqlash usulidir (4.2.3-rasm). O'rtacha kvadrat quvvat shundayki, butun vaqt bo'yicha liniyadan o'zgarmasdan oqib, isrofni yuzaga keltiradi. Bunda koordinat o'qlari $S_{o'rkv}$ va T bilan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

$S_{o'rkv}$ ni qiymatini aniqlab, energiya isrofini quyidagi ifodadan topish mumkin.

$$\Delta \vartheta = \frac{R}{U^2} S_{o'r}^2 T \quad (4.2.5)$$



4.2.3-rasm. O'rtacha kvadrat quvvatni aniqlash grafigi. T_{maks} ni aniqlash uchun bog'liqlik.



4.2.4-rasm. Maksimal yuklamada ishlash vaqti.

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

Yuqorida keltirilgan energiya isrofni aniqlash usullari bir qator kamchiliklarga ega bo'lib, faqat yuklamalar grafigi bo'lgandagina ishlatilishi mumkin. Shuning uchun keng tarqalgan, isrofni aniqlaydigan, maksimal isrof vaqti tushunchasiga asoslangan usul hisob-larni ancha soddalashtiradi.

Yuklamalarning yillik grafigi uchun (4.2.4-rasm) shunday T_{maks} vaqtni topish mumkinki, bunda iste'molchi S_{maks} yuklamada ma'lum vaqtda ishlayotganda tarmoqdan shunday energiya qabul qilinsinki, bu energiya iste'molchi yil bo'yicha o'zgaruvchan yuklamali $S=S(t)$ grafikda ishlaganda qabul qilgan energiyaga teng bo'lsin. Bu energiya to'g'ri burchakli yuza bilan aniqlanadi.

Quvvat koeffitsiyenti o'zgarmas bo'lganda bu shartni quyidagicha yozish mumkin

$$\mathcal{Q} = P_{\text{maks}} \cdot T_{\text{maks}} = S_{\text{maks}} \cdot \cos \phi_{o'r} \cdot T_{\text{maks}} = \cos \phi_{o'r} \int_0^{t=8760} S dt \quad (4.2.6)$$

Bu yerda

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

$\cos \phi_{o'r}$ - 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.

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

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

Shunga o'xshash (4.2.5-rasm), liniya vaqt bo'yicha maksimal quvvat isrofi ΔR_{maks} da ishlaganida maksimal energiya isrofi, haqiqatan 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

⁸ Steven W Blume. Electric Power System Basics. USA: Wiley - Interscience. A John Wiley & Sons, INC Publication, 2007, 260 p

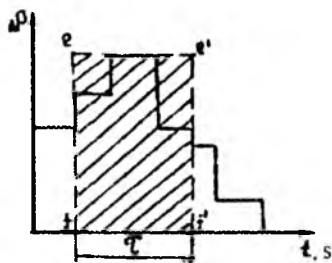
$$\Delta \mathcal{E} = \sqrt{P_{maks}} \cdot \tau = \frac{R}{U^2} S_{maks}^2 \cdot \tau = \frac{R}{U^2} \int_0^{\tau} S^2 dt \quad (4.2.9)$$

Bu yerdan maksimal isrofdan ishlash vaqti aniqlanadi.

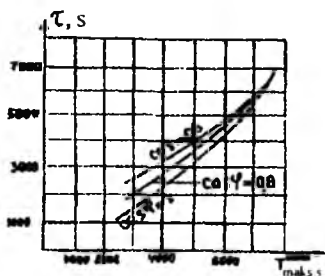
$$\tau = \frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta P_{maks}} = \frac{\int_0^{\tau} S^2 dt}{S_{maks}^2} \quad (4.2.10)$$

Amaliyotda katalik τ 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, τ va T_{maks} , yuklamalar grafigini o'zgartirish xarakteriga, ya'ni bu ifodalardagi integral ostidagi $S=S(t)$ funksiyasiga bog'liq. τ ning T_{maks} ga bog'liqligini aniqlash uchun har xil iste'molchilarning turli 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 τ ning T_{maks} ga bog'liqligini har xil $\cos\phi$ larni qiymatlari uchun aniqlash kerak.



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



4.2.6-rasm. Maksimal isrof vaqti τ ni maksimal yuklama bilan ishlash vaqti T_{maks} ga bog'liqligi.

Bu egri chiziqlardan maksimal isrof vaqti usuli yordamida energiya isrofini aniqlash mumkin.

Hisoblash tartibi quyidagicha, ko'rilayotgan liniyaning aktiv qarshiligi R , $\cos\phi_r = \frac{P_{maks}}{S_{maks}}$ li $S_{maks} = \sqrt{P_{maks}^2 + Q^2_{maks}}$ bo'lgan maksimal

yuklamasini va berilgan kategoriyali iste'molchining maksimal yuklamada ishlash vaqti T_{maks} ni bilib, berilgan $\cos\varphi_{\text{or}}$ va ma'lum T_{maks} uchun 4.2.6-rasmda keltirilgan egri chiziqlar orqali maksimal isrof vaqti τ ni topamiz. Liniyaning muayyan bo'lgan nominal kuchlanishi U_K kV da va elektr energiyasi isrofi ΔE kvт.соатni (4.2.9) formulasi yordamida topishimiz mumkin:

$$\Delta\mathcal{E} = \frac{R}{U_K^2} S_{\text{maks}}^2 \cdot \tau \cdot 10^3$$

yoki

$$(4.2.11)$$

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

Bu yerda

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

$$U_K = kV, \quad R = \text{Om}.$$

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

Agarda ko'rilayotgan liniya uchastkasi orqali har xil $P_{1\text{maks}}, P_{2\text{maks}}, P_{3\text{maks}}$ va ularga tegishli maksimal yuklamada ishlash vaqti T_1, T_2, T_3 bo'lgan iste'molchilarga quvvat uzatilayotgan bo'lsa, unda isrofnani aniqlash uchun uzatilayotgan energiyani o'rtacha qiymatini hisobga olgan holda, (4.2.8) formulasi bilan aniqlanadigan maksimal quvvatda ishlash vaqtining o'rtacha qiymatini olish kerak.

$$T_{\text{maks or}} = \frac{\mathcal{E}}{P_{\text{maks}}} = \frac{P_{1\text{maks}}T_{1\text{maks}} + P_{2\text{maks}}T_{2\text{maks}} + \dots + P_{n\text{maks}}T_{n\text{maks}}}{K_0(P_{1\text{maks}} + P_{2\text{maks}} + \dots + P_{n\text{maks}})} = \frac{\sum_1^n P_{i\text{maks}} \cdot T_{i\text{maks}}}{K_0 \cdot \sum_1^n P_{i\text{maks}}} \quad (4.2.12)$$

Bu yerda, K_0 —yuklamalar guruhini grafigidan aniqlanadigan bir vaqtlilik koeffitsiyenti.

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

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

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

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

unda

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

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

Salt yurish quvvat isrofi ΔP_{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 ΔP_q qoida bo'yicha isrofning nominal qiymatiga teng bo'lmay, balki transformatoridan oqayotgan quvvatga bog'liq holda o'zgaradi. Shunday qilib, bu isrof quvvatining kvadratiga proporsionaldir, unda:

$$\Delta P_q / \Delta P_{\text{qn}} = S_T^2 / S_{Tn}^2$$

Bu yerda,

S_T – transformatoridan oqayotgan haqiqiy quvvat;

S_{TN} – uning nominal quvvati.

Unda haqiqiy qisqa tutashuv quvvati

$$\Delta P_q = \Delta P_{\text{qn}} \cdot S_T^2 / S_{Tn}^2 \quad (4.2.14)$$

ΔP_{syu} va ΔP_{KN} ning qiymatlari har bir transformator uchun jadvallarda keltiriladi. τ kattaligi T_{maks} va $\cos\varphi$ ning qiymatlari bilan aniqlanadi.

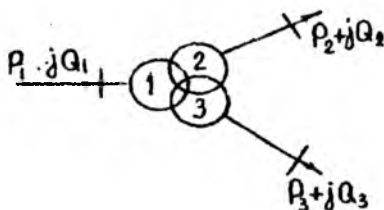
Bir necha n transformator bo'lganda (4.2.13) va (4.2.14) ga asosan energiya isrofi

$$n\Delta\mathcal{E}_T = n \cdot [\Delta P_{\text{nw}} \cdot T + \Delta P_{\text{qn}} \cdot (S_T^2 / S_{Tn}^2) \cdot \tau] \quad (4.2.15)$$

Bu yerda:

S_T – transformatorlardan oqayotgan quvvatlar yig'indisi;

S_{TN} – har bir ayrim transformatorning nominal quvvati.



4.2.7-rasm. Uch chulg'amli transformatorning sxemasi.

Uch chulg'amli transformatorlarda to'liq quvvat isrofini (4.2.7-rasm) topish uchun eng avval 2 va 3 chulg'amlardagi isrof aniqlanadi, so'ngra bu quvvat isroflarini ikkala chulg'amlardan oqayotgan quvvatlarga qo'shib 1-chulg'amdagi isrof aniqlanadi. Bo'lingan chulg'amli transformatorlarda ham quvvat isrofi har bir chulg'am uchun alohida hisobga olinadi.

Nazorat savollari:

1. Liniya va transformatorlarda energiya isrofi qanday aniqlanadi?

2. Maksimal yuklamada ishlash vaqti bilan maksimal quvvat isrofi vaqt orasida qanday farq bor?

3. Uch chulg'amli transformatorlar chulg'amlarida energiya isrofi qanday?

4.2.1. Mavzuga doir misollar

1-masala. $(30+j20)$ mVA quvvat iste'mol qiladigan mashinasozlik zavodi 220 kV kuchlanishda ta'minlanadi. 150 km uzunlikdagi liniya ACO-240 simdan tayyorlangan. Maksimal yuklamada liniyaning oxiridagi kuchlanish 215 kV. Liniyadagi quvvat isrofini aniqlang.

Yechish. 1-ilovadagi 2-jadvaldan liniya ma'lumotlarini aniqlaymiz: $r_0=0,13$ Om/km, $x_0=0,43$ Om/km, $b_0=2,66 \cdot 10^{-6}$ Sm/km, $\Delta P_{toj}=2,7$ kW/km.

Unda

$$R=r_0 \cdot l=0,13 \cdot 150=19,5 \text{ Om}$$

$$X=x_0 \cdot l=0,43 \cdot 150=64,5 \text{ Om}$$

Liniya generatsiya qiladigan quvvat:

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

Tojlanishda quvvat isrofi:

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

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

Unda

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

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 koeffitsiyenti $\cos\varphi=0,8$. 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 hudud elektr tarmog'idan ta'minlanadi. Bosh pasaytiruvchi podstantsiyada 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.

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

Transformatoridagi aktiv quvvat isrofi:

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

Reaktiv quvvat isrofi:

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

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

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

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. Hudud podstantsiyasidan 120 km uzunlikdagi zavodni ta'minlaydigan 220 kV li havo liniyasi ACO-300 simdan tayyorlangan. Zavod qabul qiladigan quvvat $(55000+j25000)$ kVA. Agar liniyani AC-240 simdan tayyorlasak, quvvat isrofi liniyada qancha foizga oshadi.

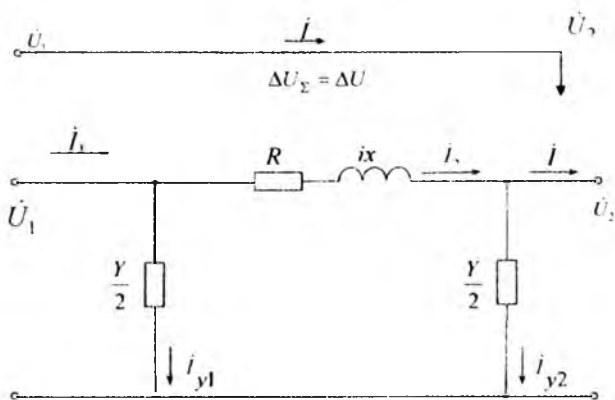
5-misol. Agar transformatorning yuklamasi 55000 kVA va $\cos\varphi=0,91$ bo'lsa, TPДCH-63000/220 transformatoridagi va uni ta'minlovchi 220 kV 180 km uzunlikdagi AC-240 simdan tayyorlangan liniya quvvat isrofini aniqlang.

6-misol. 380/220 Vli ta'minlovchi va taqsimlovchi yorituvchi tarmoqdagi quvvat isrofini aniqlang. Ta'minlovchi tarmoq АПРТО-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 shartli hisoblari

Faraz qilaylik, tok l 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 ΔU_Σ 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. ΔU_{Σ} ni qiymatini bir yoki bir necha yuklamalar uchun topamiz. Buning uchun ko'rilayotgan liniyani «P» ko'rinishli simmetrik sxema bilan almashtiramiz unda qarshiliklar R va X, o'tkazuvchanliklar $U=G+jB$.

Sxemadagi ko'ndalangiga o'tkazuvchanliklar toki

$$\begin{aligned} I_{y2} &= I_{G2} + j I_{C2} = U_2 \cdot \frac{G}{2} + j U_2 \cdot \frac{B}{2} \\ I_{y1} &= I_{G1} + j I_{C1} = U_1 \cdot \frac{G}{2} + j U_1 \cdot \frac{B}{2} \end{aligned} \quad (4.3.2)$$

liniya toklar esa

$$I_2 = I + I_{y2}; \quad I_1 = I_2 + j I_{y1} \quad (4.3.3)$$

Ko'pincha taqsimlovchi elektr tarmoqlari uchun I_{y1} va I_{y2} hisobga olinmaydi, ya'ni ularda

$$I_1 = I_2 = I$$

Vektor diagrammasini qurish. U_2 vektorini haqiqiy o'q yo'nalishida yo'naltiramiz (4.3.2-rasm). Vektor diagrammasida AS kesmasi $\Delta U_F = U_{1F} - U_{2F}$ ga tengdir. Bu qurilayotgan liniyaning boshi va oxiridagi kuchlanishlarni geometrik ayirmasi kuchlanish pasayishi deyiladi. Kesma $AC' \Delta U_F = U_{1F} - U_{2F}$ (ustida nuqtalarsiz) liniyaning boshi va oxiridagi kuchlanishlarining algebraik ayirmasi kuchlanish yo'qotilishi deyiladi.

Kuchlanish pasayishi vektorini ikki tashkil etuvchiga ajratish mumkin:

- a) bo'ylamasiga tashkil etuvchi $\Delta U_{bt} = AD$;
- b) ko'ndalangiga tashkil etuvchi $\Delta U_{kt} = SD$;

$$\Delta U_{\Sigma F} = IZ = AC = \Delta U_{bt} + j \Delta U_{kt} \quad (4.3.4)$$

ΔU_{bt} va ΔU_{kt} kattaliklarni berilgan U_2 kuchlanish bilan topib, liniyaning boshidagi kuchlanishni absolyut qiymatini topish mumkin.

$$U_{1F} = \sqrt{(U_{2F} + \Delta U_{kt})^2 + (\Delta U_{bt})^2} \quad (4.3.5)$$

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

$$\Delta U_{bt} = AE + ED = IR \cos \varphi + IX \sin \varphi = I_0 R + I_p X \quad (4.3.6)$$

Xuddi shuningdek, ko'ndalangiga tashkil etuvchisi

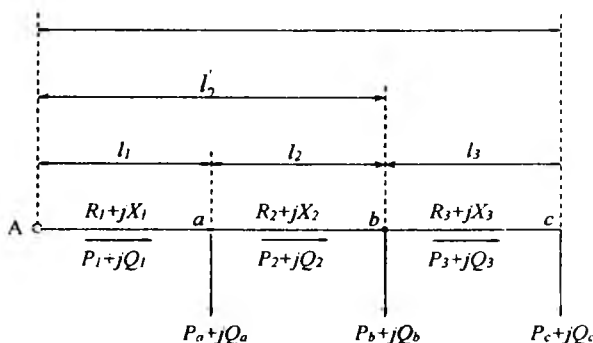
Shunday qilib, kuchlanish yo'qotilishini, bo'ylamasiga kuchlanish pasayishini tashkil etuvchisiga tenglashtirish mumkin

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

Bir necha yuklamalar bo'lganda kuchlanish yo'qotilishi

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

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,

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

va shunga tegishli

$$X_1^I = X_1 + X_2 + X_3; \quad X_2^I = X_2 + X_3; \quad X_3^I = X_3$$

Yuklamalar quvvati bilan hisoblashganda

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

Liniya quvvatlari bilan hisoblanganda

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

Kesim yuzasi bir xil bo'lganda hamda liniyaning butun uzunligi bo'yicha simlar tayanchlarda bir xil joylashsa $R-l.r_0$, $X-l.x_0$, 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

$$\Delta U = \frac{r_o(P_e I_3^I + P_e I_2^I + P_o I_1^I) + X_o(Q_e I_3^I + Q_e I_2^I + Q_o I_1^I)}{U_H}$$

Liniya quvvatlari bo'yicha

$$\Delta U = \frac{r_o(P_3 I_3 + P_2 I_2 + P_1 I_1) + X_o(Q_3 I_3 + Q_2 I_2 + Q_1 I_1)}{U_H}$$

Bu yerda

$$I_1^I = I_1 + I_2 + I_3; \quad I_2^I = I_1 + I_2; \quad I_3^I = I_1.$$

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.

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U_H^I)^2 + 6U_H^{I2}} \quad (4.3.15)$$

(4.3.15) dan ko'rinadiki, ΔU kattaligi U_1 dan ayiriladi (4.3.4b-rasm).

Agarda liniyaning oxiridagi kuchlanish U_2 berilgan bo'lsa, vektor diagrammasi 4.3.4d-rasmdagi ko'rinishni oladi. Yana shu narsaga ahamiyat berish kerakki, liniyaning oxiridagi yoki boshidagi kuchlanishni aniqlashda

$$\Delta U \neq \Delta U^I \text{ va } 6U \neq 6U^I.$$

Ko'p hollarda uzatayotgan tomonning U_1 kuchlanishi berilgan bo'ladi. Shuning uchun hisoblash (4.3.15) ga asosan tarmoqning uzatayotgan tomonidan qabul qiluvchi tomoniga qarab bajariladi.

Berilgan U_1 kuchlanishga asosan U_2 kuchlanishni topish uchun zarur:

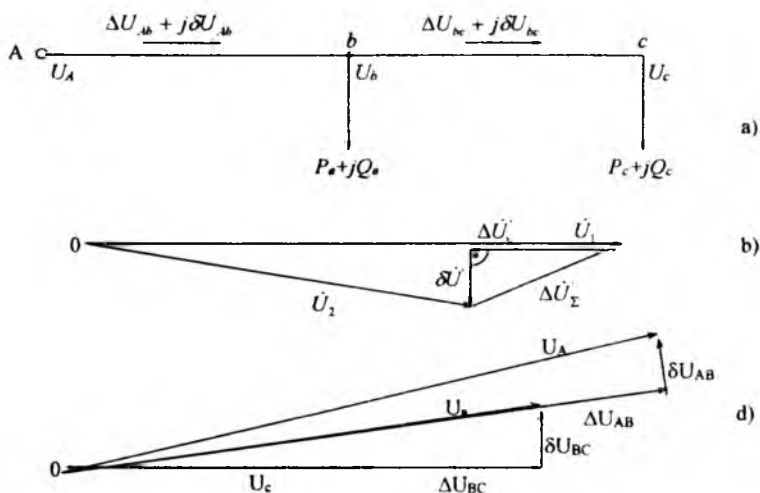
1. Sxemaning har bir shoxobchasidan (oldingi yuklamadan keyingi yuklamaga) ketma-ket o'ta turib (4.3.15) bilan kuchlanishni

keyingi qiymati yoki (3.3.11) bilan kuchlanish yo'qolishini topish kerak.

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

110 kV va undan past kuchlanishli tarmoqlarda kuchlanish pasayishini ko'ndalangiga tashkil etuvchisi ΔU ifoda (4.3.5) va (4.3.15) ga uncha ta'sir qilmagani uchun ko'pincha hisobga olinmaydi.

EUL sini to'rt qutblilarni ishlatib, ko'ndalangiga o'tkazuvchanlikni hisobga olib hisoblash.



4.3.4-rasm. Uzunligi davomida ikkita yuklama bo'lgan liniyaning ko'rinishi va kuchlanishning vektor diagrammasi.

Ko'ndalangiga o'tkazuvchanlik hisobga olinishi zarur bo'lgan murakkab elektr tarmoqlarida tarmoqni hamma elementlarini to'rt qutbliklar bilan almashtirib, hamma toklar va kuchlanishlar bu to'rt qutbliklarni parametrlarini hisobga olgan holda topiladi. 4.3.5a-rasmda ko'rsatilgan, berilgan tok va kuchlanishli uzatishni hisoblash

uchun bu uzatishning har bir elementi to'rt qutblik bilan almashtiriladi. Liniya umumlashtirilgan to'rt qutblikni doimiyliklari A, V, S , va D bilan (4.3.5b-rasm) almashtiriladi.

Shuningdek D nuqtadagi yuklama $I_* = I'_* - I''_*$ bo'lganda to'rt qutbliklar tenglamasi quyidagicha bo'ladi.

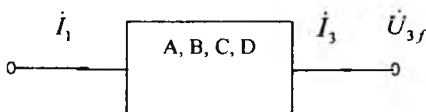
$$\dot{U}_{yf} = A_1 \dot{U}_{yf} + B_1 I_{*1}; \quad I'_* = C_2 \dot{U}_{yf} + D_2 I_{*1}; \quad (4.3.16)$$

$$\dot{U}_{yf} = A_1 \dot{U}_{yf} + B_1 I_{*1}; \quad I_{*1} = C_1 \dot{U}_{yf} + D_1 I'_*; \quad (4.3.17)$$

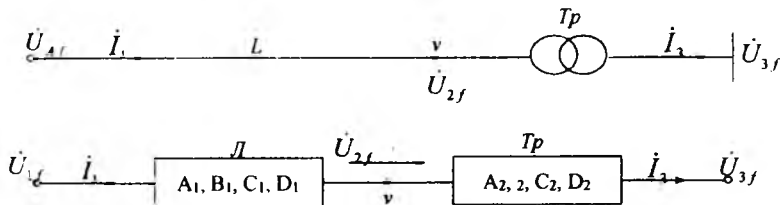
To'rt qutbliklar yordamida hisoblash kuchlanishning faza qiymatlari uchun qulaydir.

Shunday qilib, berilgan I_1 va $\dot{U}_{yf}$ qiymatlari bilan v nuqtadagi I_3 va $\dot{U}_v$ ni (4.3.16) yordamida aniqlanadi. Shunga o'xshash (4.3.17) yordamida I_v va $\dot{U}_{vf}$ ni bilib liniyaning boshidagi I_A va $\dot{U}_{yf}$ aniqlanadi.

Agarda oraliqda yuklama bo'lmasa ($I_g=0$), unda berilgan liniyaning boshidagi va i ni liniya hamda transformator uchun bo'lgan ikkala to'rt qutblikni ketma-ket qo'shib topish mumkin, ya'ni hisoblash umumlashtirilgan doimiylik A, V, S, D li ekvivalent to'rt qutbliklar bilan bajariladi (4.3.6-rasm).

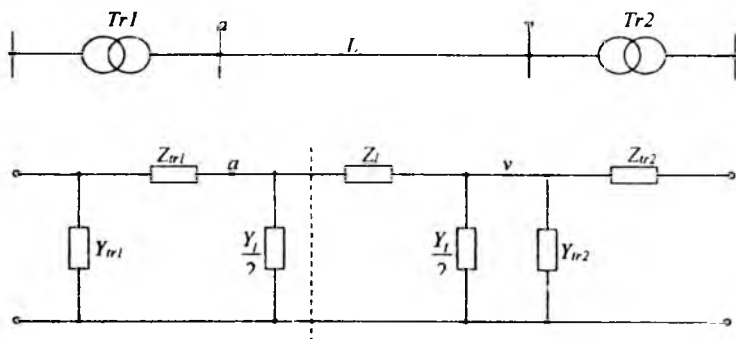


4.3.5-rasm. To'rt qutblikni ketma-ket qo'shish sxemasi.



To'rt qutbliklarni parallel qo'shish ham mumkin, ammo imkoniyat bo'lsa, to'rt qutbliklar sonini kamaytirishga harakat qilish kerak. Masalan, «P» va «T» ko'rinishli qutblarni ikkita simmetrik bo'lmagan «P» va «T» ko'rinishliklari bilan almashtirish kerak:

Shtrixli chiziq liniyaning o'ng va chap qismi

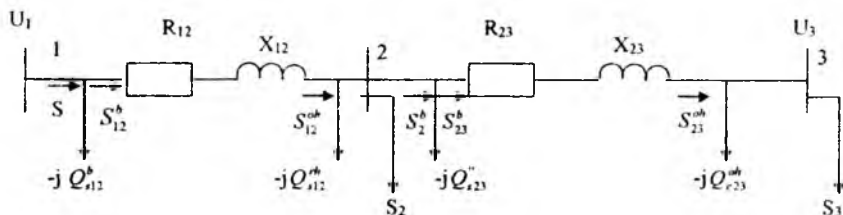


4.3.6-rasm. To'rt qutbliklarni mumkin bo'lgan qisqartirilishi.

4.3.1. Mavzuga doir misollar

1-misol. $S_2=15+j10$ mVA quvvat elektr stansiya shinasidan 110 kV li bir sistemali 80 km uzunlikdagi liniya orqali ta'minlanadi. Liniyaning almashtiruv sxemasi rasmda ko'rsatilgan, uning parametrlari $r_{12}=24,48$ Ohm; $x_{12}=34,72$ Ohm; $v_{12}=208,8 \cdot 10^{-6}$ sm. Elektr stansiya shinasidagi kuchlanish 116 kV. Elektr stansiya ishlab chiqarayotgan quvvat S_1 va liniya oxiridagi kuchlanish U_2 ni toping:

Hisoblashni uch bosqichda amalga oshiramiz:



1-bosqich. Liniyani sig'im quvvati, undagi quvvat isrofi va quvvat oqimini (3.3.7), (4.1.6), (4.1.7) orqali aniqlaymiz.

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

Liniyaning oxiridagi quvvat

$$S_{12}^{\alpha} = S_2 - Q_{r12}^{\alpha} = 15 + j10 - j1,26 = 15 + j8,74 \text{ mVA}$$

Liniyadagi quvvat isrofi

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

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

Liniyaning boshidagi quvvat

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

Elektr stansiyasi shinasidagi quvvat

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

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.

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

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

Liniya oxiridagi kuchlanish

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

Liniya oxiridagi kuchlanish moduli

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

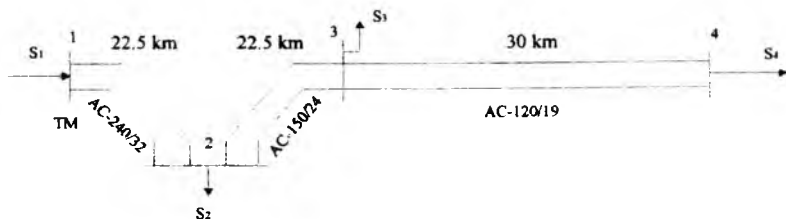
Liniyada kuchlanish yo'qotilishi

$$U_1 - U_2 = 115,9 - 109,7 = 6,2 \text{ kV}$$

2-misol. 4.3.2-rasmda ko'rsatilgan ta'minlash tarmog'ini ish tartibini hisoblang. Yuklama quvvatlari transformatorlarni yu.k tomonidan ko'rsatilgan.

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

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 hamda o'tkazuvchanlikni ikki tizimli liniya uchun aniqlaymiz.



4.3.7-rasm. Ochiq elektr ta'minotining ish tartibini hisoblash.

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.

$$Q_{i34} = \frac{1}{2} \cdot U_N^2 \cdot b_{i4} = \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} = 0,97 \text{ mVAr}$$

34 liniya oxiridagi quvvat

$$S_{i4}^* = S_4 - jQ_{i4} = 41,21 + j34,72 + j0,97 = 41,21 + j33,75 \text{ mVA}$$

34 liniyadagi quvvat isrofini aniqlaymiz

$$\Delta S_{i4} = \frac{(P_{i4}^*)^2 + (Q_{i4}^*)^2}{U_N^2} \cdot (x_{i4} + jx_{i4}) = \frac{41,21^2 + 33,75^2}{110^2} (3,74 + j6,4) = 0,88 + j1,5 \text{ mVA}$$

34 liniya boshidagi quvvat

$$S_{i4}^* = S_4 - jQ_{i4} = 41,21 + j33,75 + j0,88 + j1,5 = 42,09 + j35,26 \text{ mVA}$$

Shunga o'xshab 23 va 12 liniyalar uchun hisoblaymiz

$$Q_{e23} = \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 1,22 \cdot 10^{-4} = 0,74 \text{ MVar}$$

$$S_{i23}^* = S_{i4}^* - jQ_{e23} + S_3 - jQ_{e23} = 42,09 + j35,25 - j0,97 + j17,11 + j14,45 - j0,74 = 59,2 + j48 \text{ mVA}$$

$$\Delta S_{i23} = \frac{(P_{i23}^*)^2 + (Q_{i23}^*)^2}{U_N^2} \cdot (r_{i23} + jx_{i23}) = \frac{59,2^2 + 48^2}{110^2} (2,23 + j4,72) = 1,07 + j2,27 \text{ mVA}$$

$$S_{i23}^* = S_{i23}^* + \Delta S_{i23} = 59,2 + j48 + 1,07 + j2,27 = 60,27 + j50,27 \text{ mVA}$$

$$Q_{e12} = \frac{1}{2} \cdot 110^2 \cdot 1,264 \cdot 10^{-4} = 0,76 \text{ MVar}$$

$$S_{i12}^* = S_{i23}^* - jQ_{e12} + S_2 - jQ_{e12} = 60,27 + j50,27 - j0,74 + j22,13 + j18,35 - j0,76 = 82,4 + j67,12 \text{ mVA}$$

$$\Delta S_{i12} = \frac{(P_{i12}^*)^2 + (Q_{i12}^*)^2}{U_N^2} \cdot (r_{i12} + jx_{i12}) = \frac{82,4^2 + 67,12^2}{110^2} (1,35 + j4,56) = 1,26 + j4,26 \text{ mVA}$$

$$S_{i12}^* = S_{i12}^* + \Delta S_{i12} = 82,4 + j67,12 + 1,26 + j4,23 = 83,66 + j71,37 \text{ mVA}$$

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. U_2 kuchlanishni aniqlaymiz

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

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

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

Kuchlanish modulini aniqlaymiz

$$U_2 = \sqrt{114^2 + 2,42^2} = 114 \text{ kV}$$

110 kV va undan past kuchlanishli elektr tarmoqlarida kuchlanish pasayishini ko'ndalangiga tarkibiy qismi hisoblarga uncha ta'sir etmaydi. Shuning uchun ko'rilayotgan tarmoq uchun bo'yلامasiga 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:

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

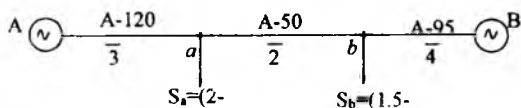
$$\Delta U_{34}^b = \frac{P_{34}^b \cdot r_{34} + Q_{34}^b \cdot x_{34}}{U_3} = \frac{42,09 \cdot 3,74 + 35,25 \cdot 6,4}{110,7} = 3,45 \text{ kV}$$

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

4.3.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar

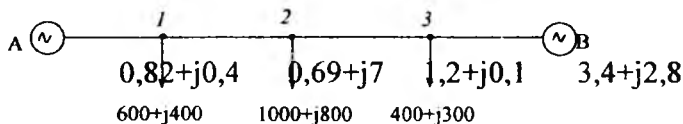
1-misol. 4.3.1-rasmda ko'rsatilgan iste'molchilar kuchlanishlari $U_A=11 \text{ kV}$, $U_V=10,5 \text{ kV}$ bo'lgan ikki manbadan ta'minlanadi. Uchastkalar uzunligi (km)da, yuklamalar (mVA)da simlar markasi rasmda ko'rsatilgan.

Tok bo'linish nuqtasini va 4.3.8-rasmda ko'rsatilgan uchastkalardagi quvvat taqsimotini aniqlang:



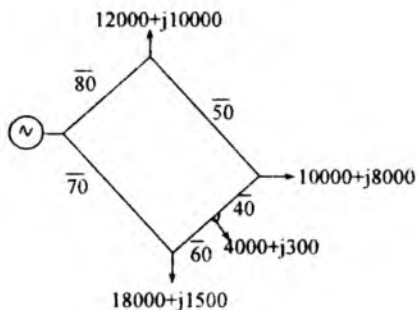
4.3.8-rasm.

2-misol. 4.3.9-rasmda tasvirlangan ikki tarafdan 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.



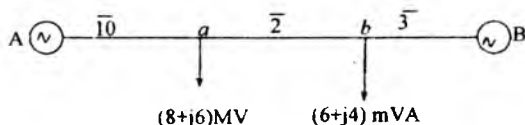
4.3.9-rasm.

3-misol. 220 kVli berk zanjirli elektr tarmog'i bir xil kesim yuzali simdan tayyorlangan. 4.3.10-rasmda yuklamalar (kVA)da uchastkalar uzunligi (km)da ko'rsatilgan. Tarmoqdagi quvvat taqsimotini aniqlang.



4.3.10-rasm.

4-misol. 4.3.11-rasmda ko'rsatilgan a va b hududlarda joylashgan korxonalar 35 kV kuchlanishda A va B hudud podstantsiyalaridan ta'minlanadi. A va B podstantsiyalar kuchlanishlari o'zaro teng va fazalari ustma-ust tushadi. Liniya faza simlari gorizontall 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.



4.3.11-rasm.

Nazorat savollari:

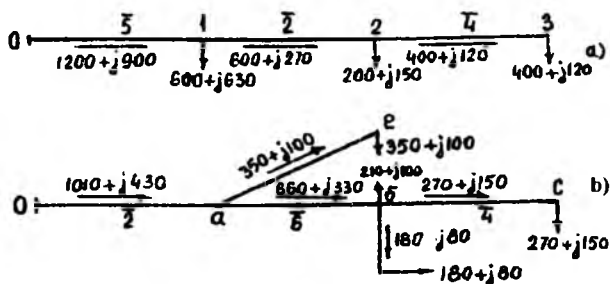
1. Uch chulg'amli transformatorlar chulg'amlarida energiya isrofi qanday?
2. Kuchlanishni yo'qotilishi kuchlanish pasayishdan nima bilan farq qiladi?
3. Kuchlanish pasayishini bo'ylamasiga va ko'ndalangiga tarkibiy qismi quvvatlar orqali qanday ifodalanadi?
4. Qachon kuchlanish pasayishni bo'ylamasiga tarkibiy qismini kuchlanish yo'qotilishiga tenlashtirish mumkin?
5. Liniyali 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, ular-dan 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 uchastkalaridagi 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 sxemasi.

Sho'lasimon elektr tarmog'i har bir shoxobchalarining to'liq quvvati tarmoqning shu uchastka orqali ta'minlanayotgan hamma yuklamalar quvvatining yig'indisidan hosil bo'ladi.

Har bir uchastkadagi ish toki quyidagi formula orqali topiladi.

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

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

$$T = \frac{\sum_I^n P_{\text{maks}} \cdot T_{\text{maks}}}{K_o \sum_I^n P_{\text{maks}}} \quad (5.1.2)$$

qizdirishga tekshirilishi kerak bo'lgan simning iqtisodiy kesim yuzasi F_{iq} aniqlanadi.

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

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

Quvvat isrofi Δ ni aniqlash uchun eng avval uzatayotgan uchastkaning oxiridan ketma-ket birinchi uzatayotgan uchastkaning boshiga 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 ΔU_{max} dan katta bo'lsa, unda simlarni kesim yuzasini kattalashtirish zarur.

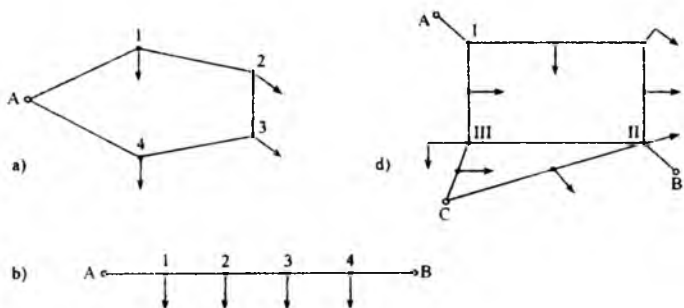
110 kV va undan yuqori tarmoqlarini ishlash tartibi liniya generatsiya qiladigan quvvat hisobiga o'zining maxsus xususiyatiga egadir.

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 tarafdan ta'minlanadigan liniyalar

Asosiy tushunchalar va qo'llanish doirasi. Ochiq elektr tarmoqlarining jiddiy kamchiligi bu tarmoqlarning biror uchastkasi ishdan chiqsa, iste'molchilarning katta qismi elektr energiya ta'minotidan mahrum bo'ladi.



5.2.1-rasm. Berk zanjirli tarmoqlarning sxemasi.

Shuning uchun mas'uliyatli, elektr ta'minoti uzilib qolishi mumkin bo'lmagan iste'molchilarni ishonchli elektr energiya bilan ta'minlash uchun berk zanjirli elektr tarmoqlari qo'llaniladi. Berk zanjirli elektr tarmoqlari deb shunday tarmoqlarga aytiladiki, ularda elektr energiya iste'molchilarga kamida ikki tomondan yetkazib beriladi. Bular yuklamalar ikki va undan ko'p bo'lmagan tomondan ta'minlaydigan oddiy berk zanjirli tarmoqlarga va tugun nuqtalariga ega elektr energiya esa kamida uchta tomondan berilishi kerak bo'lgan murakkab berk zanjirli tarmoqlarga bo'linadi.

a – halqasimon tarmoq; b – ikki tarafdin ta'minlangan tarmoq; d – murakkab berk zanjirli tarmoqning sxemasi.⁹

Oddiy berk zanjirli tarmoq bir ta'minlash manbaiga ega bo'lib halqasimon 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 iborat bo'lib, ikki tarafdin ta'minlanuvchi tarmoqqa keltirish mumkin.

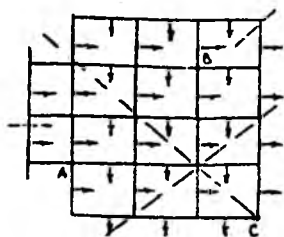
5.2.1d-rasmda murakkab berk zanjirli tarmoqning sxemasi ko'rsatilgan. Bunday tarmoqni ikki tarafdin ta'minlanadigan tarmoqqa keltirish mumkin emas, chunki bu murakkab o'zgarishlarni talab etadi.

Taqsimlovchi tarmoqlarda ko'pincha oddiy berk zanjirli halqasimon yoki ikki tarafdin ta'minlangan tarmoqlar va yana

⁹ Steven W Blume Electric Power System Basics. USA: Wiley – Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007, 260 p.

halqasimon ta'minlanadigan bir turi bo'lgan ikki tizimli liniyalar qo'llaniladi.

Taqsimlovchi tarmoqlardagi past kuchlanishning murakkab berk sxemalari berk setka (to'r) deb ataladigan ko'rinishda bo'lishi mumkin, bunday ko'rinishli tarmoqlar katta shaharlarda 400/230 V bo'lgan shahar xo'jalik yuklamalarini ta'minlashda qo'llaniladi. Bunday tarmoqning sxemasi (5.2.2-rasm) shahar ko'chalarida o'tkazilgan, kesishgan joylarni birlashtiruvchi va parallel bir necha manbadan ta'minlanuvchi liniyalarni ifoda etadi.



5.2.2-rasm. Berk setkaning sxemasi.

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 UAQUV bo'lganda kuchlanishning yo'qotilishi minimal bo'ladi. Yuklamalarni o'zgarishi jarayonida quvvatlarni ixtiyoriy o'zgarishi va ularni berk zanjirli tarmoq uchastkalarida eng maqbul quvvatlarni (toklarni) taqsimlanishini ta'minlaydi. Bo'lish nuqtasi deb atalgan nuqtalar berk zanjirli tarmoqlarda erkin harakatlanadiki, bu holatda berk zanjirli tarmoqlarda toklarni (quvvatlarni) taqsimlanishi bo'linish nuqtasiga asosan majburiydir.

Ta'minlovchi punktlarning har xil $U_A \neq U_B$ kuchlanishda bo'lishi 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 ma'lum bir qiymatlarida to'g'ridir.

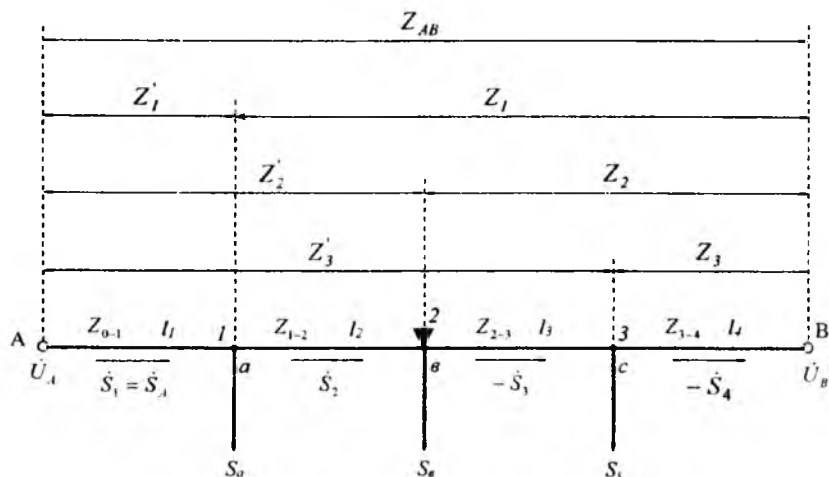
Ikki tarafdin ta'minlangan liniyalarni hisoblash.

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 ℓ_1 , ℓ_2 , ℓ_3 , ℓ_4 – tegishli bo'lgan uchastkalarining to'liq qarshiliklari va uzunliklari: A va V – ta'minlash manbalari: U_A va U_B – ta'minlash manbalarining kuchlanishlari.



5.2.3-rasm. Ikki tarafdan ta'minlanadigan tarmoqning sxemasi.

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

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

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 B nuqtalar orasidagi kuchlanishning pasayishi uchun quyidagi tenglikni yozishimiz mumkin.

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

yoki

$$\dot{S}_1 z_{01} + \dot{S}_2 z_{12} + \dot{S}_3 z_{23} + \dot{S}_4 z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{U}_n \quad (5.2.1)$$

Bu yerda, U_N – tarmoqning nominal kuchlanishi.

Endi Kirxgofning birinchi qonunini 1 2 3 nuqtalar uchun qo'llab va tarmoqda quvvat isrofi bo'lmaydi deb qabul qilib, quyidagi tenglikni tuzamiz:

$$\dot{S}_1 z_{01} + \dot{S}_2 z_{12} + \dot{S}_3 z_{23} + \dot{S}_4 z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{U}_n \quad (5.2.2)$$

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

$$\dot{S}_1 z_{01} + (\dot{S}_1 - \dot{S}_2) z_{12} + (\dot{S}_1 - \dot{S}_2 - \dot{S}_3) z_{23} + (\dot{S}_1 - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4) z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{U}_n$$

yoki

$$\dot{S}_1 (z_{01} + z_{12} + z_{23} + z_{34}) - \dot{S}_2 (z_{12} + z_{23} + z_{34}) - \dot{S}_3 (z_{23} + z_{34}) - \dot{S}_4 z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{U}_n$$

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

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_A = \frac{\dot{S}_2 (z_{12} + z_{23} + z_{34}) + \dot{S}_3 (z_{23} + z_{34}) + \dot{S}_4 z_{34} + (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{U}_n}{z_{01} + z_{12} + z_{23} + z_{34}} \quad (5.2.3)$$

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.

$$\dot{S}_1 = \frac{\dot{S}_2 z_1 + \dot{S}_3 z_2 + \dot{S}_4 z_3}{z_{AB}} + \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_B}{z_{AB}} \dot{U}_n \quad (5.2.4)$$

yoki ko'p yuklamalar uchun umumiy ko'rinishda:

$$\dot{S}_1 = \frac{\sum \dot{S}_i z_i}{z_{AB}} + \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_B}{z_{AB}} \dot{U}_n \quad (5.2.5)$$

Xuddi shunday formulani V nuqtadan chiquvchi quvvat uchun chiqarish mumkin

$$\dot{S}_4 = \dot{S}_B = \frac{\sum \dot{S}_i z_i^1}{z_{AB}} + \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_B}{z_{AB}} \dot{U}_n \quad (5.2.6)$$

Bu yerda z_i^1 A punktdan har bir yuklamagacha bo'lgan qarshilik.

$\dot{S}_i$ ni bilib (5.2.2) ifoda yordamida uchastkalar bo'yicha taqsimlangan qolgan yuklamalar oson topiladi. Chunki 5.2.3-rasmda quvvatni musbat yo'nalishi shartli ravishda A dan V gacha bo'lgan yo'nalish qabul qilingan, unda V ta'minot manbasiga yaqin uchastkalardagi yuklamalarning bir qismi manfiy belgida bo'ladi, bu

esa ularni teskari yo'nalishdaligini ko'rsatadi. Qandaydir nuqtaga quvvat ikki tarafdin oqadi. Ko'rilayotgan holat uchun shunday nuqta 2-chi nuqtadir. Bu nuqta bo'lish nuqtasi deb ataladi va ko'pincha ∇ - ishora bilan belgilanadi. Tenglama (5.2.5) da ikkinchi a'zo kuchlanishlar farqi tufayli potentsiali ancha yuqori nuqtadan past potentsiilli nuqtaga yo'nalgan A-V liniyadan oquvchi tenglashtiruvchi quvvatni ifodalaydi. Bu juda ham keragi yo'q bo'lgan quvvat yuklamalarga (ya'ni S_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:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i z_i}{z_{AB}} \quad (5.2.6a)$$

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 halqasimon 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.

$$\dot{S}_A = P_A - jQ_A = \frac{\sum [(P_i - jQ_i) \cdot (R_i + jX_i)]}{R_{AB} + jX_{AB}} \quad (5.2.7)$$

Agarda aktiv (R_A) va reaktiv (Q_A) quvvatlarni taqsimlanishi ayrim-ayrim aniqlansa hamda (5.2.7) formuladagi qarshiliklarni o'tkazuvchanliklar bilan almashtirilsa, ko'p hollarda hisoblashni osonlashtirish mumkin.

$$Y = \frac{1}{z_{AB}} = G_{AB} - jB_{AB}$$

Bu yerda

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

Bu kattaliklarni (5.2.6a) formulaga qo'ysak:

$$\dot{S}_{AB} = (G_{AB} - jB_{AB}) \sum_i [(P_i - jq_i)(R_i + jX_i)],$$

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

$$\begin{aligned} P_A &= G_{AB} \sum_i^n (P_i R_i + q_i X_i) - B_{AB} \sum_i^n (R_i X_i - q_i R_i) \\ Q_A &= G_{AB} \sum_i^n (R_i X_i - q_i R_i) + B_{AB} \sum_i^n (P_i R_i + q_i X_i) \end{aligned} \quad (5.2.8)$$

(5.2.8) formulasi aktiv va reaktiv quvvatlarni taqsimlanishini yuklamani mutlaq haqiqiy, mavhum qiymatlari hamda 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 tarafdan ta'minlangan liniyalarni hisoblashning ayrim hollari

Yuqorida chiqarilgan ifodalarni soddalashtirish va hisoblashni osonlashtirish uchun ayrim hollarni ko'rib chiqamiz.

1. Agarda liniyaning butun uzunligi bo'yicha tayanchlarda simlar bir xil osilgan va nazariy jihatdan reaktiv va aktiv qarshiliklarni o'zaro nisbati (bir turdagi) o'zgarmas bo'lsa

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

unda (5.2.5) formulani quyidagicha o'zgartirish mumkin.

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_i \dot{S}_i Z_i}{Z_{AB}} = \frac{\sum_i \dot{S}_i (R_i + jX_i)}{R_{AB} + jX_{AB}}$$

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

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_i \dot{S}_i (1+jm)R_i}{(1+jm)R_{AB}} = \frac{\sum_i \dot{S}_i R_i}{R_{AB}} = \frac{\sum_i P_i R_i}{R_{AB}} + j \frac{\sum_i Q_i R_i}{R_{AB}} \quad (5.3.1)$$

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.

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_i \dot{S}_i R_i}{R_{AB}} = \frac{\sum_i P_i R_i}{R_{AB}} + j \frac{\sum_i Q_i R_i}{R_{AB}} \quad (5.3.2)$$

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

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

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_i P_i r_0 L_i}{r_0 L_{AB}} + j \frac{\sum_i Q_i r_0 L_i}{r_0 L_{AB}} \quad (5.3.3)$$

yoki

$$P_A = \frac{\sum_i P_i L_i}{L_{AB}} \quad Q_A = \frac{\sum_i Q_i L_i}{L_{AB}} \quad (5.3.4)$$

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

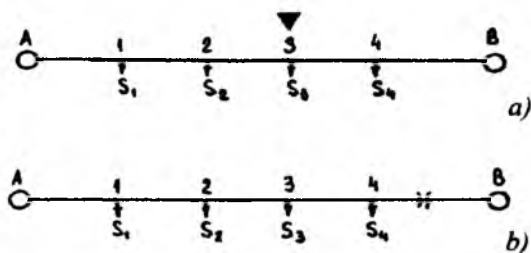
3. Bir xil quvvat koeffitsiyentiga ega bo'lgan yuklamali liniyalarda hamma yuklamalarning $\cos \varphi$ bir xil va liniyalar bir turda bo'lsa, unda hisoblashni (5.3.2) formulaga asosan to'liq quvvatlarning qiymatlarni qo'yib olib borish mumkin, yuklamaning reaktiv qismi bo'lmasa ($\cos \varphi = 1$), 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 tarafdan 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 nuqtayi nazardan bunday yechim juda ko'p yuklamalar liniyaga bir-biriga yaqin masofada ulansa va yana liniyaning uzunligi bo'yicha yuklamalar bir xil taqsimlansa, o'zini oqlaydi. Hisoblash tartibi quyidagicha olib boriladi: liniyaning normal ish holati uchun formula asosida uchastkalar bo'yicha quvvat taqsimlanishi topiladi. Magistr al uchastkalardagi toklarni topib, ular orqali, yuklamalar bir xil taqsimlangan liniyalar uchun iqtisodiy kesim yuzasi topiladi. Olingan iqtisodiy kesim yuzalarni yaqin standartga yaxlitlashtirilgan o'rtachasi qabul qilinadi.

Yuklamalar bir xil taqsimlangan liniyalarda iqtisodiy kesim yuzasini aniqlashdagi xatolik amaldagi ruxsat etilgan oraliqda bo'ladi va yana yuklamalar soni qancha katta bo'lsa hamda 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 tarafdan

amalga oshiriladi. Uchastkalar bo'yicha quvvat taqsimlanishi aniqlangandan so'ng, eng uzoqlashgan nuqtagacha 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 hamda shikastlangan holat uchun tekshiriladi. So'ngra normal holat (5.2.5) yoki (5.2.6) formulalar yordamida qaytadan quvvat taqsimlanadi, 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 hamda 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.

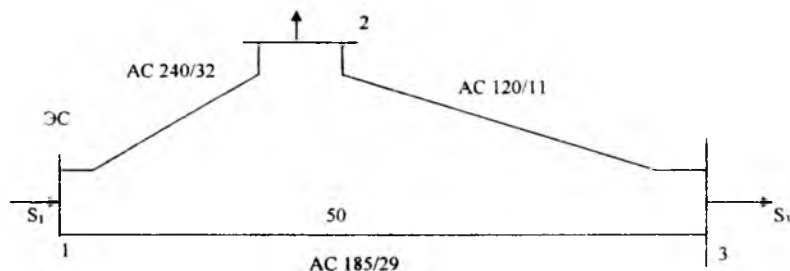
Nazorat savollari:

1. Oddiy berk zanjirli tarmoqlarda quvvat taqsimlanishi qanday hisoblanadi?

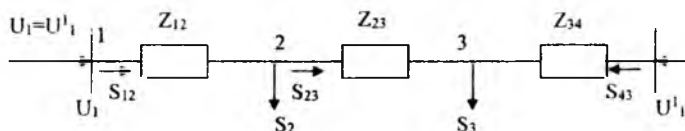
2. Quvvat taqsimlanishini hisoblashda tarmoq simlarining kesim yuzasi qanday tanlanadi?

5.4.1. Mavzuga doir misollar

1-misol. 110 kV kuchlanishli halqasimon 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, halqasimon tarmoqdagi taxminiy quvvat taqsimlanishini aniqlaymiz.

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

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

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

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

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.

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

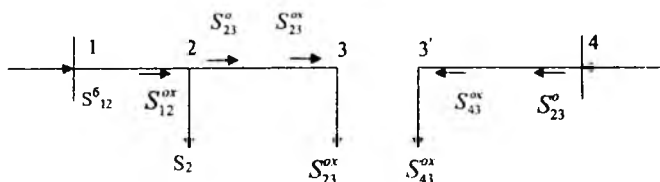
3-tugun aktiv va reaktiv quvvat taqsimlanishini bo'linish nuqtasi. Quvvat isrofini hisobga olmagan holda elektr stansiya shinasidan kelayotgan quvvat teng.

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

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.

$$S_{23}^{\alpha} = 8,64 + j7,58 \text{ mVA} = S_{21}^{\alpha}; \quad S_{43}^{\alpha} = 30,56 + j25,31 \text{ mVA} = S_{41}^{\alpha}$$



23, 12-liniyalarda quvvat oqimini aniqlaymiz.

23-liniya oxiridagi quvvat $S_{23}^{\alpha} = S_{21}^{\alpha} = 8,64 + j7,58 \text{ mVA}$ 23-liniyadagi quvvat isrofi

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

12-liniya oxiridagi quvvat

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

12-liniyadagi quvvat isrofi

$$\Delta S_{12} = \frac{44,93^2 + 36,86^2}{110^2} (3,6 + j12,15) = 1 + j3,39 \text{ mVA}$$

12-liniya boshidagi quvvat

$$S_{12}^{\alpha} = S_{12}^{\alpha} + \Delta S_{12} = 44,93 + j36,86 + 1 + j3,39 = 45,93 + j40,25 \text{ mVA}$$

43-liniyadagi quvvatni hisoblaymiz. $S_{43}^6 = 30,56 + j25,31 \text{ mVA}$ 43-liniya oxiridagi quvvat

$S_{43}^6 = 30,56 + j25,31 \text{ mVA}$. 43-liniyadagi quvvat isrofi

$$\Delta S_{43} = \frac{30,56^2 + 25,31^2}{110^2} (8,1 + j20,65) = 1,05 + j2,69 \text{ mVA}$$

43-liniya boshidagi quvvat

$$S_1 = S_{12}^6 + \Delta S_{43}^6 = 45,93 + j40,25 + 31,61 + j28 = 77,54 + j68,25 \text{ mVA}$$

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 ΔU_{ek} (eng katta) 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 ΔU_{ek} ni aniqlaymiz:

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

$$U_4 = 117,7 - 7,1 \approx 110,6 \text{ kV}$$

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

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

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

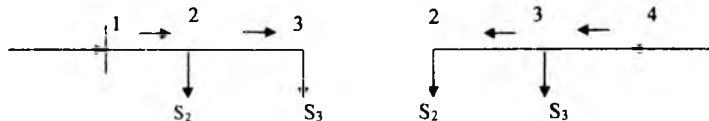
$$U_3 = 112,1 - 1,47 \approx 110,6 \text{ kV}$$

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

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 ΔU_{ek} ni aniqlaymiz:

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

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

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

12-liniya uzilgan holatida

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

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

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

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

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

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

$$\Delta U_{42 \text{ avar}} = 16,08 - 6,44 \approx 9,64 \text{ kV}$$

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

VI. TA'MINLOVCHI ELEKTR TARMOQLARNI HISOBLASH XUSUSIYATLARI

6.1. Liniyaning zaryad toki va zaryad quvvati

110, 220, 330 kV li kuchlanishlar energetika tizimining 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 tizimlari 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 hisob-larga 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, izolatsiyani 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)

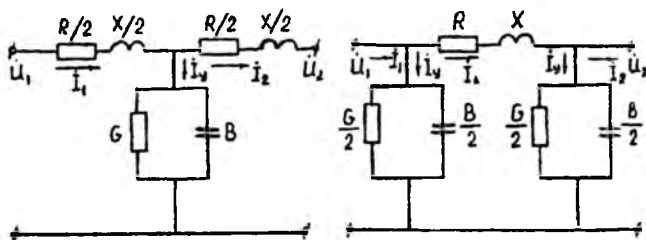
Hamma yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlar aktiv va sig'im o'tkazuvchanliklariga egadir. O'tkazuvchanliklarning bo'lishi liniyalarda sirqish va sig'im toklarini yuzaga keltiradi, uning qiymati yuklamaga bog'liq bo'lmay, balki liniyaning tuzilishi, uzunligi va ish kuchlanishi U_H bilan aniqlanadi.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlarida o'tkazuvchanlik hisobga olinmaydi, chunki bu liniyalar nisbatan kichik uzunlik ℓ , kuchlanish

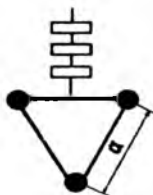
U ga egadir va o'tkazuvchanlik toklari yuklama toklariga nisbatan ancha kichikdir.

Katta ℓ va U kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmoqlarida o'tkazuvchanlik toklari yuklama toklariga nisbatan yetarli darajada katta o'lchamga egadir, shuning uchun elektr hisoblarida ularni hisobga olish shart. Shunday qilib, taqsimlovchi elektr tarmoqlarini taqsimlovchi elektr tarmoqlaridan farqi: elektr uzatish liniyalarini hisoblashda faqat R va X emas, balki o'tkazuvchanlik G va B ham hisobga olinadi.

Aktiv o'tkazuvchanlik G va reaktiv o'tkazuvchanlik B ham, R va X ga o'xshab elektr uzatuv liniya uzunligi bo'yicha bir xil taqsimlangandir. Ammo hisoblashda soddalashtirilgan usullardan foydalanib ko'rilayotgan liniyani yig'ilgan parametrlardan iborat deb qarash mumkin. 300 km 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.

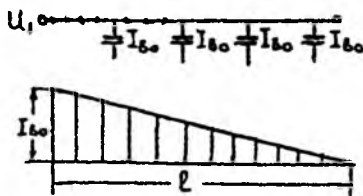
Liniyaning o‘tkazish qobiliyatini oshirish (X ni kamaytirish) va uch fazali tok liniyasini tojlanishdagi elektr energiya isrofini kamaytirish uchun 330, 500, 750 kV kuchlanishli liniyalar bo‘lingan fazali qilib bajariladi. Faza simlarining kesim yuzasi bir simlardagiga o‘xshab aniqlanadi. n - simga bo‘lish,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

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

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

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



6.1.3-rasm. Liniyaning uzunligi bo'yicha sig'im toklarining o'zgarishi.

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

$$I_s = I_{s1} + I_{s2} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} \frac{B}{2} + \frac{U_2}{\sqrt{3}} \frac{B}{2} \quad (6.1.3)$$

yoki taxminan nominal kuchlanishda

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

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 mutanosibdir. B_0 ko'pincha har xil kuchlanishli liniyalar uchun juda kam miqdorda o'zgaradi, ya'ni amaliy jihatdan o'zgarmas deb qabul qilinadi. Shuning uchun sig'im toki I_B asosan kuchlanish U va liniyaning uzunligi orqali aniqlanadi.

Taqsimlovchi elektr tarmoq liniyalari (35 kV va undan past kuchlanishli) uncha katta bo'lmagan uzunlikka ega, shuning uchun ularning zaryad toki juda kichik va tarmoqni hisoblashda hisobga olinmaydi.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlari (110 kV va undan yuqori kuchlanishli) asosan katta uzunlik ℓ ga egadir, ularni zaryad toklari yuklama toklari bilan birgalikda katta miqdorga ega, shuning uchun hisoblarda inobatga olinadi.

6-35 kVli kabel liniyalarda solishtirma o'tkazuvchanlik havo 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.

$$Q_{\sigma_0} = \sqrt{3}UI_{\sigma_0} = \sqrt{3}U \frac{U}{\sqrt{3}} \sigma_0 = U^2 \sigma_0 \quad (6.1.5)$$

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:

$$Q_{B1} = Q_{B2} = U_n^2 \cdot B / 2 \quad (6.1.7)$$

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

1-misol. 330 kVli 350 km uzunlikdagi havo liniyasining zaryad quvvatini aniqlang. Liniya ASO-600/12 simidan tayyorlangan bo'lib, faza simlari orasidagi o'rtacha masofa $D_{or}=11,2$ m.

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

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

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

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

2-misol. Agarda liniya fazalari 2xASO-240 simidan tayyorlangan bo'lib, ekvivalent radius $r_{eq} 6,55$ 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

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

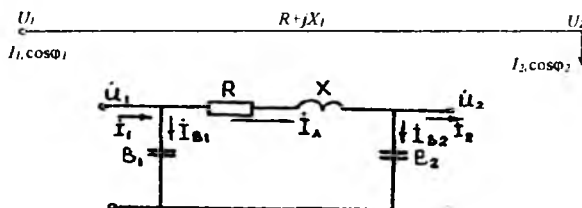
Zaryad toki

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

6.2. Elektr uzatuv liniyasining vektor diagrammasi

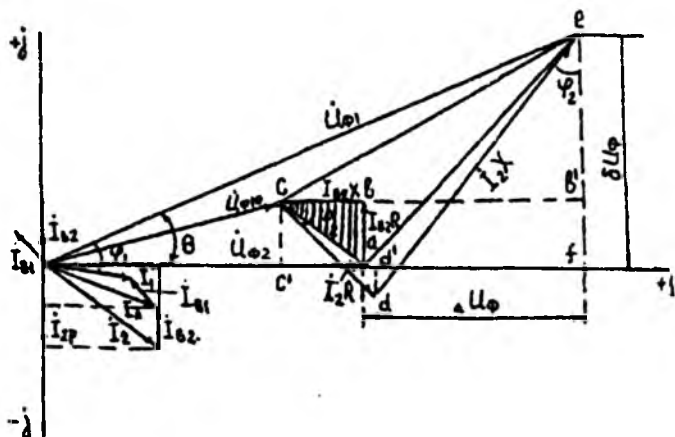
Taqsimlovchi elektr uzatish liniyasining (6.2.1-rasm) vektor diagrammasini tuzishda tojlanishda bo'lgan quvvat isrofi yo'q deb faraz qilamiz. Berilgan: liniyaning oxiridagi tok I_2 quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_2$ va kuchlanish U_2 . Aniqlash kerak: liniyaning boshidagi U_1 , I_1 , $\cos \varphi$. 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 katalikka kamaytiradi va ko‘ndalangiga tarkibiy qismini esa b^1 katalikka ko‘paytiradi. Shunday qilib, liniyadagi kuchlanish yo‘qotilishi kamayadi, U_{f1} va U_{f2} orasidagi fazalar burilishi esa kattalashadi.



6.2.1-rasm. Elektr uzatish liniyasining almashtiruv sxemasi.

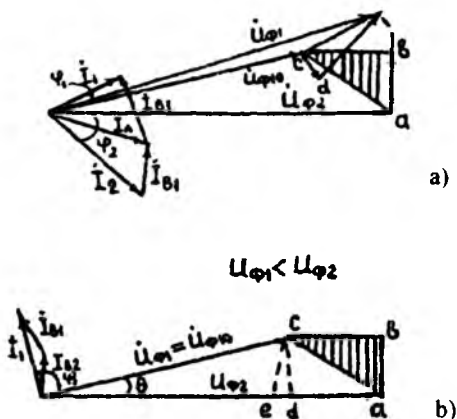
Birinchi natija – kuchlanish yo‘qotilishining kamayishi ayniqsa o‘rtacha va katta yuklamalarda liniyani ishlash holatiga ijobiy ta‘sir ko‘rsatib, liniyaning oxiridagi kuchlanishni normal darajada ushlashga imkon beradi.



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

Bir necha katta bo'lgan 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'zini 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 bo'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 tizimiga 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 podstantsiya apparatlarining izolatsiyasi 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_1} 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 tizimlararo 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:

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

yoki quvvatlar orqali:

$$\dot{U}_{f1} = \dot{U}_{f2} + \frac{P_{f2} R + (Q_{f2} - Q_{B2}) X}{U_{f2}} + j \frac{P_{f2} R + (Q_{f2} - Q_{B2}) R}{U_{f2}}$$

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

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \frac{Q_{B2} X}{U_2} + j \frac{Q_{B2} R}{U_2}$$

Bu formulalar va uzatish liniyasining vektor diagrammasi liniyaga ulangan har xil yuklamalarda, sig'im toki va zaryad quvvatining ilk kuchlanish va quvvat koeffitsiyentini o'zgarishiga ta'sir ko'rsatadi.

1-misol. 110 kV kuchlanishli uzunligi 140 km bo'lgan liniya orqali elektr stansiyasining yuqori kuchlanishli shinasidan energetika tizimiga $\hat{S}=50-j30$ mVA quvvat 120 kV li ishchi kuchlanishida uzatilmoqda. Liniyani energetika tizimiga 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

$$R=r_0 l=0,132 \cdot 140=18,5 \text{ Om}; B=b_0 l=2,84 \cdot 140 \cdot 10^{-6} \approx 400 \cdot 10^{-6} \text{ sm}, \\ x=x_0 l=0,39 \cdot 140=54,5 \text{ Om}$$

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

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

Agarda liniyani energetika tizimiga 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.

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

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

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

Liniya oxiridagi zaryad quvvati

$$Q_{B2}=U_2^2 B_2/2=99^2 \cdot 400 \cdot 10^{-6}/2 \approx 2 \text{ mVar}$$

Energetika tizimiga kelayotgan quvvat

$$S_2^1=\hat{S}_1-Q_2=45,4-j(19,3-2)=45,4-j21,3 \text{ MVA}$$

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 tizimining asosiy tarmog'iga $S_1=100-j50 \text{ mVA}$ quvvat uzatilmoqda. Liniya temir-beton tayanchlarda, faza simlari orasidagi masofa $D=7 \text{ m}$ da gorizontal joylashgan AS-300 simdan tayyorlangan tizimga 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.

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

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

Liniyaning boshidagi zaryad quvvatini aniqlaymiz

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

Liniyaning boshidagi quvvat

$$\dot{S}_1 = 100 - j(50 + 0,3) = 100 - j60,3 \text{ mVA}$$

Liniyadagi quvvat isrofi

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

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

Uzatish tarmog'i oxiridagi quvvat

$$\dot{S}_2 = (100 - 4,8) - (60,3 - 19,2) = 95,2 - j41,1 \text{ mVA}$$

Elektr uzatuv liniya boshidagi kuchlanish

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

Energetika tizimiga keladigan quvvat

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

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

U_1 ni 232 kV qabul qilishimiz liniya oxirida $U_2=211 \text{ kV}$ 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 - $z_0 = r_0 + jx_0$ va o'tkazuvchanliklar $y_0 = g_0 + jb_0$ - zanjirni uzunligida o'zgarmas deb qaraladi. Tok va kuchlanish liniyada doim o'zgarib turadi: tok o'tkazuvchanlikdagi toklar, kuchlanish qarshiliklarda kuchlanishni pasayishi ΔU sababli o'zgaradi.

Energiyani liniyadan to'liqinsimon 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.

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 \operatorname{ch} \sqrt{ZU} + I_2 \sqrt{\frac{Z}{Y}} \operatorname{sh} \sqrt{ZU} \quad (6.3.1)$$

$$I_1 = \frac{1}{\sqrt{Z}} \dot{U}_2 \sqrt{\frac{Y}{Z}} \operatorname{sh} \sqrt{ZU} + I_2 \operatorname{ch} \sqrt{ZU} \quad (6.3.2)$$

Bu yerda isrofsiz liniyalar uchun ($r_0=0$, $g_0=0$)

$$Z = j\omega L, \varphi\varphi Y = j\omega C,$$

$$\sqrt{ZY} = j\omega \sqrt{LC} = j\lambda, \varphi\sqrt{ZY} = \sqrt{LC}.$$

$$\omega \ell = \omega \sqrt{LC} = \omega \sqrt{LC} - \text{liniyaning to'liqin uzunligi};$$

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

Haqiqiy liniya uchun

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

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 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 $g_0 \ll b_0$, chunki tokni sirqib ketishi va tojlanishda isrofi (faza simlari bo'lingan va katta kesim yuzasiga egadir) katta emas.

z_c va λ - liniyaning asosiy xarakteristiklari hisoblanadi. Formuladan ko'rinadiki, z_c uzunlik ℓ ga bog'liq emas va liniyaning parametrlari bir xil bo'lganida zanjirning har qanday nuqtasi uchun o'zgarmasdir. Yakka simli havo liniyalarida $Z_c = 400 \text{ Om}$, fazasi ikkita

simdan iborat bo'lganida $z_c = 320 \text{ Om}$, fazasida uchta sim bo'lsa $z_c = 275 \text{ Om}$ kabel liniyalari uchun yakka z_c simli havo liniyasiga nisbatan 6-8 marta kamayadi.

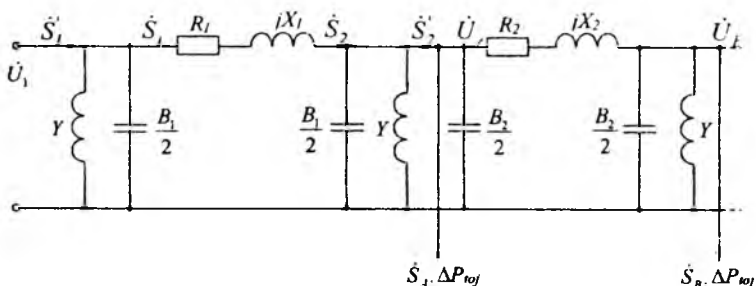
Energiyani tarqalish tezligi $v = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ to'liqinsimon va to'liqin uzunligi $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{50} = 6000 \text{ km}$. Unda liniyaning to'liqinsimon uzunligi bo'ladi:

$$\lambda_0 = \omega L \sqrt{L_0 C_0} = \frac{\omega l}{\lambda f} = \frac{2\pi}{\lambda} l$$

Har qanday uzunlikdagi liniyaning qarshiliklari $Z = R + jX$ va chetlaridagi o'tkazuvchanlik $y/2 = G/2 + jB/2$ bo'lgan «P» ko'rinishdagi to'plangan parametrlri ekvivalent almashtiruv sxema sifatida tasavvur qilsa bo'ladi. Liniyani «P» ko'rinishli almashtiruv sxemasi yordamida (6.3.1) ifodaga o'xshagan U_1 uchun tenglama tuzish mumkin:

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

Bu yerda $U_{2r} U/2$ – liniyaning oxiridagi o'tkazuvchanlik toki. Shunday qilib, uzunligi katta liniyalar uchun ifodalarda ko'rsatilgan liniyaning parametrlarini liniyaning uzunligiga taqsimlanishini hisobga oluvchi qandaydir tuzatish koeffitsiyentlari K_Z , K_U yordamida bog'lab, so'ngra oddiy almashtiruv sxemasidagi (6.3.3) ga o'xshagan ifodalar yordamida hisoblash mumkin.



6.3.1-rasm. Uzunligi katta bo'lgan liniyalarni himoyalash sxemasi.

300 km uzunlikkacha bo'lgan havo elektr uzatish liniyalari va 50 km gacha bo'lgan kabel liniyalarda tuzatish koeffitsiyentlari 1 ga yaqindir, shuning uchun taqsimlangan parametrlari liniyalarni hisoblashda hisobga olinmaydi. Uzunligi katta bo'lgan liniyalarni shunday uzunlikdagi qator uchastkalarga bo'lib, parametrlari taqsimlanish xususiyatidan voz kechish, hisoblarda katta xatoliklarni yuzaga keltirmaydi. Har bir 280-320 km. uzunlikdagi havo EUL uchastkalari «P» ko'rinishli almashtiruv sxemasi sifatida ko'rsatiladi, natijada katta liniyalarni zanjirli ketma-ket ulangan «P» ko'rinishli almashtiruv sxemasi hosil bo'ladi. Bunday sxemaga o'tish liniya oxiridagi kuchlanish va toklar orasidagi munosabatni aniqlashga imkon beribgina qolmay, balki uzunligi katta bo'lgan liniyalarda ularni qiymatlarini oraliq nuqtalarida ham ko'rsatadi, bu esa amaliy maqsadlar uchun juda zarurdir. Zanjir sxemali liniyalarni hisoblash ketma-ket bir uchastkadan ikkinchisiga o'tib amalga oshiriladi.

Nazorat savollari:

1. Isrofsiz liniya deb nimaga aytiladi?
2. Liniyaning to'liqsimon qarshiligi nimaga bog'liq?
3. Katta uzunlikka ega liniyalar hisobini qanday soddalashtirish mumkin?

6.4. Elektr uzatuv liniyasining o'tkazuvchanlik qobiliyati to'g'risida tushuncha

Kuchlanish U_H ni oshishi bilan EULni o'tkazuvchanlik qobiliyati keskin oshadi. Berilgan U_H kuchlanishda u uchta shart bo'yicha aniqlanadi.

1. Liniyadagi ΔP ga bog'liq iqtisodiy uzatish bilan.
2. Liniyadagi kuchlanish pasayishiga bog'liq liniya boshi va oxiridagi (EUL) kuchlanish darajasi bilan.
3. Elektr tizimida ta'minlaydigan elektr stansiyalar generatorlarini parallel ishlashdagi turg'unligi bilan.

Uzunlik L ni kattalashishi bilan liniya o'tkazuvchanligining pasayishi, uning boshi va oxiridagi kuchlanish o'zgarish darajasini farqi

yoki uzatuvchi va qabul qiluvchi tomonlar kuchlanishlari U_1 va U_2 orasidagi chegaraviy burchak δ bilan belgilanadi. Katta miqdordagi quvvatni uzoq L masofaga sanoat o'zlashtirgan nominal kuchlanishda uzatishga maxsus usullar bilan, masalan: liniya parametrlarining kompensatsiyalash (reaktiv quvvatni) ta'minlovchi elektr stansiya generatorlarini parallel ishlash turg'unligini sun'iy oshirish va boshqa yo'llar bilan erishiladi.

Elektr qabul qiluvchilarni aktiv R quvvat iste'mol qilishi shuningdek reaktiv quvvat Q iste'moli bilan bog'langan.

Kerakli Q yoki uning bir qismi aktiv quvvat R iste'mol qilina-yotgan joyning o'zida yoki EUL ni qabul qiluvchi podstansiyalari sinxron kompensatorlari va kondensator batareyalari yordamida ishlab chiqariladi yoki u ta'minlovchi elektr stansiyalar generatorlaridan liniyalar orqali uzatiladi.

Q ni liniyadan uzatishda to'liq quvvat S kattalashadi va unda isrof ΔU hamda ΔP kattalashishi yuzaga keladi. Q ning qaysi qismini liniyalar orqali uzatish, qaysisini joyida generatsiya qilish, iqtisodiy mulohazalardan, shuningdek liniya boshi va oxiridagi ruxsat etilgan, U_1 va U_2 qiymatlariga qarab hal qilinadi. 110-330 kVli liniyalar uchun qoidaga asosan liniyani boshi va oxirida kuchlanishlar, kuchlanishni ruxsat etilgan darajasi bo'yicha qabul qiluvchi sistema va liniyani uzatish oxiridagi farqqa ega bo'lishi, ushbu holatlarda EUL o'tkazish qobiliyatini to'la quvvat S bo'yicha baholash maqsadga muvofiqdir.

Elektr uzatishda Q ni qiymatiga zaryad quvvati Q_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

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

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 $B_0 = \omega C_0$ qiymatlarni qiyib $\cos\varphi = 1$ deb, liniyaning tabiiy quvvatini aniqlaymiz:

$$P_e = \frac{U^2}{\sqrt{I_0}} = \frac{U^2}{z_c} \quad (6.4.2)$$

Har xil kuchlanishda uch fazali liniyadan uzatiladigan tabiiy quvvat 6.4.1-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 katta 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 tizimda 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 TIZIMINING BERK TARMOQLARIDA QUVVAT TAQSIMLANISHINI HISOBLASH

7.1. Dastlabki ma'lumotlar

Elektr tizimlari quvvatlari va uzunliklarining kattalashishi bilan elektr hisoblar murakkablashdi. Bu hisoblarni yengillashtirish uchun energetika sistemasi tarmoqlari nazariyasi va hisoblash usullarini yaxshi bilish kerak.

Elektr tizimi elektr tarmoqlari hisoblarida sistemani ko'rila-yotgan 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 tizimi 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 tizimlarida 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 tizimini hisoblashda bir dona elektr stansiyasidan tashqari hamma elektr stansiyalari berilgan grafikda ishlaydi deb, ularning quvvati manfiy yuklamada olinadi. Bitta elektr stansiya erkin grafikda ishlaydi va energetika tizimida to'satdan bo'ladigan yuklamalar va quvvat isrofi o'rmini to'ldiradi. Elektr tizimi yuklamalari ko'pincha podstansiyaning past va o'rta kuchlanish tomonlarida beriladi.

Hisoblash sxemalari tuzilayotganda yuklamalar dastlab yuqori kuchlanish tomoniga keltiriladi. Keltirilgan yuklamalar podstantsiyani o'rta va past kuchlanish shinalarida berilgan yuklamalar va transformator qarshiligi va o'tkazuvchanliklaridagi quvvat isrofi yig'indisidan iborat bo'ladi. Elektr stansiya yuqori kuchlanish tomoniga keltirilgan quvvat, generator quvvatidan kuchaytiruvchi transformator qarshiligi va o'tkazuvchanliklaridagi quvvatni ayirib aniqlanadi.

Keltirilgan reaktiv quvvatni aniqlashda reaktiv quvvat isrofidan tashqari tegishli belgidagi podstantsiya 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 tizimini iqtisodiyligi va ishonchli ishlashidir.

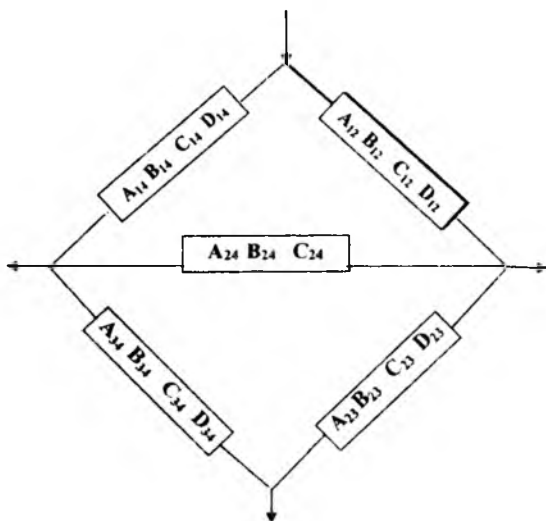
Ushbu qismda energetika tizimi berk tarmoqlarda quvvat taqsimlanishi va kuchlanishni hisoblashning bir nechta usullari ko'rib chiqiladi. Bunda berilgan parametrlarda elektr tizimi tugunlaridagi kuchlanish uning ishlashini belgilaganligi uchun tugun kuchlanishlari usuliga katta ahamiyat berildi.

Nazorat savollari:

1. Berk tarmoqlarda quvvat taqsimlanishni hisoblash nima uchun maqsadga muvofiqdir?
2. Ko'p sonli elektr stansiyalarga ega bo'lgan energetika tizimini 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 kuchlanish 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.

$$\dot{U}_1 = A_{12} \dot{U}_2 + B_{12} \dot{I}_{2(1)}$$

Bundan tokni aniqlaymiz

$$\dot{I}_{2(1)} = \frac{\dot{U}_1 - A_{12} \dot{U}_2}{B_{12}}$$

2-3 shoxobcha uchun

$$\dot{U}_3 = A_{32} \dot{U}_2 + B_{32} \dot{I}_{2(3)}$$

$$\dot{I}_{2(3)} = \frac{\dot{U}_3 - A_{32} \dot{U}_2}{B_{32}}$$

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.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\dot{U}_1 - \dot{A}_{12}\dot{U}_2}{\dot{B}_{12}} + \frac{\dot{U}_1 - \dot{A}_{13}\dot{U}_3}{\dot{B}_{13}} + \frac{\dot{U}_4 - \dot{A}_{42}\dot{U}_2}{\dot{B}_{42}} &= \dot{I}_2 \\ \frac{\dot{U}_2 - \dot{A}_{23}\dot{U}_3}{\dot{B}_{23}} + \frac{\dot{U}_4 - \dot{A}_{43}\dot{U}_3}{\dot{B}_{43}} &= \dot{I}_3 \\ \frac{\dot{U}_1 - \dot{A}_{14}\dot{U}_4}{\dot{B}_{14}} + \frac{\dot{U}_2 - \dot{A}_{24}\dot{U}_4}{\dot{B}_{24}} + \frac{\dot{U}_3 - \dot{A}_{34}\dot{U}_4}{\dot{B}_{34}} &= \dot{I}_4 \end{aligned} \right\} \quad (7.2.1)$$

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

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\dot{B}_{12}}\dot{U}_1 - \left(\frac{\dot{A}_{12}}{\dot{B}_{12}} + \frac{\dot{A}_{13}}{\dot{B}_{13}} + \frac{\dot{A}_{42}}{\dot{B}_{42}}\right)\dot{U}_2 + \frac{1}{\dot{B}_{42}}\dot{U}_4 &= \dot{I}_2 \\ \frac{1}{\dot{B}_{23}}\dot{U}_2 - \left(\frac{\dot{A}_{23}}{\dot{B}_{23}} + \frac{\dot{A}_{43}}{\dot{B}_{43}}\right)\dot{U}_3 + \frac{1}{\dot{B}_{43}}\dot{U}_4 &= \dot{I}_3 \\ \frac{1}{\dot{B}_{14}}\dot{U}_1 + \frac{1}{\dot{B}_{24}}\dot{U}_2 + \frac{1}{\dot{B}_{34}}\dot{U}_3 - \left(\frac{\dot{A}_{14}}{\dot{B}_{14}} + \frac{\dot{A}_{24}}{\dot{B}_{24}} + \frac{\dot{A}_{34}}{\dot{B}_{34}}\right)\dot{U}_4 &= \dot{I}_4 \end{aligned} \right\} \quad (7.2.2)$$

7.2.2-tenglamani tarraqq liniyasini umumlashtirilgan o'zgaras tarqaluvchi parametrlari sababli hisobga olishimiz mumkin.

Belgilaymiz $\frac{1}{\dot{B}_{12}} = Y_{12}$; $\frac{\dot{A}_{12}}{\dot{B}_{12}} + \frac{\dot{A}_{13}}{\dot{B}_{13}} + \frac{\dot{A}_{42}}{\dot{B}_{42}} = Y_{22}$ va shunga o'xshash hosil qilamiz.

$$\left. \begin{aligned} Y_{12}\dot{U}_1 - Y_{22}\dot{U}_2 + Y_{32}\dot{U}_3 + Y_{42}\dot{U}_4 &= \dot{I}_2; \\ 0 + Y_{23}\dot{U}_2 - Y_{33}\dot{U}_3 + Y_{43}\dot{U}_4 &= \dot{I}_3; \\ Y_{14}\dot{U}_1 + Y_{24}\dot{U}_2 + Y_{34}\dot{U}_3 - Y_{44}\dot{U}_4 &= \dot{I}_4 \end{aligned} \right\} \quad (7.2.3)$$

yoki matritsa ko'rinishida

$$[Y][U] = [I] \quad (7.2.4)$$

Ushbu tenglamalarda kuchlanish va tok bitta koordinat tizimida moslanishi kerak.

Ko'pincha tayanch tugun kuchlanishi haqiqiy o'qda yonalgan hisoblanadi. Ushbu holatda tenglamani yozishda qulaylik uchun muvozanatlovchi tugunni tayanch deb qabul qilamiz. Umumiy holatda tayanch uchun sxemadagi har qanday tugunni tanlash mumkin.

Yuklamalar quvvatlarda ifodalanganligini hisobga olib (7.2.3) tenglamada toklarni quvvatlarga $I = \frac{\dot{S}}{U_2}$ almashtirib, quyidagicha ko'rsatamiz.

$$\begin{aligned} Y_{12}\dot{U}_1 - Y_{22}\dot{U}_2 + Y_{32}\dot{U}_3 + Y_{42}\dot{U}_4 &= \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} \\ 0 + Y_{32}\dot{U}_2 - Y_{33}\dot{U}_3 + Y_{43}\dot{U}_4 &= \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} \\ Y_{14}\dot{U}_1 + Y_{24}\dot{U}_2 + Y_{34}\dot{U}_3 - Y_{44}\dot{U}_4 &= \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} \end{aligned} \quad (7.2.5)$$

Yoki matritsa ko'rinishida

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

(7.2.5) tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{aligned} -Y_{22}\dot{U}_2 - Y_{32}\dot{U}_3 + Y_{42}\dot{U}_4 &= \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} - Y_{12}\dot{U}_1 \\ Y_{12}\dot{U}_2 - Y_{13}\dot{U}_3 + Y_{41}\dot{U}_4 &= \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} \\ Y_{24}\dot{U}_2 + Y_{34}\dot{U}_3 - Y_{44}\dot{U}_4 &= \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} - Y_{14}\dot{U}_1 \end{aligned} \quad (7.2.7)$$

(7.2.6) ko'rinishidagi nochiqlik tugun kuchlanishlari tenglamalar tizimini asosan algebraik aniq usullar bilan yechish mumkin. Ammo bu murakkab, chunki tenglama noma'lum kompleks va turashgan qiymatlarga ega. Eng avval noma'lum tugun kuchlanishlarining mavhumligini yo'qotish uchun o'zgartirish zarur. So'ngra tenglamalar tizimini 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 foyda-

laniladi. Tugun kuchlanishlari tenglamalarni yechish uchun iteratsiya usuli keng qo'llaniladi.

(7.2.7) tizimni birinchi tenglamasidan ushbu tenglama tuguni kuchlanishini aniqlaymiz:

$$\dot{U}_2 = \frac{Y_{12}\dot{U}_1 + Y_{14}\dot{U}_4 + Y_{12}\dot{U}_1 - \dot{S}_2}{Y_{22}}$$

Yoki umumiy ko'rinishda

$$\dot{U}_P = \frac{\sum_q Y_{qp}\dot{U}_q - \dot{S}_P}{Y_{pp}}$$

Bu yerda, P – kuchlanish hisoblayotgan tugun nomeri;

q – P tugun bilan shoxobcha orqali to'g'ri ulangan tugun nomeri;

Y_{qp} – P tugunga kirgan shoxobcha o'tkazuvchanligi;

Y_{pp} – o'zining o'tkazuvchanligi.

Oddiy iteratsiyaning o'xshashligi, quyidagi teng emasligidadir

$$[Y_{pp}] > \sum [Y_{pq}]$$

Ammo (7.2.7)dan ushbu ko'rinishli sistemani ko'pgina tenglamalari uchun ushbu shart bajarilmaydi. Shuning uchun 7.2.7-tugun kuchlanishlari tenglamasini oddiy iteratsiya usulida yechish umumiy holatda bajarilmasligi mumkin, jarayon Zeydel usulida asta-sekin moslikka erishiladi.

Nazorat savollari:

1. Bitta ta'minlash punktiga ega bo'lgan murakkab berk tar-moqlarni tugun kuchlanishlari usulida hisoblash qanday olib boriladi?

2. Muvozanatlovchi (tayanch) tuguni deb qanday tugunga aytiladi?

3. Tenglamalarda tugun kuchlanishni mavhumligini yo'qotish uchun qanday o'zgartiriladi?

4. Tenglamalarni yechishda nima uchun ketma-ket yaqinlashish (iteratsiya) usulidan foydalanadi?

7.3. Tugun kuchlanishlari tenglamasini foydalaniladigan ko'rinishi

Tugun kuchlanishlari tenglamasini foydalaniladigan 7.2.4-shaklini quyidagi ko'rinishda tugun kuchlanishiga nisbatan yozamiz:

$$[U] = [Y]^{-1} [U] \quad (7.3.1)$$

7.3.1 ko'rinishdagi tenglama, tugun kuchlanishlari tenglamasini foydalaniladigan shakli deb atiladi.

7.2.1-sxema uchun 7.2.7-tenglamalar sistemasini o'ng qismi ma'lum deb, noma'lum tugun kuchlanishlarini belgilaymiz va bu sistemani yechamiz:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \frac{\begin{vmatrix} \dot{S}_2 & -Y_{12} \dot{U}_1 & Y_{12} \dot{U}_2 \\ \dot{S}_3 & & -Y_{13} \dot{U}_3 \\ \dot{S}_4 & Y_{14} \dot{U}_1 & Y_{14} \dot{U}_2 & -Y_{14} \dot{U}_3 \end{vmatrix}}{\Delta} \\ \dot{U}_2 &= \frac{\begin{vmatrix} -Y_{22} \dot{S}_2 & -Y_{22} \dot{U}_1 & Y_{22} \dot{U}_2 \\ \dot{S}_3 & & Y_{23} \\ Y_{24} \dot{S}_4 & Y_{24} \dot{U}_1 & Y_{24} \dot{U}_2 & -Y_{24} \dot{U}_3 \end{vmatrix}}{\Delta} \\ \dot{U}_3 &= \frac{\begin{vmatrix} -Y_{32} \dot{S}_2 & -Y_{32} \dot{U}_1 \\ Y_{33} & \\ Y_{34} \dot{S}_4 & Y_{34} \dot{U}_1 & Y_{34} \dot{U}_2 & -Y_{34} \dot{U}_3 \end{vmatrix}}{\Delta} \end{aligned}$$

Aniqlagichlarni ochib va bo'lish amalini bajarib foydalaniladigan tugun kuchlanishlari tenglamalar tizimini olamiz:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= a_{11} \dot{U}_1 + b_{12} \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} + b_{13} \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} + b_{14} \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} \\ \dot{U}_2 &= a_{21} \dot{U}_1 + b_{22} \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} + b_{23} \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} + b_{24} \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} \\ \dot{U}_3 &= a_{31} \dot{U}_1 + b_{32} \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} + b_{33} \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} + b_{34} \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} \end{aligned} \quad (7.3.2)$$

Sxema n tugunga ega bo'lsa, shuncha o'xshash ko'rinishdagi tenglamalar tizimini olamiz:

$$\dot{U}_n = a_{n1} \dot{U}_1 + b_{n2} \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} + b_{n3} \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} + \dots + b_{nn} \frac{\dot{S}_n}{\dot{U}_n} \quad (7.3.3)$$

Bu yerda, UK—tayanch kuchlanishi.

Olingan tenglamalardan ko'rinadiki, b koeffitsiyenti qarshilik o'lchamiga ega.

a – koeffitsiyentini fizik mazmunini aniqlash uchun

$\dot{S}_2 = \dot{S}_3 = \dot{S}_4 = 0$ deb, tarmoqni salt yurish holatini ko'ramiz. Unda (7.3.2) tenglamalar tizimidan $\dot{U}_2 = a_{21} \dot{U}_1$; $\dot{U}_3 = a_{31} \dot{U}_1$; $\dot{U}_4 = a_{41} \dot{U}_1$ bo'ladi.

Bundan ko'rinadiki, a koeffitsiyenti umumiy son bo'lib, sistema yuklanmagan holatda tugun kuchlanishini tayanch kuchlanishiga nisbatining tengligidir. Bu koeffitsiyentlar (U_n va U_1) kuchlanishlarning transformatsiyali bog'liqligini hamda parallel o'tkazuvchanlik elementlari toklaridan kuchlanishning pasayishi, tarmoq konturidagi tenglashtiruvchi toklarning, hisobga oladi, agarda ular bo'lsa.

Ko'pincha elektr tizimi tartiblari hisoblari parametrlarni bitta pog'ona kuchlanishga keltirib, hamma parallel o'tkazuvchanliklarni tugun yuklamalarida hisobga olib amalga oshiriladi. Bu shartda a-koeffitsiyenti 1 ga teng bo'ladi. Unda b_{nk} -koeffitsiyentlari 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 tizimini statik modulida tajriba asosida, tugunlarga ketma-ket tok birligini o'rnatib va sxema tugunlari orasidagi kuchlanish hamda shoxobcha toklarini o'lchash bilan aniqlash mumkin.

7.2.3. tenglamalar tizimi 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

$$\sum \left| b_{nd} \frac{\dot{S}_n}{\dot{U}_n} \right| < 1$$

Ko'rilayotgan tartibdagi hisoblarda, foydalaniladigan shakldagi tugun kuchlanish 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 -koeffitsiyentni bir marta aniqlash qanday natija beradi?
4. Moslanish kriteriyasi sharti qanday?

7.4. Tugun kuchlanishlari tenglamasi koeffitsiyentlarini aniqlash

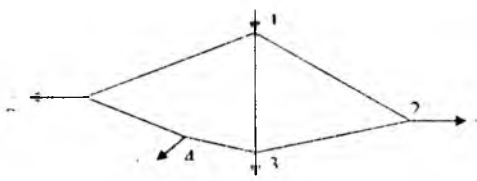
7.4.1-rasmda ko'rsatilgan ikki konturli berk tarmoqning tugun kuchlanishlari koeffitsiyentlarining umumlashtirilgan shaklda aniqlash usulini ko'rib chiqamiz.

Tugun kuchlanish tenglamalari umumiy ko'rinishda ifodalarda berilishi mumkin

$$\dot{U}_i = a_i \dot{U}_k + \sum_{m=2}^n b_{im} \frac{\dot{S}_m}{\dot{U}_m}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, k, \dots, n.$

7.4.1-rasmdagi sxema uchun tayanch kuchlanishli tugun kuchlanishlari tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:



7.4.1-rasm. Elektr tarmog'i sxemasi.

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{a}_{13} \dot{U}_3 + \dot{b}_{12} \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} + \dot{b}_{13} \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} + \dot{b}_{14} \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} + \dot{b}_{15} \frac{\dot{S}_5}{\dot{U}_5} \\ \dot{U}_2 &= \dot{a}_{23} \dot{U}_3 + \dot{b}_{22} \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} + \dot{b}_{23} \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} + \dot{b}_{24} \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} + \dot{b}_{25} \frac{\dot{S}_5}{\dot{U}_5} \\ \dot{U}_3 &= \dot{U}_3 \\ \dot{U}_4 &= \dot{a}_{43} \dot{U}_3 + \dot{b}_{42} \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} + \dot{b}_{43} \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} + \dot{b}_{44} \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} + \dot{b}_{45} \frac{\dot{S}_5}{\dot{U}_5} \\ \dot{U}_5 &= \dot{a}_{53} \dot{U}_3 + \dot{b}_{52} \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} + \dot{b}_{53} \frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3} + \dot{b}_{54} \frac{\dot{S}_4}{\dot{U}_4} + \dot{b}_{55} \frac{\dot{S}_5}{\dot{U}_5} \end{aligned} \right\} \quad (7.4.1)$$

Ko'rilayotgan tarmoq uchun

$$\dot{a}_{13} = \dot{a}_{23} = \dot{a}_{43} = \dot{a}_{53} = 1$$

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 $\dot{S}_3 = \dot{S}_4 = \dot{S}_5 = 0$, $\dot{I}_2 = \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} = 1$, tartib uchun (7.4.1)

tenglamalar tizimi quyidagi ko'rinish oladi.

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_3 + \dot{b}_{12}; & \dot{U}_2 &= \dot{U}_3 + \dot{b}_{22}; \\ \dot{U}_3 &= \dot{U}_3 + \dot{b}_{32}; & \dot{U}_4 &= \dot{U}_3 + \dot{b}_{42}; \end{aligned}$$

Bundan kuchlanishning pasayishini ko'rsatuvchi b_{12} -koeffitsiyentlarini aniqlash mumkin. O'z navbatida kuchlanish pasayishini tarqatish koeffitsiyenti $C_{12}^{(2)}$ orqali ifodalash mumkin.

$$\begin{aligned} \dot{b}_{12} &= \dot{U}_1 - \dot{U}_3 = \dot{C}_{13}^{(2)} \dot{Z}_{13}; & \dot{b}_{42} &= \dot{U}_4 - \dot{U}_3 = \dot{C}_{43}^{(2)} \dot{Z}_{43}; \\ \dot{b}_{22} &= \dot{U}_2 - \dot{U}_3 = \dot{C}_{23}^{(2)} \dot{Z}_{23}; & \dot{b}_{52} &= \dot{U}_5 - \dot{U}_3 = \dot{C}_{53}^{(2)} \dot{Z}_{53}; \end{aligned}$$

Bu yerda 2-tugundagi birlamchi tokdan 1-3 uchastkadagi tarqalish koeffitsiyenti: shunga o'xshash $C_{23}^{(2)}$, $C_{43}^{(2)}$ va $C_{31}^{(2)}$ -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:

$$\left. \begin{aligned} \dot{b}_{13} &= \dot{U}_1 - U_3 = \dot{C}_{13}^{(3)} Z_{13} ; \\ \dot{b}_{23} &= \dot{U}_2 - U_3 = \dot{C}_{23}^{(3)} Z_{23} ; \\ \dot{b}_{43} &= \dot{U}_4 - U_3 = \dot{C}_{43}^{(3)} Z_{43} ; \\ \dot{b}_{53} &= \dot{U}_5 - U_3 = \dot{C}_{53}^{(3)} Z_{53} \end{aligned} \right\} \quad (7.4.2)$$

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 $\dot{S}_2 = \dot{S}_3 = \dot{S}_5 = 0$ va $\dot{I}_4 = \frac{\dot{S}_4}{U_4} = 1$. Bu tartib va tugun kuchlanishlari tenglamasidan, (7.4.1)dan aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \dot{b}_{14} &= \dot{U}_1 - U_3 = \dot{C}_{13}^{(4)} Z_{13} ; \\ \dot{b}_{24} &= \dot{U}_2 - U_3 = \dot{C}_{23}^{(4)} Z_{23} ; \\ \dot{b}_{44} &= \dot{U}_4 - U_3 = \dot{C}_{34}^{(4)} Z_{43} ; \\ \dot{b}_{54} &= \dot{U}_5 - U_3 = \dot{U}_5 - \dot{U}_4 + \dot{U}_4 - U_3 = \dot{C}_{54}^{(4)} Z_{54} - \dot{C}_{34}^{(4)} Z_{34} \end{aligned}$$

$\dot{S}_2 = \dot{S}_3 = \dot{S}_4 = 0$ va $\dot{I}_5 = \frac{\dot{S}_5}{U_5}$ tartib uchun (7.4.1) tenglamalar tizimi

asosida topamiz.

$$\begin{aligned} \dot{b}_{15} &= \dot{U}_1 - U_3 = \dot{C}_{13}^{(5)} Z_{13} ; \\ \dot{b}_{25} &= \dot{U}_2 - U_3 = \dot{C}_{23}^{(5)} Z_{23} ; \\ \dot{b}_{45} &= \dot{U}_4 - U_3 = \dot{C}_{43}^{(5)} Z_{43} ; \\ \dot{b}_{55} &= \dot{U}_5 - U_3 = \dot{C}_{45}^{(5)} Z_{45} \end{aligned}$$

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 tizimiga 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.

$$U_1^{(m)} = U_K + b_{n1} \frac{S_2}{U_2^{(m-1)}} + \dots + b_n \frac{S_i}{U_i^{(m-1)}} + \dots + b_m \frac{S_n}{U_n^{(m-1)}}$$

Ko'rilayotgan (7.5.1) tenglamalar tizimi uchun misolda yaqinlashishni yozamiz.

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1^{(3)} &= U_1 + \dot{b}_{12} \frac{\dot{S}_2}{U_2^{(2)}} + \dot{b}_{13} \frac{\dot{S}_3}{U_3} + \dot{b}_{14} \frac{\dot{S}_4}{U_4^{(2)}} + \dot{b}_{15} \frac{\dot{S}_5}{U_5^{(2)}}; \\ \dot{U}_2^{(3)} &= U_2 + \dot{b}_{22} \frac{\dot{S}_2}{U_2^{(2)}} + \dot{b}_{23} \frac{\dot{S}_3}{U_3} + \dot{b}_{24} \frac{\dot{S}_4}{U_4^{(2)}} + \dot{b}_{25} \frac{\dot{S}_5}{U_5^{(2)}}; \\ \dot{U}_3 &= U_3; \\ \dot{U}_4^{(3)} &= U_4 + \dot{b}_{42} \frac{\dot{S}_2}{U_2^{(2)}} + \dot{b}_{43} \frac{\dot{S}_3}{U_3} + \dot{b}_{44} \frac{\dot{S}_4}{U_4^{(2)}} + \dot{b}_{45} \frac{\dot{S}_5}{U_5^{(2)}}; \\ \dot{U}_5^{(3)} &= U_5 + \dot{b}_{52} \frac{\dot{S}_2}{U_2^{(2)}} + \dot{b}_{53} \frac{\dot{S}_3}{U_3} + \dot{b}_{54} \frac{\dot{S}_4}{U_4^{(2)}} + \dot{b}_{55} \frac{\dot{S}_5}{U_5^{(2)}} \end{aligned} \right\}$$

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 kompleksini

$$\dot{S}_{13}^{(3)} = \frac{\Delta \dot{U}_{13}}{Z_{13}} U_1$$

(qavsdagi daraja quvvatni uchastka orqali 3-tugunga oqishini ko‘rsatadi);

$$\dot{S}_{23}^{(3)} = \frac{\Delta \dot{U}_{23}}{Z_{23}} U_3; \quad \dot{S}_{43}^{(3)} = \frac{\Delta \dot{U}_{43}}{Z_{43}} U_3$$

1-tugun uchastkalaridagi quvvat

$$\dot{S}_{11}^{(1)} = \frac{\Delta \dot{U}_{11}}{Z_{11}} U_1; \quad \dot{S}_{12}^{(1)} = \frac{\Delta \dot{U}_{12}}{Z_{12}} U_1; \quad \dot{S}_{15}^{(1)} = \frac{\Delta \dot{U}_{15}}{Z_{15}} U_1;$$

2-tugun uchastkalaridagi quvvat

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \frac{\Delta \dot{U}_{12}}{Z_{12}} U_2; \quad \dot{S}_{23}^{(2)} = \frac{\Delta \dot{U}_{23}}{Z_{23}} U_2;$$

4-tugun uchastkalaridagi quvvat

$$\dot{S}_{14}^{(4)} = \frac{\Delta \dot{U}_{14}}{Z_{14}} U_4; \quad \dot{S}_{45}^{(4)} = \frac{\Delta \dot{U}_{45}}{Z_{45}} U_4$$

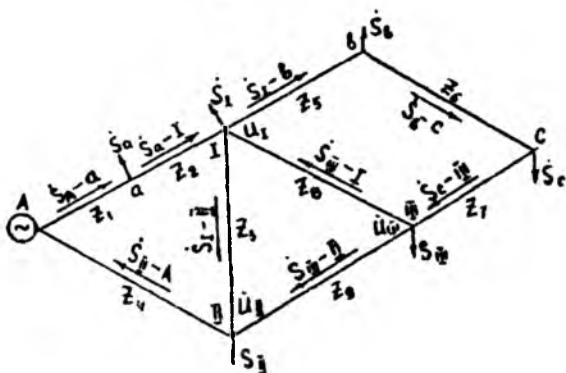
5-tugun uchastkalaridagi quvvat

$$\dot{S}_{15}^{(S)} = \frac{\Delta \dot{U}_{15}}{Z_{15}} \dot{U}_{15}; \quad \dot{S}_{45}^{(S)} = \frac{\Delta \dot{U}_{45}}{Z_{45}} \dot{U}_{15}$$

Bir ta'minlovchi punkt bo'lgan tarmoqni tugun kuchlanishlari usulida hisoblash. Bu usulni 7.5.1 - rasmdagi misol uchun ko'rib chiqamiz.

Agarda birinchi bosqichda uchastkalardagi o'tkazuvchanlik va quvvat isrofini hisobga olmasak, unda hisoblash bir qancha ketma-ket bamlardan 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):

$$I_{teng} = (\dot{U}_I - \dot{U}_{II}) / Z,$$

va tenglashtiruvchi quvvat

$$\dot{S}_{TENG} = 3 \dot{U}_{1\varphi} I_{TENG} \quad (7.5.1)$$

Bunda, quvvatlarni va kuchlanishlarni ko'rilayotgan faza qiymatlari uchun hisoblash qulaydir.

Yuklamaning mavjudligida ko'rilayotgan liniya uchun (liniya I-v-s-II)

$$\dot{S}_{i \text{ ug}} = \frac{\dot{S}_i (Z_i + Z_{i-1}) + \dot{S}_{i-1} Z_i}{Z_i + Z_i + Z_{i-1}} + U_{\text{VF}} i_{\text{TEVG}} \quad (7.5.2)$$

Bu yerda

$$I_{\text{TEVG}} = (\dot{U}_{i-1} - \dot{U}_{ii}) / (Z_i + Z_i + Z_{i-1}) \quad (7.5.3)$$

(7.5.2) va (7.5.3) dan, ifodaga kiruvchi noma'lum kattaliklar – bu faqat tugun kuchlanishlari $\dot{U}_I, \dot{U}_{II}, \dot{U}_{III}$. Hamma boshqa qiymatlar berilgan.

Shunga o'xshash

$$\dot{S}_{s \text{ muf}} = [\dot{S}_s Z_s + \dot{S}_c (Z_s + Z_{s-1})] / (Z_s + Z_s + Z_{s-1}) + U_{\text{VF}} i_{\text{TEVG}}^* \quad (7.5.4)$$

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.

$$\begin{aligned} \dot{S}_{\text{VF}} - \dot{S}_{i \text{ s}} + \dot{S}_{m \text{ I}} - \dot{S}_{i \text{ B}} - \dot{S}_i &= 0 \\ \dot{S}_{i \text{ AI}} - \dot{S}_{m \text{ V}} - \dot{S}_{u \text{ s}} - \dot{S}_n &= 0 \\ \dot{S}_{c \text{ m}} - \dot{S}_{m \text{ I}} - \dot{S}_{m \text{ B}} - \dot{S}_{n \text{ I}} &= 0 \end{aligned} \quad (7.5.5)$$

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 uchastkalardagi quvvatlar (7.5.2), (7.5.3) ga o'xshab topiladi. Keyin bosqichlar kontur toklar usulini qaytaradi.

1. Iteratsiya usulida tugun kuchlanishi nima uchun tayanch kuchlanishiga teng deb qabul qilinadi?

2. Tugun kuchlanishlari tenglamalar usuli quvvat isrofini hisobga olib, qanday hisoblashga imkon beradi?

7.6. Murakkab berk zanjirli elektr tarmoqlarni kontur toklari usulida hisoblash

Murakkab berk zanjirli elektr tarmog'i -- bu tugun nuqtalariga ega bo'lgan tarmoqdir. Tugun nuqtalari shunday nuqtalarki, ularga yuklamalardan tashqari kamida uchta shoxobcha birlashadi. 7.6.1-rasmda I, II va III tugun nuqtalari bo'lgan murakkab berk zanjirli tarmoq sxemasi ko'rsatilgan. Berk zanjirli tarmoqlarni hisoblash ancha murakkab va ochiq tarmoqlarni yoki ikki tarafdan ta'minlanadigan tarmoqlarni hisoblashga qaraganda ancha farq qiladi. Murakkab zanjirlarni hisoblash kontur toklari (quvvatlari), tugun kuchlanishlari, tarmoqni o'zgartirish usullari yordamida amalga oshirilishi mumkin. Oxirgi usul 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 tarafdan ta'minlanuvchi tarmoqlardagi kabi, berilgan yuklamalar va qarshiliklarni inobatga olib, liniya uchastkalaridagi quvvatlarni (yoki toklarni) aniqlashdan iboratdir.

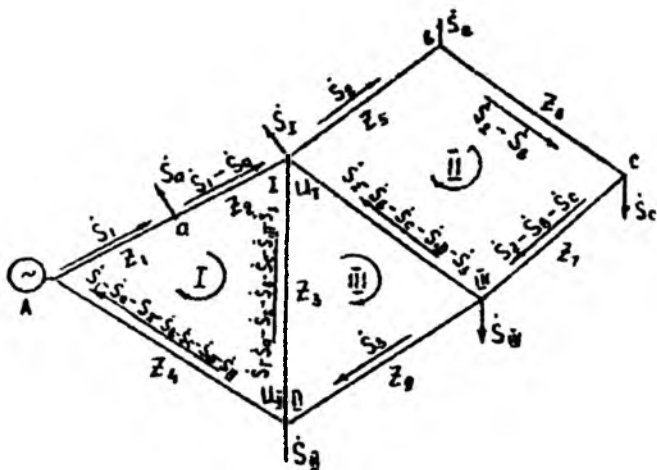
Murakkab zanjirli tarmoqlarni hisoblashdagi maqsadga muvofiq usullardan biri kontur toklari usulidir. Bu usulni bir ta'minlovchi punkti bo'lgan tarmoqlar uchun ko'rib chiqamiz.

Murakkab berk zanjirli tarmoqni hisoblashning birinchi bosqichida tarmoqdagi quvvatlar taqsimlanishi o'tkazuvchanliklarni va quvvat isrofini, ya'ni U_0 va ΔS ni hisobga olmasdan aniqlanadi.

Hisoblash bandlari quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

1. Mustaqil konturlar soni liniyalar sonidan tugunlar sonini ayirib aniqlanadi (mustaqil deb shunday konturga aytiladiki, qachonki uni bitta ham shoxobchasi boshqa konturga kirmaydi).

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'i nazar, tugungacha bo'lgan bir qismi qabul qilinadi.



7.6.1 - rasm. Murakkab berk zanjirli tarmoq.

Masalan, «v» va «s» nuqtalardagi yuklamalardan qat'i 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 al uchastkadagisi esa S_1-S_a , 1-11 uchastkasidagi esa $\dot{S}_1-\dot{S}_a-\dot{S}_1-\dot{S}_2-\dot{S}_3-\dot{S}_4-\dot{S}_5$ 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.

$$\begin{aligned} \dot{S}_1 Z_1 + (\dot{S}_1 - \dot{S}_2) Z_2 + (\dot{S}_1 - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4 - \dot{S}_5 - \dot{S}_6) Z_3 + (\dot{S}_1 - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4 - \dot{S}_5 - \dot{S}_6 - \dot{S}_7) Z_4 = 0 \\ \dot{S}_2 Z_2 + (\dot{S}_2 - \dot{S}_3) Z_3 + (\dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4) Z_4 + (\dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4 - \dot{S}_5 - \dot{S}_6) Z_5 = 0 \\ \dot{S}_3 Z_3 + (\dot{S}_3 - \dot{S}_4 - \dot{S}_5 - \dot{S}_6 - \dot{S}_7) Z_4 - (\dot{S}_3 - \dot{S}_4 - \dot{S}_5 - \dot{S}_6) Z_5 = 0 \end{aligned} \quad (7.6.1)$$

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 ΔS ni hisobga olmasdan amalga oshiriladi?

2. Kontur toklari usulida mustaqil deb qanday konturga aytiladi?

3. Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan kontur tenglamalari qanday tuziladi?

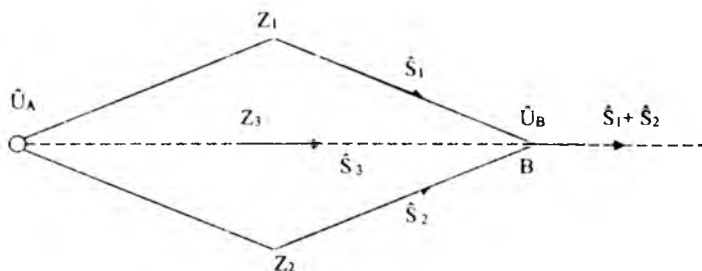
7.7. Murakkab berk tarmoqlarni o'zgartirish

Tugun nuqtalariga ega berk tarmoqlarda quvvat taqsimlanishi uchun «Nazariy elektr texnika» kursidan ma'lum kontur tenglamalari tugun nuqtalari kuchlanishi va tarmoqni o'zgarish usullaridan foydalaniladi. Tarmoqni o'zgartirish usuli eng sodda va ishlatilishi umumiy usul bo'lib, uni qisqa tutashuv toki hamda elektr tizimining 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 liniyalı 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. Liniyalı 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:

$$S_e = S_1 + S_2$$

$$Z_e = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (7.7.1)$$

Uchta parallel liniyalar uchun

$$S_e = S_1 + S_2 + S_3$$

$$Z_e = \frac{Z_1 \cdot Z_2 \cdot Z_3}{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}$$

Keltirilgan sxemaning dastlabki holatga keltirishda Se ni dastlabki sxemasi bo'yicha shoxobchalarda taqsimlanishni aniqlash zarur. Chunki qo'yilgan masalaga asosan V nuqtadagi kuchlanish o'zgarmasdan qolishi kerak, parallel liniyalarda (ularning soniga qaramasdan) A va V nuqtalar orasidagi kuchlanishning pasayishi bir xil bo'lishi shart.

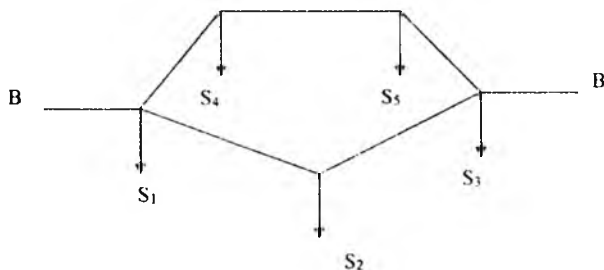
$$\frac{\dot{S}_1}{U_N} Z_1 = \frac{\dot{S}_2}{U_N} Z_2 = \frac{\dot{S}_3}{U_N} Z_3 = \frac{\dot{S}_4}{U_N} Z_4, \quad (7.7.2)$$

(10.1.2) tenglikdan aniqlaymiz:

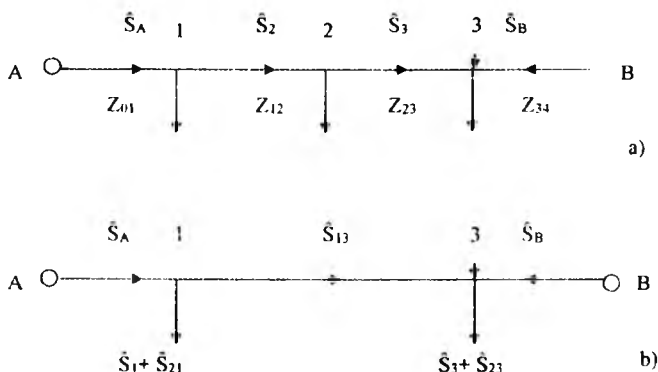
$$\dot{S}_1 = \dot{S} \cdot \frac{Z_1}{Z_1}; \dot{S}_2 = \dot{S} \cdot \frac{Z_2}{Z_1}; \dot{S}_3 = \dot{S} \cdot \frac{Z_3}{Z_1}. \quad (7.7.3)$$

Yuklamani tarmoqning boshqa nuqtasiga ko'chirish. Berk tarmoqlarning har qanday uchastkalari parallel liniyalarini, agarda ushbu liniyalarga ulangan yuklama bo'lmasa, ekvivalent qilish mumkin, buning aksi liniyada kuchlanishning pasayishi har xil bo'lib qoladi. Yig'ilgan yuklamalarga ega parallel liniyalarni ekvivalentiga almashtirish uchun ushbu yuklamalarni boshqa nuqtaga, masalan, o'zgartiriladigan uchastka chegaralariga (7.7.2-rasm 1 va 3) ko'chirishga harakat qilinadi.

Faraz qilaylik, 1-3 liniyani (7.7.3-rasm, a) va boshqa unga parallel liniyani bitta unga ekvivalent liniya bilan almashtirish talab etiladi. 1-3 liniyaning 2-nuqtasida joylashgan yuklama S_2 ni, 1 va 3 nuqtalarda joylashgan ekvivalent yuklama S_{21} va S_{23} , qo'shni uchastkalardagi liniyalik quvvatlar S_A va S_B , 1 va 3 nuqtalardagi kuchlanishlar dastlabki va o'zgartirilgan sxemalarda (7.7.3-rasm, b) o'zgarishsiz qolish sharti bilan almashtirish mumkin.



7.7.2-rasm. Yuklamasi bo'lgan parallel liniyalarni 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:

$$\frac{\dot{S}_2}{U_n} Z_{12} + \frac{\dot{S}_3}{U_n} Z_{23} = \frac{\dot{S}_{13}}{U_n} (Z_{12} + Z_{23}) \quad (7.7.4)$$

1 va 2 nuqtalardagi yuklamalar balansini qabul qilingan cheklanishlar (ya'ni quvvat isrofini hisobga olmay) yozishimiz mumkin:

$$\dot{S}_2 = \dot{S}_1 - \dot{S}_{21}; \quad \dot{S}_3 = \dot{S}_4 - (\dot{S}_1 + \dot{S}_2) \quad (7.7.5)$$

Liniyalı quvvat qiymatlarini yig'ilgan yuklamali ifodadan (7.7.5) formulaga asosan 7.7.4 ga qo'yib va soddalashtirib olamiz:

$$\frac{\dot{S}_2}{U_n} Z_{23} = \frac{\dot{S}_{21}}{U_n} (Z_{12} + Z_{23})$$

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:

$$\hat{S}_{21} = S_2 \frac{Z_{12}}{Z_{12} + Z_{21}} \quad (7.7.6-b)$$

(7.7.6-a) formulalar orqali topilgan $\hat{S}_{12}$ va $\hat{S}_{23}$ yuklamalarni qo'shib, aniqlaymiz:

$$\hat{S}_{21} + \hat{S}_{23} = \hat{S}_2$$

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 liniyalik quvvatlarni qanday aniqlanishini ko'rib chiqamiz.

O'zgartirilgan sxemada (7.7.2 b-rasmga asosan quvvat taqsimoti 1-3 uchastkaga teng.

$$S_{13} = S_1 - (S_1 + S_{21})$$

Dastlabki sxemada $\hat{S}_{21}$ ni 2-nuqtdaga 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.

$$S_1 = \hat{S}_{13} + \hat{S}_{23} = \hat{S}_1 - (\hat{S}_1 + \hat{S}_{21}) - \hat{S}_{21} = \hat{S}_2 - \hat{S}_2$$

Yuklamalarning qiymatiga qarab, o'zgartirilgan dastlabki sxemaga o'tkazilganda, quvvat bo'linishi nuqtasining o'rni o'zgarishi mumkin.

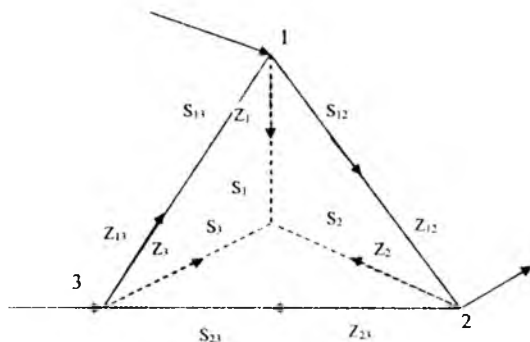
Uchburchakni ekvivalent yulduzga o'zgartirish. Agarda berilgan tarmoq sxema tomonlarida yig'ilgan yuklama yo'q uchburchak konturi uchrasa (7.7.4-rasm), unda murakkab sxemani ikki tarafdin ta'minlanuvchi liniyaga keltirish uchun uchburchakni ekvivalent yulduzga (rasmda punktirda ko'rsatilgan) aylantiriladi.

Elektr texnika fanidan ma'lumki, ekvivalent yulduz nurlarining qarshiligi quyidagi tengliklardan aniqlanadi.

$$Z_1 = \frac{Z_{12} * Z_{31}}{Z_{12} + Z_{21} + Z_{31}}; \quad Z_2 = \frac{Z_{12} * Z_{21}}{Z_{12} + Z_{21} + Z_{31}}; \quad Z_3 = \frac{Z_{12} * Z_{31}}{Z_{12} + Z_{21} + Z_{31}} \quad (7.7.7)$$

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 yo'nalishini berib, uchastkalaridagi tokni nominal kuchlanishga asosan topib, ega bo'lamiz

$$\frac{\hat{S}_{12}}{U_n} Z_{12} = \frac{\hat{S}_1}{U_n} Z_1 - \frac{\hat{S}_2}{U_n} Z_2$$

Bundan

$$\hat{S}_{12} = \frac{\hat{S}_1 Z - \hat{S}_2 Z_2}{Z_{12}}, \quad \hat{S}_{23} = \frac{\hat{S}_2 Z_1 - \hat{S}_3 Z_3}{Z_{23}}, \quad \hat{S}_{31} = \frac{\hat{S}_3 Z_1 - \hat{S}_1 Z_1}{Z_{31}}, \quad (7.7.8)$$

Agarda natija manfiy belgida chiqsa, uchburchak tomonlaridagi quvvatning shartli yo‘nalishi o‘zgarishi kerak.

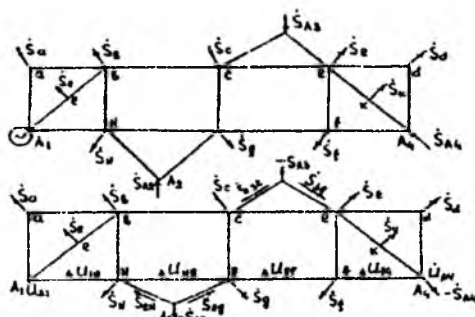
Nazorat savollari:

1. Murakkab berk tarmoqlar qanday o‘zgartiriladi?
2. Parallel liniyalarni qo‘shib umumiy liniya qanday aniqlanadi?
3. O‘zgartirilgan tarmoqdagi yuklama qanday ko‘chiriladi?
4. Qarshiliklarni o‘zgartirishda uchburchakni ekvivalent yulduzga qanday o‘tiladi?

7.8. Bir necha ta‘minlash punktlariga ega bo‘lgan murakkab berk zanjirli tarmoqlarni hisoblash xususiyatlari

Bir necha elektr stansiyalarga ega bo‘lgan energotizimning 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 tizimida 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:

$$S_{AI}^I = \dot{S}_a + \dot{S}_b + \dot{S}_c + \dot{S}_e + \dot{S}_d + \dot{S}_v + \dot{S}_g + \dot{S}_f + \dot{S}_k + \dot{S}_l - \dot{S}_{A2} - \dot{S}_{A3} - \dot{S}_{A4} \quad (7.8.1)$$

Tarmoqdagi quvvat isrofi aniqlangandan so'ng, uning yig'indisi hisobga olinib, yana muvozanatlovchi tugunning quvvati aniqlanadi.

$$\dot{S}_{AI} = \dot{S}_{AI} + \sum \Delta \dot{S} \quad (7.8.2)$$

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 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 hamda ko'rilayotgan tugunlar orasidagi kuchlanish pasayishining ayirmasiga teng bo'lishi kerak. Shuningdek 7.8.1- rasm uchun bu tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$\dot{U}_{14} = \dot{U}_{11} \Delta U_{114} \quad (7.8.3)$$

Bu yerda har qanday yo'l bo'yicha A_1 va A_{14} punktlari orasidagi kuchlanishni pasayishining yig'indisiga teng.

$$\Delta U_{114} = \Sigma \Delta \dot{U}_{ij} = \Delta \dot{U}_{1N} + \Delta \dot{U}_{N8} + \Delta \dot{U}_{8I} + \Delta \dot{U}_{I4} \quad (7.8.4)$$

2. Quvvati berilgan ta'minlovchi punktlar uchun Kirxgofning birinchi qonuniga asosan tenglama

$$\dot{S}_{2N} + \dot{S}_{28} - \dot{S}_{A2} = 0, \quad \dot{S}_{3C} + \dot{S}_{38} + \dot{S}_{A3} = 0 \quad (7.8.5)$$

Shunday qilib, noma'lumlarning umumiy soni hamda tenglamalarning umumiy soni ta'minlovchi punktlarning soniga ko'payadi (tenglashtiruvchi punktdan tashqari).

So'ngra esa kontur toklari usuli uchun (7.5.1), (7.8.3) va (7.8.5) tenglamalari tugun kuchlanishlari uchun esa (7.5.5), (7.8.5) tenglamalari birgalikda yechiladi. Keyingi harakatlar esa oldingi keltirilgan tartibda ketadi.

Nazorat savollari:

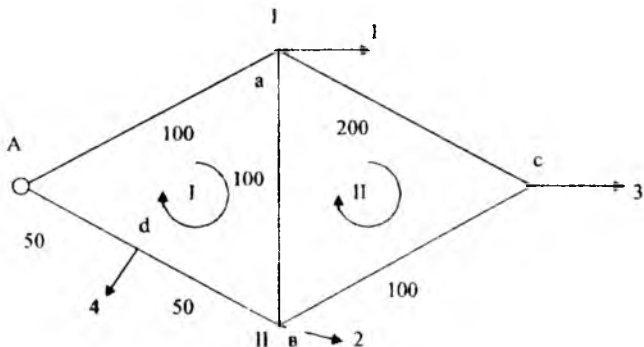
1. Bir necha elektr stansiyalarga ega bo'lgan murakkab tarmoqlarni hisoblashni o'ziga xos tomonlari qanday?
2. Har bir berilgan tugun kuchlanishi qanday aniqlanadi?
3. Tenglashtiruvchi quvvat qanday aniqlanadi?

7.8.1. Mavzuga doir misollar

1-misol. 7.8.2-rasmda ko'rsatilgan murakkab elektr tarmog'ida quvvat taqsimlanishi va bo'linish nuqtasini aniqlang. Tarmoq bir xil kesim yuzali simdan tayyorlangan. Yuklama quvvati P ni reaktiv tashkil etuvchisi yo'q va kilovattda, uzunlik-metrda ko'rsatilgan. Hisobni birinchi bosqichida quvvat isrofini hisobga olmaymiz. Hisoblashning $S=P$ teng deb kontur toklari usulida hisoblang.

Yechish. Konturlar soni liniyalar sonidan tugun nuqtalari sonini ayirib aniqlaymiz:

Liniyalar soni to'rtta: A-I; I-C-II; I-II va A-II. Tugunlar soni ikki I, II. Shunday qilib, konturlar ikki (4-2); kontur I (A-I-II-d-A) va kontur II (I-c-II-I). Konturlar aylanishini soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha olamiz.



7.8.2-rasm. Murakkab berk zanjirning sxemasi.

2. Kontur ikkita bo'lganligi uchun, ikki noma'lum quvvatlarni S_1 va S_2 orqali belgilaymiz.

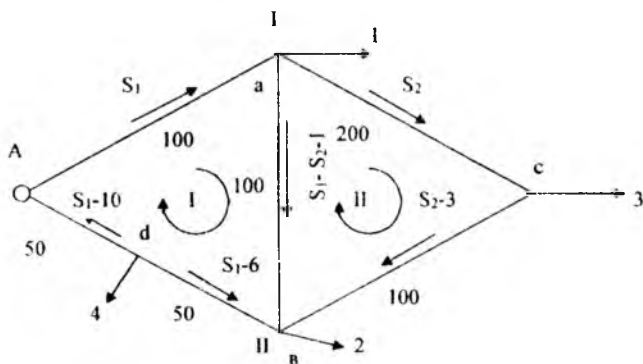
3. Uchastkalardagi hamma quvvatlarni belgilangan quvvatlar orqali ifodalaymiz. (7.8.3-rasm).

4. 7.8.3-rasmga asosan Kirxgofning ikkinchi qonuni asosida ikkala kontur uchun kontur tenglamalarini tuzamiz.

$$S_1 \cdot 100 + (S_1 - S_2 - 1) \cdot 100 + (S_1 - 6) \cdot 50 + (S_1 - 10) \cdot 50 = 0$$

$$S_2 \cdot 200 + (S_2 - 3) \cdot 100 - (S_1 - S_2 - 1) \cdot 100 = 0$$

o'zgartirishlardan keyin



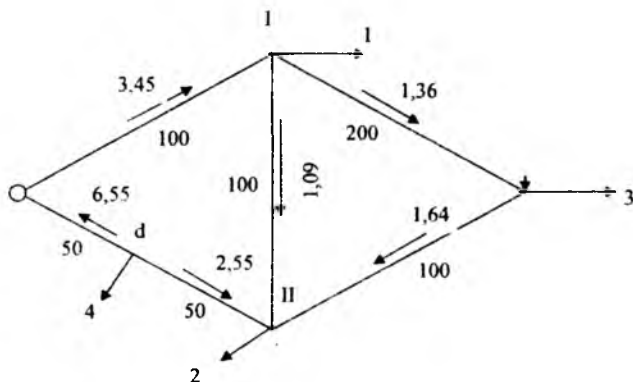
7.8.3-rasm. Uchastkalarda quvvat taqsimlanishi.

$$3S_1 - S_2 = 9 \quad \text{va} \quad 4S_2 - S_1 = 2$$

5. Ikktita tenglamadan ikki noma'lumni aniqlaymiz:

$$S_1 = 38/11 = 3,45 \text{ kVt}; \quad S_2 = 15/11 = 1,36 \text{ kVt}$$

6. Hamma uchastkalardagi quvvat taqsimlanishini sonlar bo'yicha aniqlab sxemaga qo'yamiz (7.8.4-rasm).



7.8.4-rasm. Tarmoqda quvvat taqsimlanishi.

7. Ko'rilgan hisoblarni Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlariga asosan tekshirib, bo'linish nuqtasini aniqlaymiz.

$$\text{I-tugun} \quad 3,45 = 1 + 1,36 + 1,09 \text{ kVt}$$

$$\text{II-tugun} \quad 1,09 + 2,55 = 2 + 1,64 \text{ kVt}$$

$$\text{I-kontur} \quad 3,45 \cdot 100 + 1,09 \cdot 100 - 2,55 \cdot 50 - 6,55 \cdot 50 = 0$$

$$\text{II-kontur} \quad 1,36 \cdot 200 - 1,64 \cdot 100 - 1,09 \cdot 100 = 0$$

Bundan ko'rinadiki, hisob to'g'ri.

Bo'linish nuqtasi S da. Haqiqatan $1,36 + 1,64 = 3$

Ya'ni unga keladigan quvvatlar yuklamada iste'mol qilinadi.

VIII. ELEKTR TARMOG'INING ISH TARTIBLARI VA ULARNI BOSHQARISH

8.1. Quvvat isrofi turlari

Iste'molchilar me'yoriy ishlashi uchun aktiv va reaktiv quvvatlar kerak bo'ladi. Reaktiv quvvat magnit maydonini hosil qilish uchun sarflanadi va yoqilg'i sarflanishini talab qilmaydi. Ammo uni liniyalar orqali uzatish, tarmoq elementlarida ma'lum aktiv quvvat isrofi bilan bog'liq. Ushbu elementlarda reaktiv quvvat ham sarflanadi, bu esa reaktiv quvvat ishlab chiqarilishini ko'paytirishni talab qiladi. Shuning uchun reaktiv quvvat iste'molni kamaytirish, aktiv energiyani tejaydi, quvvat isrofi va kuchlanish yo'qotilishini kamaytiradi.

Quvvat isrofi ikki xil bo'ladi: yuklamaga bog'liq bo'lgan va yuklamaga bog'liq bo'lmagan salt yurish isrofi.

O'z navbatida, isroflarni texnikaviy, tashkiliy va kommersiya isroflariga ajratish mumkin.

Texnikaviy isroflar – tarmoqni qayta qurish, uskunalarni almashtirish yoki qo'shimcha uskunalar o'rnatish tadbirlarini ko'zda tutadi. Bularga quyidagilar kiradi:

1. Kompensatsiyalovchi qurilmalarni o'rnatish.
2. Simlarni katta kesim yuzali simlar bilan almashtirish.
3. Ortiqcha yuklangan va kam yuklangan transformatorlarni almashtirish.
4. Rostlash uskunalarini o'rnatish (YuOR va qo'zg'atishsiz o'zgartiruvchi (QO')li transformatorlar, kuchlanishni qo'shuvchi transformatorlar, qisqa tutashtiruvchi reaktorlar va boshqalar).
5. Transformatsiya koeffitsiyentlarini avtomatik rostlash.
6. Sig'imli batareyalar quvvatini avtomatik rostlash.
7. Yuqori va o'ta yuqori kuchlanishli berk zanjirli tarmoqlarda quvvat oqimini rostlovchi uskunalarini 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 rostlashni me'yoriy qonunlarini tanlash);

2) 6-35 kV li tarmoqlarning uzilish (quvvat bo'linish nuqtasi) joylarini me'yorlash;

3) tizimda 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 asboblarni o'rnatish;

2) o'g'irliklar bilan kurashish;

3) hisobga olish tizimini 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 yuklamalarini o'zgarishi, energetika tizimida aktiv va reaktiv quvvatlar oqimini hamda undagi isrofnı 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.¹⁰

Ichki elektr ta'minlash tarmoqlaridagi yuklama va isroflar o'zgarishini energetika tizim tarmoqlaridagi isroflarga ta'sirini hisobga olish uchun umumlashtirilgan koeffitsiyentlar ishlatiladi: iste'molchilar tarmoqlarida aktiv quvvat o'zgarganda energetika tizim 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 tizimi 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 tizimi tarmog'ida isrof 5 kVt ga ortadi K_p va K_e qiymatlari energetika tizimi xodimi tomoni EHM yordamida xarakterli tartiblar uchun aniqlanishi kerak.

Nazorat savollari:

1. Isrofning asosiy turlarini aytib bering.
2. Nima uchun tarmoqlab tuzish quvvati isrofini kamayishiga olib keladi?
3. Iqtisodiy ekvivalent reaktiv quvvati deb nimaga aytiladi?

8.2. Reaktiv quvvat manbalari va uning xususiyatlari

Reaktiv quvvat iste'molchini xarakteriga bog'liq. Reaktiv quvvatni katta masofaga tarmoqlar orqali generatordan iste'molchiga uzatishda isrof oshadi, chunki R va X ning qiymatlari kattalashadi.

Ularni kamaytirish uchun, reaktiv quvvat manbai bo'lgan kompensatsiyalovchi uskunalar (KU) qo'llaniladi va iste'molchilarni

¹⁰ Steven W Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007, 260 p.

quvvat bilan ta'minlaydi. Liniyani katta reaktiv quvvat bilan quvklamaslik uchun, manbalar iste'molchilarga yaqin o'rnatiladi.

Bunda liniyadagi isroflar

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R \text{ va } \Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot X \text{ qiymatdan}$$

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_{ku})^2}{u^2} \cdot R \text{ va } \Delta Q = \frac{P^2 + (Q - Q_{ku})^2}{u^2} \cdot X \quad (8.2.1)$$

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 isrofning kamayishi kompensatsiyalovchi uskunalariga ketadigan qo'shimcha xarajatlarni talab qiladi, shuning uchun kompensatsiya uskunolari quvvatini tanlashda ushbu omillarini hisobga olish kerak.

Reaktiv quvvatni kompensatsiyalash elektr ta'minoti samaradorligini oshirishning muhim (vositachi) omili hisoblanadi. U faqat quvvat isrofini kamaytiribgina qolmay, elektr energiya sifatini oshiradi, 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 tejimli emas, ayrim hollarda, qachonki tizimda

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:

$$Q_{KV} = U_C^2 \cdot \omega C \quad (8.2.3)$$

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_0 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 oddiyligi (harakatlanuvchi qismlarning yo'qligi);
5. kuchlanish egri chizig'i shaklining yaxshilanishi. Chunki yuqori garmonika toklari uchun kichik qarshilikka egaligi [$x_c = 1/\omega C$].

Kompensatorlarning afzalliklari:

- 1) Reaktiv quvvatni bir tekis rostlash imkoniyati.
- 2) Reaktiv quvvatni ishlab chiqarish hamda iste'mol qilish imkoniyatlari tufayli kuchlanishni rostlash imkoniga ega bo'lishi.

Nazorat savollari:

1. Reaktiv quvvat manbalarini aytib bering.
2. Iste'molchi yaqiniga joylashgan kompensatsiya qurilmasining quvvatini oshirsak liniyadagi va reaktiv quvvat isrofi va kuchlanishni yo'qotilishi qanday o'zgaradi?
3. Sinxron dvigatellar nima uchun reaktiv quvvat manbai hisoblanadi?
4. Sinxron generatorlar qaysi holatda sinxron kompensator tartibida ishlaydi?

8.3. Reaktiv quvvat balansi va uning buzilish oqibatlar

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:

$$\sum P_r = \sum P_s = \sum P_{*} + \sum \Delta P \quad (8.3.1)$$

$$\sum P_r = \sum P_s = \sum P_{*} + \sum \Delta P \quad (8.3.2)$$

Bu yerda ΣP_r va ΣQ_r – stansiya ishlab chiqarayotgan aktiv va reaktiv quvvatlar (o'z ehtiyoji iste'molchilari hisobga olinmaydi); ΣP_s va ΣQ_s – jami iste'mol qilinayotgan aktiv va reaktiv quvvatlar; ΣP_{*} va ΣQ_{*} – iste'molchilarning aktiv va reaktiv quvvatlari; ΣP_{*} va ΣQ_{*} – tarmoqdagi aktiv va reaktiv quvvat isroflari yig'indilari.

Butun tizim bo'yicha reaktiv quvvat balansi kuchlanishning ma'lum darajasini aniqlaydi. Tizimning 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 tizim uchun, reaktiv quvvat balansi uning manbalari quvvatiga qo'yiladigan talablar bilan to'la-to'kis aniqlashi mumkin emas. Kerakli reaktiv quvvatni tizim bo'yicha hamda uning alohida hududlaridan olish imkoniyatlarini ham baholash zarur.

Reaktiv quvvat balansining buzilishi tarmoqda kuchlanish miqdorlarining o'zgarishiga olib keladi. Reaktiv quvvat tanqisligida ($\Sigma Q_r < \Sigma Q_s$) tarmoqda kuchlanish pasayadi. Agar ishlab chiqarilayotgan reaktiv quvvat (barcha vositalar bilan) iste'mol qilinayotgandan katta bo'lsa ($\Sigma Q_r > \Sigma Q_s$), unda tarmoqda kuchlanish oshadi, (salt yurishi holatida tarmoqning sig'im toki uning oxiridagi kuchlanishning oshishiga olib keladi).

Aktiv quvvat tanqis bo'lgan energetika tizimida kuchlanish miqdori odatda nominaldan past bo'ladi. Aktiv quvvat balansi bajarilishi uchun yetishmayotgan aktiv quvvat, quvvati ortiqcha bo'lgan qo'shni tizimlardan uzatilishi mumkin.

Odatda aktiv quvvat tanqis bo'lgan energetika tizimlarida, reaktiv quvvat ham tanqis bo'ladi. Lekin yetishmayotgan reaktiv quvvatni qo'shni energetika tizimidan olish emas, shu tizimida o'rnatilgan kompensatsiyalovchi uskunalarda ishlab chiqarish foydali bo'ladi.

Nazorat savollari:

1. Reaktiv quvvat balansining buzilish oqibatlari nimalarga olib keladi?
2. Kuchlanishning o'zgarishiga reaktiv quvvat qanday ta'sir etadi?
3. Reaktiv quvvatning qaysi holatida liniyada kuchlanish oshib ketadi?

8.4. Tizimda aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishini me'yorlash

Tizim 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 nuqtayi nazardan iste'molchilarni ko'p hollarda 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, tizimning alohida generatorlari o'rtasida aktiv quvvatni tegishlicha taqsimlab, bo'ylama rostdlashni 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 tejimli 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, tizimda aktiv quvvatni ratsional taqsimlash murakkab kompleks masala bo'lib, turli tomonlarni; quvvat isrofi, generatorlarni tejimli ishlashi va boshqalarni hisobga olish lozim.

Rejalashtirilayotgan tartiblar uchun aktiv quvvatni me'yoriy taqsimlash EHMda maxsus dasturlar asosida hisoblanadi. Hisoblangan me'yoriy tartibga asosan alohida stansiyalar uchun ular berayotgan aktiv quvvatning kunlik grafigi beriladi. Bu grafiklar maxsus avtomatik uskunalar yordamida ushlab turilishi mumkin. Alohida generatorlarning aktiv quvvatni me'yoriy taqsimlanishini rostlash, umumiy avtomatik boshqarish tizimi yordamida bir-biri bilan bog'langan bo'lishi kerak.

Reaktiv quvvatni ratsional taqsimlash ham tizim 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 tizim 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 tizimning 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 tizimning 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 isrofini

kamayishi po'latdagi isrofni ko'payishidan ortiq bo'ladi. Buning teskarisi kam yuklanish soatlarida, transformatorlarning bir qismini o'chirish maqsadga muvofiq.

Lekin podstantsiyaning ish tartibi o'zgarganda transformatorlarni o'chirib-yoqish ma'lum qiyinchiliklarga ega bo'ladi, chunki har bir transformatorga yuklamali o'chirgich o'rnatishni talab qiladi. Agar uni o'rnatish, quvvat isrofini tejash bilan oqlansa, maqsadga muvofiq bo'ladi.

Nazorat savollari:

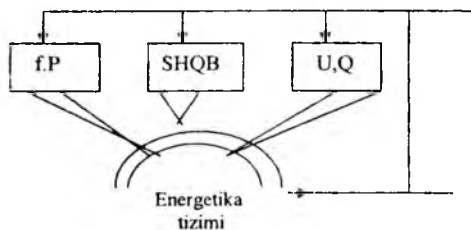
1. Tizimda aktiv va reaktiv quvvatlarni me'yorlash qanday amalga oshiriladi?
2. Transformatorlarda quvvat isrofi qanday kamaytiriladi?
3. Iste'molchilarga yaqin o'rnatilgan reaktiv quvvat manbalari elektr tizimi ish tartibini qanday yaxshilaydi?

8.5. Tartibni boshqaruv tizimining tarkibi

Energetika tizimining 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 tizimi (ShQB) qo'llaniladi. Bu uchta boshqarish tizimlari birgalikda barcha tartib tarkiblarini umumiy boshqarishni amalga oshiradi.

8.5.1-rasmdan ko'rinadiki, axborot energetika tizimidan uchta boshqarish tizimiga beriladi.



8.5.1-rasm. Tartiblarni boshqaruv tizimi.

Hududiy dekompozitsiyada energetika tizimining 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 tizimlarini birlashtirishga to'g'ri keladi.

Kuchlanish va reaktiv quvvat bilan boshqarishni alohida energetik tizimlar amalga oshiradi.

Iyerarxiyalı tuzilish. Dekompozitsiya prinsipidan tashqari boshqarish tizimi yaratilayotganda avtomatik qurilmalar va ularning bog'lanishini iyerarxiyalı asosida qo'llaniladi.

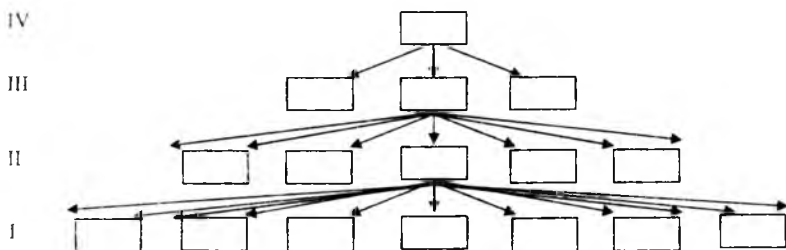
Qurilmaning bunday tuzilishi yordamida hududiy boshqarish tizimlari ishini ularning chegaralarida aniqlangan tartib parametrlari asosida muvofiqlashtirish amalga oshiriladi. 8.5.2-rasmdan ko'rinadiki, II iyerarxiyalı darajadagi har bir avtomat I darajadagi bir necha avtomatlar ishini, III darajadagi har bir avtomat II darajadagi avtomatlar ishini, IV darajadagi avtomatlar III darajadagi avtomatlar ishini muvofiqlashtiradi.

I past iyerarxiyalı 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 iyerarxiyalı daraja qurilmalari yordamida amalga oshiriladi, energosistema yoki energobirlashma doirasida esa III daraja qurilmalari yordamida va hokazo.

Avtomatik boshqaruvni iyerarxiyalı tuzish ishonchli tizimlarni yaratadi I darajadagi tizimning ishonchliligi, odatda boshqarilayotgan uskunalarning ishonchligidan kam emas. O'ta yuqori

iyerarxiyalı darajadagi elementlar ishdan chiqqanda, tartib vaqtincha me'yoriydan chetga chiqadi (og'adi), lekin ishda qolgan qurilmalarning ta'sirida texnik-ruxsat etilgan oraliqda saqlanadi.

Darajalar



8.5.2-rasm. Iyerarxiyalı boshqarishning tuzilishi.

Nazorat savollari:

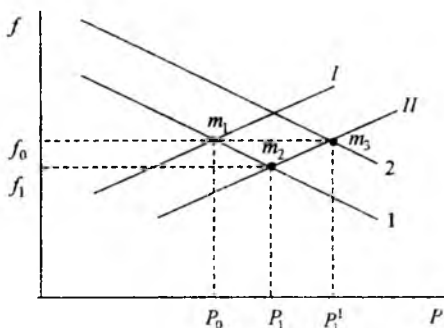
1. Energetika sistemasi ish tartibi nima uchun doim boshqarilishi kerak?
2. Dekompozitsiya tamoyili tizimining ish tartibini boshqarish nimadan iborat?
3. Iyerarxiyalı tuzilish nimadan iborat?

8.6. Chastota va aktiv quvvatni boshqarish

Chastota boshqaruvining birlamchi qurilmasi turbinaning aylanish chastotasini rostlagichi hisoblanadi. Rostlagichni o'ltov 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, I va 2 turbinalarining aylanish chastotasi rostlagichlarni statik xarakteristkalari ko'rsatilgan. I-to'g'ri chiziq bo'yicha ko'rinib turibdiki, agregatning aktiv quvvati P_0 dan P_1 gacha o'zgarganda chastota f_0 dan f_1 ga kamayadi.

O'zgaras o'rnatmada xarakteristikalar qiyaligini (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'zgaras holatida chastota 4%ga pasayadi. O'rnatma deganda, xodimlar tomonidan ishlatish sharoitiga bog'liq holda beriladigan ishlab ketish parametrlari tushuniladi.



8.6.1-rasm. Turbinani aylanish chastotasini rostlagichi va yuklamani turg'unlik xarakteristikalari.

Chastota bo'yicha energetika tizimi tartibi turbinaning rostlash xarakteristikasi bilan yuklama statik xarakteristikasining (yuklamalar birikmasi) kesishish nuqtasi rasmda, P_0 quvvat va f_0 chastotasidagi m_1 nuqtada o'rnatiladi. Qo'shimcha iste'molchilarning ulanishi va yuklamaning P_1 qiymatigacha oshishi, chastotaning f_1 gacha pasayishiga (m_2 nuqta) olib keladi. Demak, yuklama o'zgarganda chastotaning og'ishi turbina quvvatiga bog'liq va $\Delta f = f_0 - f_1 = -s\Delta P$ ga teng bo'ladi, bu yerda Δf va ΔP —chastota va quvvatlarning o'zgarishi; s — rostlagich statizm koeffitsiyenti (taxminan 4% ga teng).

Agar o'rnatilgan chastota nominaldan farq qilsa, unda turbinaning aylanish chastotasining rostlagichi o'rnatmasining o'zgartirishga to'g'ri keladi. Xarakteristika suriladi (2-to'g'ri chiziq) va yangi tartib, P_1^1 yuklama quvvatiga to'g'ri keladigan turbinaning nominal chastotasi va quvvatida m_3 nuqtada o'rnatiladi.

Shunday qilib, o'zgarmas chastotada aktiv quvvat balansini ishlab chiqarish va iste'mol qilish quvvatlari tengligiga olib keladi:

$$P_r = P_{ist}, \text{ da } \Delta f \approx 0 \quad (8.6.1)$$

Rostlagich o'rnatmasiga va rostlash xarakteristikalarini surilishiga ta'sir etish, o'zgarmas chastotada aktiv quvvatni ishlayotgan turbinalar o'rtasida qaytadan taqsimlash imkonini beradi, buni energetika tizimi tartibini boshqarish jarayonida ishlatishga to'g'ri keladi. Bunday ta'sirni yo xodim qo'l bilan, yo elektr stansiya aktiv quvvatning ikkilamchi avtomatik rostlagichi yordamida amalga oshiradi. Rostlagichning birinchi kirishiga berilgan aktiv quvvat P_{ber} bo'yicha xabar keladi, ikkinchiga haqiqiy quvvatlar P_{haq} yig'indisiga mos bo'lgan xabar keladi. Agar $P_{ber} = P_{haq}$ bo'lsa, rostlagich ishlamaydi. Agar tenglik buzilsa, unda quvvat rostlagichi o'rnatilgan aylanish chastota rostlagichiga ta'sir etib, turbina quvvatini berilganga mos kelmaguncha o'zgartiradi. Shunday qilib, rostlagich ta'siri 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 (hissasini) beradigan taqsimlash qurilmasi yordamida amalga oshirilishi mumkin. Bir vaqtning o'zida bu rostlagich chastota parametrlari va bug' bosimini, agar ular normal qiymatlardan ancha og'ganda, ko'rsatilgan parametrlarga bog'liq holda o'zgarishini talab qiladigan avariya tartibini bilish kerak bo'lganda, nazorat qiladi. Elektrostansiya rostlagichlariga berilayotgan quvvat xabari III iyerarxiya darajasidan energetika birlashmasi chastotasi va aktiv quvvatini markaziy boshqarish tizimiga keladi.

Birlashmaning ayirboshlash quvvati P_{ayr} — bu birlashmaning qo'shni energetika tizimlari 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'rilyotgan birlashma iste'mol qilayotgan quvvat P_{ist} ayirmasidir:

$$P_{ayr} = P_g - P_{ist} \quad (8.6.2)$$

Tizimning o'lchash organiga nazorat qilinadigan parametrlar sifatida ayirboshlash quvvati barcha tashqi aloqalar bo'yicha keladi,

u berilgan bilan solishtiriladi. Agar $P_{\text{ayr}} - R_{\text{ber}}$ bo'lsa, unda boshqarish tizimi ishlamaydi. Boshqarish tizimining ta'siri

$$\Delta P_{\text{ayr}} + \rho_i \Delta f = 0 \quad (8.6.3)$$

shartini bajarilishiga olib kelinadi, Bu yerda ρ – energetika birlashma uchun o'zgarma koeffitsiyent.

Ayirboshlash oqimi berilgan qiymatlardan og'ganida boshqarish tizimi harakatga keladi va birlashma elektrostansiyalari berayotgan quvvatni o'zgartirib, bu og'ishni yo'q qiladi. Chastota o'zgarimanda $\Delta f = 0$, (8.6.1) ifodadan $P_{\text{ayr}} - R_{\text{ber}} = \Delta R_{\text{ayr}} = 0$ kelib chiqadi.

Ayirboshlash oqimi R_{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 algaritmiga 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 iyerarxiyalı darajasidan kelishi mumkin.

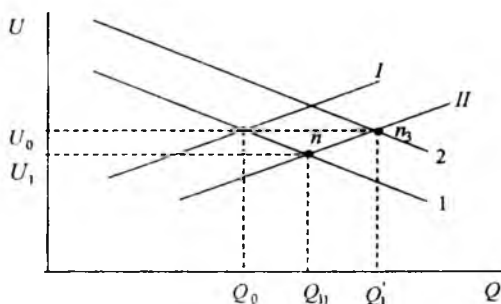
Nazorat savollari:

1. Sistema chastotasini o'zgartirish mumkinmi? Amaliyotda bu qanday bajariladi?
2. Turbinaning quvvati qanday beriladi?
3. Ayirboshlash quvvati deb nimaga aytiladi? Uni o'zgartirishga ta'sir ko'rsatishga iyerarxiya darajasini qaysi boshqaruvida amalga oshiriladi?
4. Uzatilayotgan quvvat chegarasida boshqarish tizimi qanday harakatga keladi?

8.7. Kuchlanish va reaktiv quvvatni boshqarish

Chastotadan farqli bo'lgan tizimning turli nuqtalarida kuchlanish har xil va uzatiladigan quvvat R va Q qarshiliklar R va X ga bog'liq. Ko'rilyogan 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 rostlash zarurligini keltirib chiqaradi. Elektr tarmog'ining chegaralangan hududlaridagi kuchlanish, ta'minlash tarmog'ining ma'lum tugunlarida rostlash bilan ushlab turiladi va bu tugunlar nazorat nuqtalari deb ataladi.

Kuchlanishni avtomatik rostlash. Kuchlanish boshqarilishining birlamchi qurilmasi, sinxron mashinalarning qo'zg'atishini tez harakatlantiruvchi avtomatik rostlagichdir (AQR). Ushbu rostlagichning 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 rostlash 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:

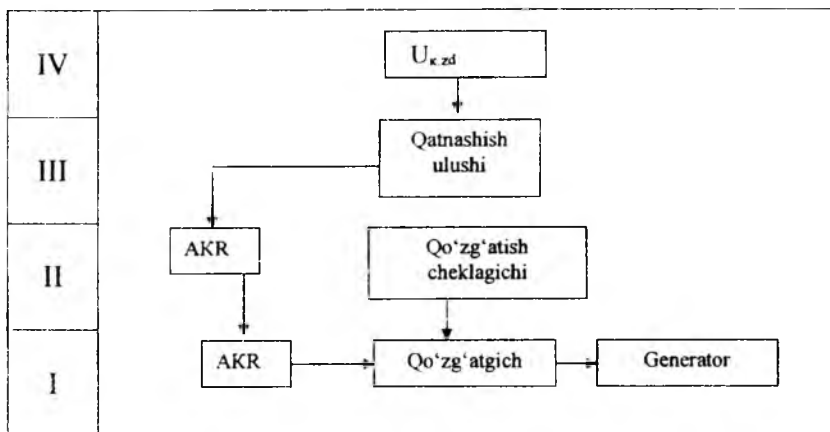
$$Q_G = Q_{ist} \quad (8.7.1)$$

Bunda, tarmoqning nazorat nuqtalarida talab qilingan kuchlanish $\Delta U_{naz} = 0$ saqlab turiladi.

Kuchlanish va reaktiv quvvat tartibining ikkilamchi bosh-qarish tizimi. 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 tizim qurilmalari: ikkilamchi kuchlanish rostlagichi, qo'zg'atishni yuqori va pastgi oraliqlarini cheklagichlari va generatorlar orasida reaktiv quvvat taqsimlanishini boshqaruvchi uskunalar majmuidir.

Markaziy boshqaruv har qaysi energetika tizimida elektrostansiya ikkilamchi kuchlanish rostlagichlari ishini dekompozitsiya usuli bo'yicha ayrim muvofiqlashtirilib amalga oshirilishi mumkin. Bunday boshqaruv, tarmoqdagi quvvat isrofini kamaytirish maqsadida, nazorat nuqtalaridagi kuchlanishlarning nomaqbul og'ishini yo'q qilishi mumkin.



8.7.2-rasm. Kuchlanish va reaktiv quvvatni boshqarishning iyerarxik tuzilishi.

Ichki tizim tarmoqlarida quvvat isrofini kamaytirish uchun reaktiv quvvat ishlab chiqaruvchi manbalarning kuchlanishni rostlashdagi ulishi aniqlanadi. Bunday masalani yechishda elektr tarmog'ining matematik modullari qo'llaniladi, u yordamida tartibni me'yorlash operatsiyasi amalga oshiriladi.

Boshqaruv uchun yana kichik - EHM ni ham ishlatish mumkin

Kichik – EHM signallari elektrostansiyalar ikkilamchi rostlagichlarining o'rnatmasini (berilgan kuchlanish) o'zgartiradi. Telekanal ishdan chiqqanda ikkilamchi kuchlanish rostlagichi AQR

elektrostansiyaning bosh shinasida kuchlanishni berilgan qiymat $U_{k.ber}$ darajasida ushlab turadi.

Taqsimlovchi tarmoqlarda ta'minlash markazi shinalaridagi kuchlanishni nominal qiymatda ushlab turish, mahalliy rostdlash asosida amalga oshiriladi. Bunday rostdlash transformatorni transformatsiyalash ko'effitsiyentiga (YuOR) ta'sir qilib amalga oshiriladi.

Mahalliy rostlagichning o'lchash organida solishtiriladi;

Mahalliy rostlagichni o'lchash organidagi o'rnatilgan kuchlanish U_Y , shinadagi kuchlanish U_{sh} va transformator yoki podstansiya yuklamasi I ga proporsional tarkibi bilan taqqoslanadi, ya'ni

$$U_{sh} \cdot kI = U_Y$$

Bu yerda, U_{sh} – shinadagi kuchlanish;

U_Y – qurilma kuchlanishi;

k – qarshilik birligidagi o'zgarmas ko'effitsiyent.

Ifodadan ko'rinib turibdiki, yuklama tokining oshishi $U_{sh} \cdot kI$ qiymatni kamayishiga olib keladi. Bu qiymatni o'zgarmas saqlash uchun U_{sh} ga (YuOR li transformator orqali) ta'sir qilish kerak. Manba markazi shinasida U_{sh} ni yuklama o'sishi bilan oshishi kuchlanishni qarama-qarshi rostlanish deb ataladi. Mahalliy rostlagichlar yordamida taqsimlovchi tarmoq uchastkasidan oqayotgan reaktiv quvvat miqdoriga qarab ishlaydigan sig'imli batareyalar tartibi ham (seksiyalar sonini) o'zgartirib boshqariladi.

Nazorat savollari:

1. Sinxron mashinalar avtomatik qo'zg'atish rostlagichlarini vazifasi nimadan iborat?

2. Xarakteristikalarini kesishish nuqtasi n_1 va n_2 ga qanday o'tiladi?

3. Taqsimlovchi tarmoqlarda mahalliy boshqarish qanday bo'ladi?

4. Elektr stansiyalarda kuchlanish qanday rostlanadi?

8.8. Reaktiv quvvat kompensatsiyasi

Aktiv quvvatni elektr tarmoqlarining asosiy 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 tizimlarida 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 rostdlash uchun kompensatsiya qurilmalari ishlatiladi.

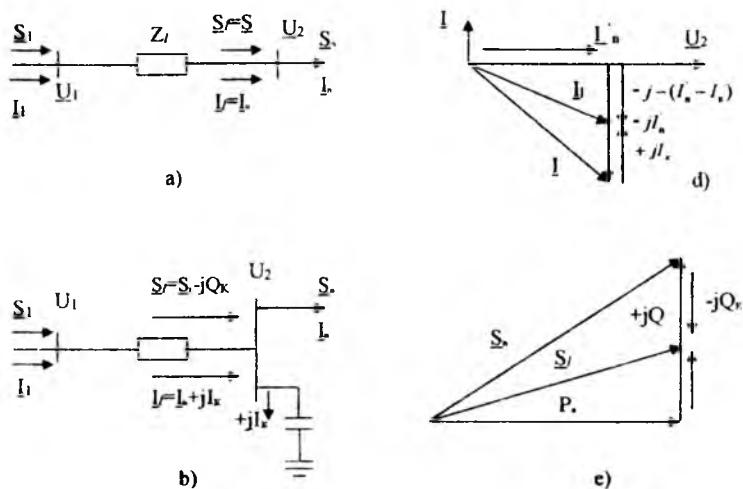
Liniya va transformatorlar orqali reaktiv quvvat oqimini kamaytirish uchun reaktiv quvvat manbalarini uni isteʼmoliga yaqin joylashtirish kerak. Bunda uzatayotgan tarmoq elementlari reaktiv quvvatdan yengillanib, aktiv quvvat isrofi, kuchlanishni pasayishi kamayadi. Kompensatsiya qurilmasi oʻrnatilgandan soʻng boʻladigan jarayonlar 8.8.1-rasmda koʻrsatilgan.

Kompensatsiya qurilmasi qoʻllanilmasdan liniyada tok va quvvat (8.8.1a-rasm) oqadi.

$$I_n = I'_n - jI_n, \quad S = P_n + jQ_n \quad (8.8.1)$$

Kompensatsiya qurilmasi oʻrnatilgandan soʻng liniyadagi reaktiv tok va quvvat kompensatsiya qurilmasi uzatayotgan reaktiv tok I_K va reaktiv quvvat Q_K ga kamayadi. Liniyadagi modul jihatdan kichik reaktiv tok va reaktiv quvvat (8.8.1 b-rasm) oqadi.

$$I = I_n' - j(I_n'' - I_n), \quad S = P + j(Q_n - Q_k) \quad (8.8.2)$$



8.8.1-rasm. Kompensatsiya qurilmasini samaradorligi
 a), b) tok va quvvat oqimini kompensatsiyagacha va undan keyingi holati; d) tokning vektor diagrammasi; e) quvvatning vektor diagrammasi.

Shunday qilib, o'zgaras yuklamada kompensatsiya qurilmasini podstantsiyada ishlatish, liniyadagi reaktiv tok va quvvat kamayadi – liniya reaktiv quvvatdan yengillashadi. Liniyada quvvat isrofi va kuchlanishni pasayishi kamayadi, chunki

$$\Delta P_l = \frac{P_n^2 + (Q_n - Q_k)^2}{U_n^2} R_l; \quad \Delta U_l = \frac{P_n r_l + (Q_n - Q_k)^2 x_l}{U_{nom}} \quad (8.8.3)$$

Nazorat savollari:

1. Elektr tizimida reaktiv quvvat nima uchun kompensatsiya qilinadi?
2. Kompensatsiya qurilmasi o'rnatilgandan so'ng reaktiv quvvat ifodasi qanday o'zgaradi?
3. Reaktiv quvvat kompensatsiyasi kuchlanish yo'qotilishga qanday ta'sir 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 ishlashi 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'yorlanadi. 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 uskunalar 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 nuqtayi nazardan me'yoriy parametrlarda (f_n , U_n , I_n) 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 stanolari, yoyli po'lat eritish pechlari, to'g'rilagich qurilmalari, elektrlashtirilgan transport, elektroliz) yuklamalarini tez o'zgarishi yoki ularni fazolar bo'yicha bir xil taqsimlanmaganligi hamda nosinusoidal tok va kuchlanishlar paydo bo'ldi. Bu yangi turdagi iste'molchilar elektr energiyani sifatini buzilishiga olib keladi.

Hozirgi vaqtda umumiy belgilangan 50 Hz li 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 koeffitsiyenti, kuchlanishni nol ketma-ketligi, chastotani og'ishi. Qo'shimcha ESK, boshqa me'yoriy-texnik hujjatlarda ishlatiladigan yozilish shaklidagi ko'rsatkichdir.

Barcha energetika tizimlari uchun bir xil bo'lgan, chastotani qiymati ko'rilyotgan vaqtda generatorni aylanish chastotasi bilan aniqlanadi. Me'yoriy o'rnatilgan tartibda barcha generatorlar sinxron chastotaga ega. Shuning uchun chastotani og'ishi – umum-sistema sifat ko'rsatkichlaridir. Normal holatda chastotani me'yoriy qiymatda $\pm 0,1$ Hz ga 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.

$$\Delta V = U - U_n \quad \text{yoki} \quad \Delta V\% = \frac{U - U_n}{U_n} \cdot 100\%$$

Kuchlanishni tebranishi δU – bu ish tartibi yetarlicha tez o'rganganda, ya'ni kuchlanish o'zgarish tezligi sekundiga 1% dan kam bo'lmaganda, kuchlanishning ta'sir etuvchi eng katta va eng kichik qiymatlari o'rtasidagi farqqa aylanadi.

$$\delta U\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_n} \cdot 100\%$$

Tarmoqni nosinusoidalligi kuchlanish egri chiziqligi nosinusoidallik koeffitsiyenti bilan tavsiflanadi va quyidagidan aniqlanadi.

$$K_{\text{nos}U} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_1} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_{\text{nom}}} \cdot 100\%$$

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 liniyali kuchlanishlarning amplitudasi yoki fazaviy burchak siljishlarining o'zaro teng bo'lmashligi tushuniladi.

Kuchlanishni teskari ketma-ketlik koeffitsiyenti – bu sifat ko'rsatkichi, kuchlanish nosimmetriyasini % aniqlaydi.

$$K_{21U} = \frac{U_2}{U_{\text{nom}}} \cdot 100\%$$

Bu yerda U_2 – asosiy chastotada uch fazali kuchlanish tizimi 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 tizimida 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. Nosinusoidal koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?

9.2. Aktiv va reaktiv quvvat muvozanati va elektr tizimlarda kuchlanishni rostlash holati. Kuchlanishni rostlash usullari

Elektr tarmoqlari va tizimlarini har qanday tartibda manba va iste'molchilar orasida quvvat muvozanati har bir vaqt ichida elektr energiya manbalarida ishlab chiqarilayotgan quvvat to'liqligicha elektr qabul qiluvchilarda iste'mol qilinishi kerak. Elektr energiya manbalari – elektr stansiyalar (aktiv va reaktiv quvvat uzatuvchi) va statik kompensatorlar (reaktiv quvvat uzatuvchi). Elektr qabul qiluvchilar EQ –elektr yuklamalari (elektr tarmoqlari va sistemalari elementlaridagi quvvat isrofini o'z ichiga olgan holda elektr stansiya va podstansiyalari xususiy ehtiyoj iste'molchilari).

Manba kompleksda uzatilayotgan aktiv quvvat o'zgarishida – elektr qabul qiluvchilarda asosan sistemani chastotasi, kichik qiymatga kuchlanishni o'zgartiradi. Teskarisiga esa, uzatilayotgan reaktiv quvvat o'zgarishda kuchlanish o'zgarib, bir oz sistema chastotasi o'zgaradi.

Keltirilgan analizdan – kuchlanishni rostlash uchun reaktiv quvvat chastotani rostlash uchun esa tizimni aktiv quvvatini

o'zgartirish kerak. Reaktiv quvvat o'zgaruvchi tizim tugunidagi kuchlanishni rostdash uchun, kerakli nuqtalardagi kuchlanishni rostdash zarur. Chastotani rostdashda energiya manbasi quvvatini shunday o'zgartirish kerakki, chastotani rostdash bilan elektr energiya isrofini kichik qiymatini ta'minlamoq kerak.

Liniya simlari, elektr mashina chulg'amlari, elektr magnit apparatlarini qizdirishga ketadigan sarf, to'liq tokning aktiv va reaktiv quvvatda tashkil etuvchilari bilan aniqlanadi. Quvvatni ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlashda aktiv quvvatdan elektr energiya isrofi yuzaga keladi. Tarmoqdagi quvvat muvozanati quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\sum P_n = \sum P_I + \sum P_{XI} + \sum \Delta P_{EI} + \sum \Delta P_L + \sum P_{BU}$$

Bu yerda, P_I – iste'molchilar qabul qiladigan aktiv quvvat;

P_{XI} – elektr stansiya va podstansiyalarning xususiy ehtiyoji aktiv quvvati;

ΔP_{EI} – elektr magnit apparatlaridagi aktiv quvvat isrofi;

ΔP_L – havo va kabel liniyalaridagi aktiv quvvat isrofi;

P_{BU} – kuchlanishni rostlovchi qurilmalar (kuch qismi) boshqaruv tartibidagi aktiv quvvat isrofi.

Energetika tizimlarida 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_s – KB va liniyaning sig'im o'tkazuvchanligi.

Elektr tarmoqlari va tizimlarida iste'mol qilinayotgan reaktiv quvvat – iste'molchilar Q_u , elektr stansiyalar va podstansiyalarni xususiy ehtiyoji Q_{xu} , elektro magnit apparatlarni magnitlash va yoyishda Q_{ea} , liniyaning reaktiv qarshiligi ΔQ_l reaktiv quvvatlardan yig'ilgan bo'ladi.

$$\sum Q_g + \sum Q_{sk} + \sum Q_k + \sum Q_s + \sum \Delta Q_l = \sum Q_I + \sum Q_{XI} + \sum \Delta Q_{ea}$$

Muvozanat buzilishining sabablari – generatorning shikastlangandagi uzilishi, to‘satdan iste’mol qilinayotgan quvvatni oshishi, liniya yoki transformatorni shikastlangandan uzilishi.

Har qanday tartibda ham keraklicha yuklama o‘shishini qoplash uchun ma’lum miqdorda quvvat zaxirasi bo‘lishi kerak. Energetika tizimida zarur zaxira quvvati, yuklama, tuzatish, shikastlanish va xalq xo‘jaligini yig‘indisidan iborat.

Yuklamali zaxira to‘satdan o‘zgaradigan va kutilmaganda yuklamani doimiy muvozanatdagi katta qiymatdan oshishini qoplash uchun xizmat qiladi. Tuzatish zaxirasi elektr stansiyalar uskunalarini zaruriy rejali – oldini oluvchi (doimiy va butunlay) sozlashni ta’minlashi zarur. Buzilishda zaxira shikastlanishi sababli ishdan chiqqan mexanizmlarni almashtirishga kerak bo‘ladi. Xalq xo‘jaligini zaxirasi elektr iste’molida rejalangan me’yordan mumkin bo‘lgan oshishini qoplashga xizmat qiladi.

Amaliyotda zaxira uchun eng katta agregatning quvvatdan kam bo‘lmagan quvvat yoki tizimdagi elektr stansiyasini ayrim liniya orqali berayotgan eng katta quvvati olinadi. Aktiv va reaktiv quvvatlar zaxirasi tezkorligi bilan tez ishga tushishi kerak. Bunday zaxira faqat ishga tushirishga ulangan jihozlarda (turbo, suv agregatlari, qozonlar) ta’minlanishi mumkin.

Zaxira quvvatining tezkorligi ko‘pincha sistemada chastotani rostlash va birlamchi motorlarni aylanishi bilan (aktiv quvvat zaxirasi) va yana agregat qo‘zg‘atuvchisini tizimli rostlash (reaktiv quvvat zaxirasi) bilan aniqlanadi. Chastota va kuchlanishni o‘zaro bog‘liqligi, ya’ni bir vaqtda tizimli rostlash ikkala ko‘rinishli zaxirani tezkorligini ko‘rsatib beradi.

Tarmoq kuchlanishi yuklamani o‘zgarishi, ta’minlash manbaini ishlash tartibi, tarmoq qarshiligini o‘zgarishi bilan o‘zgarib turadi. Kuchlanish og‘ishini qiymati har doim ruxsatlangan oraliqda bo‘lmaydi. Buni sabablari:

a) tarmoq elementlaridan oqayotgan yuklama toklari keltirib chiqadigan kuchlanishni og‘ishi;

b) tok o‘tkazadigan elementlarni kesim yuzasini va kuch transformatorlar quvvatini noto‘g‘ri tanlashdan;

d) 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 tizimi joylarida, masalan, ta‘minlovchi podstantsiyasi liniyaning boshi va oxirida.

3. Kuchlanish og‘ishini uzoq muddatli bo‘lishi bilan.

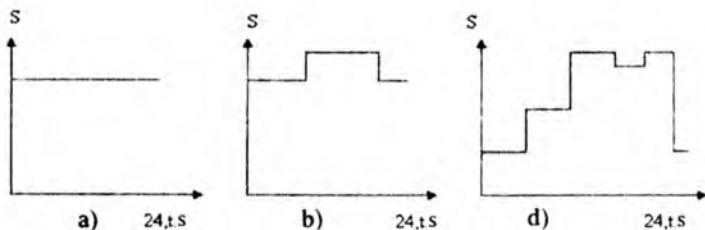
Kuchlanishni rostlash deb maxsus texnik vositalar yordamida elektr tizimining tegishli nuqtalarida kuchlanish darajasini o‘zgartirish jarayoniga aytiladi. Tarixan rivojlangan usul, kuchlanish va reaktiv quvvatni rostlash energetika tizimini boshqarishni eng past iyerarxiya darajasidan yuqoriga qarab bo‘lgan. Ko‘p hollarda, boshida taqsimlovchi tarmoqlarni ta‘minlash markazlari, ta‘minlovchi podstantsiyalarida transformatsiya koeffitsiyentlarini o‘zgartirib, iste‘molchilarni ishlash tartibi o‘zgarganda kuchlanish ushlab turilgan. Bunda iste‘molchilarda va elektr stansiya va podstantsiyalarda kuchlanish rostlangan.

Ushbu kuchlanishni rostlashda hozirgi vaqtgacha past iyerarxiya darajasida dispetcherlik boshqarishni avtomatlashtirilgan usuli (ASDU) qo‘llanilmoqda. Yuqori daraja uchun dispetcherlik boshqarishni avtomatlashtirilgan tizimini mahalliy usuli hisoblanadi. Yuqori darajadagi dispetcherlik boshqarishni avtomatlashtirilgan tizimi muayyan joydagi rostlash tizimlarini va energetika tizimi tartibini to‘liq holda umumlashtiradi.

Muayyan joydagi kuchlanishni rostlash markazlashtirilgan, ya‘ni ta‘minlash markazida va mahalliy yoki to‘g‘ridan-to‘g‘ri iste‘molchi yaqinida amalga oshiriladi.

Mahalliy rostlashni guruhli va yakka tartibliga bo‘lish mumkin. Guruhli rostlashni iste‘molchilar guruhi uchun yakka tartibli esa asosan maxsus maqsadlar uchun qo‘llaniladi.

Yuklanishni o‘zgarish xarakteriga qarab har bir ko‘rsatilgan rostlash turini bir nechtaga bo‘lish mumkin. Masalan, markazlashtirilgan kuchlanishni rostlashda uchta turni ajratish mumkin: kuchlanishni stabilizatsiyalash; ikki bosqichli kuchlanishni rostlash; kuchlanishni qarma-qarshi rostlash. Yuklamasi amaliy jihatdan o‘zgaraydigan iste‘molchilar uchun kuchlanishni stabilizatsiyalash qo‘llaniladi. Masalan: uch smenali korxona uchun kuchlanish darajasini o‘zgartirmasdan ushlab turish mumkin. Bunday iste‘molchilarni sutkalik yuklamalar grafigi 9.2.1a-rasmda ko‘rsatilgan.



9.2.1-rasm. Yuklamalar grafigi
a)-o'zgarmas, b) ikki bosqichli, d) ko'p bosqichli.

Aniq ikki bosqichli iste'molchilarni yuklamalar grafigi 9.2.1b-rasmda ko'rsatilgan. Misol tariqasida bir smenali korxonada kuchlanish ikki bosqichda rostlanadi. Bunda sutka bo'yicha grafikka asosan kuchlanish ikki bosqichda ushlab turiladi. Agarda sutka bo'yicha yuklama o'zgaruvchan grafikda bo'lsa (9.2.1d-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 rostdlash

Kuchlanish rostdlanishi 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 tizimining 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 rostdlash bevosita ta'minlash markazida (TM) YuOR li (yuklama ostida rostdlash) transformatorlar va rostdlashning mahalliy vositalari bilan amalga oshiriladi.

Taqsimlovchi tarmoqning ta'minlash markazi (9.3.1-rasm) (TM) – energetika sistemasining ta'minlash tarmoqlariga (35-220kV) ulangan podstantsiya hisoblanadi. Transformatorlar odatda, xodim tomonidan yoki avtomatik amalga oshiriladigan YuOR qurilmaga ega. TM shinasiga 6-20 kV li taqsimlovchi transformatorlar ulangan. Bu transformatorlarning past kuchlanish 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:

$$V_{teb}\% = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{nom}} \cdot 100 \quad (9.3.2)$$

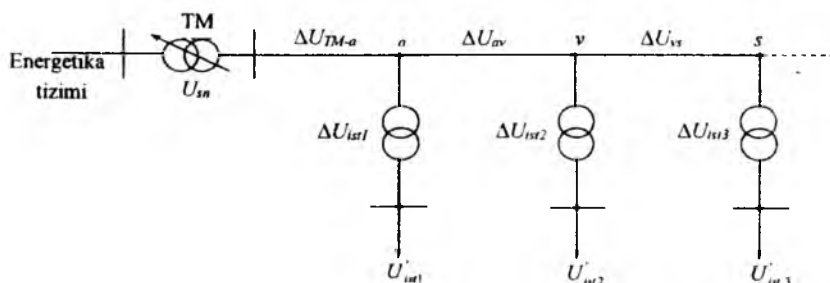
Bu yerda, U_{max} va U_{min} – bir tebranish oralig'idagi max va min kuchlanishlar.

Iste'molchidagi kuchlanish, yuqori tomondagi kuchlanishdan ko'rilayotgan iste'molchigacha kuchlanish yo'qotilishini ayirib aniqlanadi.

$$U_2 = U_1 - \Delta U_2 = U_1 - \frac{PR + QX}{U_{\text{nom}}}$$

yoki iste'molchining haqiqiy kuchlanishi umumiy ko'rinishda

$$U_{\text{ist}}^1 = U_{\text{yq}} - \Delta U_{\Sigma} \quad (9.3.3)$$



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 ΔU_i kuchlanish yo'qotilishiga va transformatsiyalash koeffitsiyenti K_{TR} ga bog'liq. Shunday qilib, kuchlanishni rostlash, past kuchlanish tarmoqlarida ruxsatlangan kuchlanish og'ishini ta'minlash vazifasidan iborat bo'ladi.

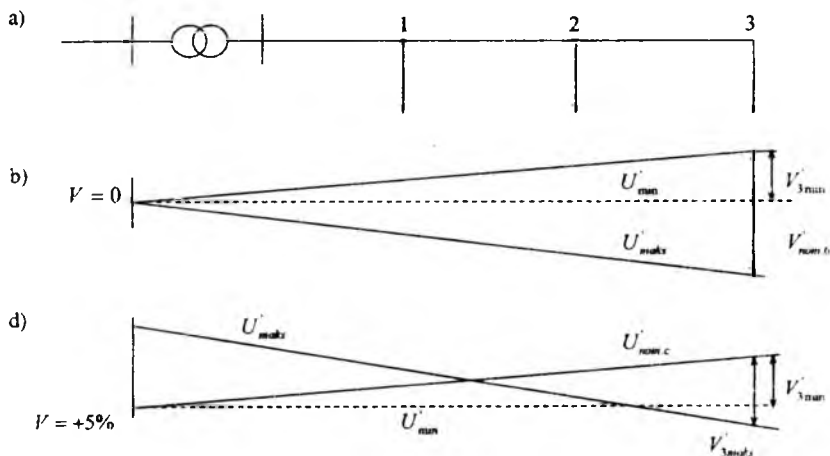
1) QR li (qo'zg'atishsiz o'chirilgan holda rostlash) transformatorlarning kerakli shoxobchalarini tanlash, ya'ni K_{TR} ni o'zgartirish.

2) TM da kuchlanishni rostlash U_{TM} .

3) Taqsimlovchi tarmoqlarda kompensatsiyalovchi uskunalardan foydalanib, ΔU_{Σ} 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 (9.3.2d-rasm), ya'ni yuklama ortishi bilan transformator podstantsiyasi shinasidagi kuchlanishni ko'tarish zarur. Qarama-qarshi rostlash qo'llanilganda $V_{3\text{mak}}$ 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 transformatorlarda odatda birinchi shoxobcha o'rnatiladi (kuchlanishga qo'shimcha $E_{xqo'sh}=0$ bilan; QRli transformatorlarda hammasi bo'lib, kuchlanish qo'shimchasini 0-10% oraliqda 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 $V_{\text{bosh}}=0.05$ ga teng qilib olinadi, bu

imkoni bor eng ko'p kuchlanish yo'qotilishini kompensatsiya qiladigan shoxobchaga to'g'ri kelishi kerak;

$$\Delta U_{\text{imk}} = V_{\text{bosh}} - V_{\text{...}}$$

Bu yerda, V_{bosh} – tarmoq boshida kuchlanish og'ishi;

$V_{\text{...}}$ – 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

$$(U_{\text{imkon}} V_{\text{bosh}} - V_{\text{...}} - 5) = 10\%$$

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_{H1} – transformatorning PK chulg'amidagi iste'molchida kuchlanish og'ishi (raqamidagi birliklar maksimal tartibga tegishli).

Nazorat savollari:

1. Qarama-qarshi rostdlash 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 rostdlash

Generatorlarda kuchlanishni qo'zg'atish tokini rostdlab o'zgartirish mumkin. Generator aktiv quvvatini o'zgartirmay kuchlanishni $\pm 0,05 U_{\text{nom}}$, ya'ni $0,95 U_{\text{nom}}$ dan $1,05 U_{\text{nom}}$ gacha o'zgartirish mumkin.

Tizim kuchlanishi $U_{\text{nom,t}} = 10 \text{ kV}$ da generator kuchlanishi $U_{\text{nom,t}} = 10,5 \text{ kV}$ va rostdlash oralig'i $10-11 \text{ kV}$.

Generator chiqishida kuchlanishni $\pm 5\%$ nominaldan katta qiymatga og'ishi uning quvvatini pasayishga olib keladi. Ushbu $\pm 5\%$ rostdlash oralig'i aniq yetmaydi. Bunda transformatsiyaining har bir bosqichida kuchlanish yo'qotilishi nisbiy birlikka teng.

$$\Delta U_{\tau} \approx 0,1 S_{\tau}$$

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.

$$\sum \Delta U_{eng\ kat} \% \approx 30 + 40\%, \quad \sum \Delta U_{eng\ kich} \% \approx 12 + 16\%$$

Bundan ko'rinadiki, iste'molchida kuchlanishni o'zgarish oralig'i

$$\sum \Delta U_{eng\ kat} \% - \sum \Delta U_{eng\ kich} \% \approx 18 + 24\%$$

Shuning uchun 10%dan iborat generatorni kuchlanish o'zgarish oralig'i yetmaydi.

Elektr stansiya generatorlari faqat ikki sababga asosan yordamchi kuchlanishni rostlash vositasi hisoblanadi.

1. Generatorlar bilan kuchlanishni rostlash oralig'i yetarlicha emas.

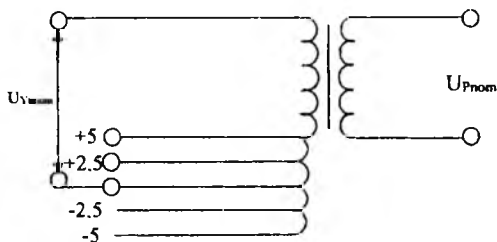
2. Yaqin va uzoqdagi iste'molchilar uchun kuchlanish bo'yicha talablarni moslashtirish qiyin.

Sistema uchun stansiya – to'g'ri yuklama holatida generatorlar rostlash vositasi qilib ishlatiladi. Bu holatda ayrim ishlayotgan sanoat korxonasi elektr stansiyasi shinalarida kuchlanish qarama-qarshi rostlanadi, ya'ni generator qo'zg'atish tokini o'zgartirib, yuklamani maksimum soatlarida kuchlanish oshiriladi, minimum soatlarida kuchlanish pasaytiriladi.

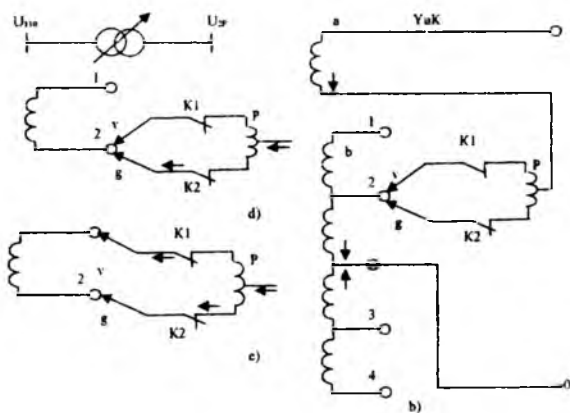
Elektr stansiyalardagi kuchaytiruvchi transformatorlari TDS/110. Yuqori kuchlanish chulg'amining nominal kuchlanish $U_{n,yu}=110$ kV va bir qism TDS/220, $U_n=220$ kV generatorga o'xshab kuchlanishni rostlovchi yordamchi vositalar hisoblanadi va $\pm 2 \times 2,5\% U_{nom}$, rostlash oralig'iga ega va ular yordamchi yaqin va uzoqdagi iste'molchilar uchun kuchlanish bo'yicha talablarni moslashtirmoq mumkin emas. Shuning uchun kuchlanishni rostlovchi asosiy vosita hudud podstansiyalarini transformator va avtotransformatorlari hisoblanadi.

Pasaytiruvchi podstansiyalarda kuchlanishni rostlash. Ishi bo'yicha pasaytiruvchi podstansiyalarda ikki turli transformatorlar bo'ladi: a) rostlovchi shoxobchalarni qo'zg'atishsiz (9.4.1-rasm). Ya'ni transformatorlarni tarmoqdan o'zib (qo'zg'atishsiz KR) rostlash; b) yuklama ostida shoxobchalarni (Yu.O.R transfor-

matorlar) rostlash. Ko'p hollarda rostlovchi shoxobchalar (9.4.2-rasm). Kichik tokka ega bo'lgan yuqori kuchlanish tomonida bo'ladi. Bunda o'zgaruvchi qurilma toki yengillashadi.



9.4.1-rasm. Qo'zg'atishsiz rostlanuvchi transformator.



9.4.2-rasm. Yu.O.R transformatorlar a-shartli belgilash; b-Yu.O.R.transformator chulg'amlar sxemasi; d,e-shoxobchalarni o'zgartirish.

Yuklama ostida rostlanmaydigan transformatorlar asosiy va to'rtta qo'shimcha shoxobchali qilib tayyorlanadi. Bunday transformatorni chulg'amlari 9.4.2b-rasmda ko'rsatilgan. Asosiy shoxobcha transformatorni birlamchi chulg'am kuchlanishi $U_{yu\ nom}$ ga teng kuchlanishga ega. Pasaytiruvchi transformatorlar uchun $U_{yu\ nom}$,

transformator ulanadigan tarmoq kuchlanishi $U_{nom.tga}$ (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 $U_{nom.tga}$ 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 U_{shox} 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% rostlash oralig'ida 1,78% rostlovchi 18 bosqich ko'zda tutilgan.

9.4.2b Yu.O.R transformator chulg'amlarini sxemasi ko'rsatilgan. Transformatorni YuK chulg'ami ikki qismga ega bo'lib: rostlanmaydigan a va rostlanadigan b.

Rostlanmaydigan qismda qator shoxobchalar 1.4 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'lmasligi mumkin. Chulg'amni rostlovchi qismi harakatlanuvchi v.g kontaktli o'zgartiruvchi qurilma, kontaktlar K1 va K2 va reaktorga ega. Reaktorni o'rtasi transformator rostlanmaydigan chulg'amini a qismiga ulanadi. Me'yoriy yuklama toki teng holda reaktor chulg'ami o'rtasida taqsimlanadi. Shuning uchun magnit oqimi va kuchlanish yo'qotilishi kam bo'ladi.

Masalan qurilmani shoxobcha 2 dan shoxobcha 1 ga o'zgartirish talab etilsin. Bunda kontaktor K1 ni uzib, harakatlanuvchi kontakt v ni shoxobcha 1 ni kontaktiga o'zgartiramiz va yana (9.4.2 e-rasm) kontaktor K1 ni ulaymiz. Shunday qilib, 1,2 seksiya reaktor R ni chulg'amida yopildi. Reaktor induktivligi katta qismi seksiya 1,2 chulg'amidagi kuchlanish sababli hosil bo'lgan tenglashtiruvchi tokni cheklaydi. So'ngra kontaktlar K2 uziladi, harakatlanuvchi kontakt g,1-shoxobcha kontaktiga o'zgartirilib, kontaktor K2 yana ulanadi.

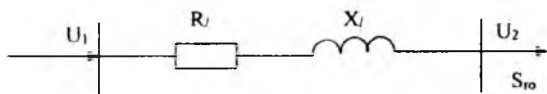
Yu.O.R yordamida sutka bo'yicha yuklama o'zgarganda shoxobcha va transformatsiya koeffitsiyentini o'zgartirish, ya'ni qarama-qarshi rostlash talabini bajarish mumkin.

Nazorat savollari:

1. Generatorlarda kuchlanishi qanday rostlanadi?
2. Kuchaytiruvchi podstantsiyalarda kuchlanish qanday rostlanadi? Yuklama ostida rostlanmaydigan transformatorlarni rostlovchi qo'shimcha shoxobchalari nechta bo'ladi?
3. Pasaytiruvchi podstantsiyalarda kuchlanish qanday rostlanadi? Yuklama ostida rostlovchi transformatorlarni qo'shimcha shoxobchalari qanday olinadi?

9.5. Tarmoq qarshiliklarini o'zgartirib, kuchlanishni rostlash

Iste'molchilar kuchlanishi tarmoqdagi kuchlanish yo'qotilishiga, bu o'z navbatida qarshiligiga bog'liq bo'ladi. 9.5.1-rasmda ko'rsatilgan liniyadagi bo'ylamasiga kuchlanishni pasayishi teng bo'ladi.



9.5.1-rasm. Elektr tarmog'ining parametrlari.

$$\Delta U_{\tau} = \frac{P_l \cdot R_l + Q_l \cdot X_l}{U_2} \quad (9.5.1)$$

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 ΔU_l va yuklama kuchlanishi o'zgaradi. Shuning uchun bunday tarmoqlarda simni kesim yuzasi kuchlanish yo'qotilishini ruxsatlangan qiymati bo'yicha aniqlanadi.

Ta'minlovchi tarmoqlarda buning teskarisi, $x_0 > r_0$ shuning uchun ΔU_l katta miqdorda simni kesim yuzasiga bog'liq bo'lmagan reaktiv qarshiligi bilan aniqlanadi. Ta'minlovchi tarmoqlarda simni kesim yuzasini kuchlanishni ruxsatlangan qiymati bo'yicha tanlash iqtisodiy maqsadga muvofiq emas. Kuchlanishni rostlash 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

$$U_2 = U_1 - \Delta U_1 < U_{2\text{rux}}$$

Kuchlanishni ruxsatlangan qiymatgacha ko'tarish uchun liniyaga ketma-ket kondensator ulaymiz.

Unda ifoda quyidagi ko'rinishni oladi.

$$U_{2\text{rux}} = U_1 - \frac{P_1 \cdot R_l + Q_1(X_l - X_c)}{U_{2\text{rux}}} \quad (9.5.2)$$

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 diagrammasi 9.5.2b-rasmda ko'rsatilgan, Bu yerda

$$U_2 = U_1 - \sqrt{3} \cdot I_1(R_l + jX_l)$$

$$U_{2\text{rux}} = U_1 - \sqrt{3} \cdot I_1(R_l + jX_l) - \sqrt{3} \cdot I_1(-jX_c)$$

I_1 – liniyadagi tok

$\sqrt{3} \cdot I_1 \cdot X_c$ – manfiy kuchlanishni pasayishi yoki zanjirga kiritilgan EYuK deb ko'rish mumkin.

U_1 , $U_{2\text{rux}}$, 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.

$$U_k = \sqrt{3} \cdot I_k \cdot X_k, \quad I_k = I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_k}$$

Agarda bir kondensatordagi nominal kuchlanish $U_{k\text{nom}} < U_k / \sqrt{3}$ bo'lsa, bir fazaga bir necha ketma-ket ulangan kondensator qo'yish kerak. Ulangan kondensatorlar soni quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$n = U_k / \sqrt{3} \cdot U_{k\text{nom}}$$

Kondensator pasportida uning quvvati Q_k ko'rsatiladi, uning qiymatini bilib, nominal tok $I_{k\text{nom}}$ ni aniqlash mumkin.

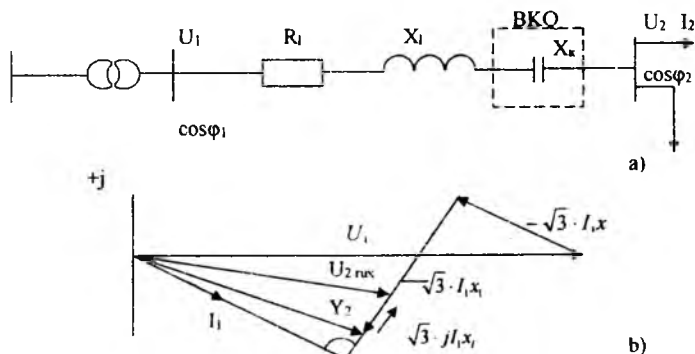
$$I_{k\text{nom}} = Q_k / U_{k\text{nom}}$$

Agarda $I_{k\text{ nom}} < I_k$ bo'lsa, parallel m dona kondensator qo'yish kerak.

$$m = I_1 / I_{k\text{ nom}}$$

Liniya bo'ylamasiga kompensatsiya qurilmalari (BKQ) da sig'im qarshiligini induktiv qarshilikka foizda nisbati, foizda kompensatsiya deyiladi.

$$c = \frac{X_L}{X_L} \cdot 100$$



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 rostlash 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 rostlash uchun emas, balki liniyani o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish uchun ishlatiladi.

1. Tarmoq qarshiliklarini o'zgartirib kuchlanish qanday rostlanadi?
2. Tarmoq qarshiliklarini o'zgartirib kuchlanish rostlanishni 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 rudotermik pechlari, induksiya 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 ji-hozlanadi.

Kuchlanish nosimmetriyasining ikki turi mavjud bo'lib, bular bo'ylama va ko'ndalang nosimmetriyalardir. Elektr tarmoq element-lari 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 mavjud-ligidan 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;

$a = e^{j2\pi/3} = \frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}$ – 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'yor-lashtirilgan ko'rsatkichi hisoblanadi. Elektr energiya sifatini me'yoriy nosimmetriya koeffitsiyenti $E_2 \leq 2\%$. Agar nosimmetriya

koeffitsiyenti belgilangan qiymatdan oshib ketsa, uni pasaytirish choralari ko'rish zarur.

Kuchlanish nosimmetriyasini elektr iste'molchilari ishiga ta'siri. Kuchlanish nosimmetriyasi elektr energiya isrofini oshishiga elektr ta'minot tizimining 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 yuritgichlarda 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, izolatsiyani 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 tizimida nosinusoidallik va uni kamaytirish tadbirlari

Kuchlanish va tok nosinusoidalligini kelib chiqish sabablari— sanoat korxonalari yuklamalarining volt-amper tavsiflari nochiziqli o'zgarishga ega. Ular qatoriga tiristorli o'zgartgichlar, yoyli va kontaktli payvandlagichlar, elektr yoyli po'lat eritgichlar, rudoter-mik pechlar va gaz razryadli lampalar kiradi. Bu yuklamalar tarmoqdan oladigan toklarining shakllari nosinusoidal bo'lib, tarmoq kuchlanishi shakliga nochiziqli tavsif kiritadi, ya'ni nosinusoidal kuchlanishlarni keltirib chiqaradi.

Nosinusoidallik tartibidagi ish kuchi elektr jihozlari, rele himoyasi, avtomatika, telemexanika va aloqa ishlarida ta'sir ko'rsatadi.

Natijada ularning energetik ko'rsatkichlarini yomonlashtiradi, ishlash ishonchligini pasaytiradi, elektr jihozlar ishlash muddatini kamaytiradi.

Nosinusoidallik tufayli kelib chiqadigan muammolarni hal qilishlik yuqori garmonika manbalarini yuklamalar bilan ishlay olish qobiliyatlarini baholash, har xil nochiqli yuklamalar keltirib chiqarayotgan yuqori garmonikalarni son nuqtayi 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'zgarmas 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 tristorli elektr yuritma;
- asinxron ventilli kaskad;
- kompensatsiyalangan ventilli elektr yuritma;
- chastotali boshqariladigan asinxron yuritgich.

Yoyli vakuumli pechlar ventilli o'zgartgichlardan ta'minlanadi. O'zgartgich asosan 6 fazali tenglashtiriluvchi reaktorli sxemada yig'iladi.

Elektr yoy va kontaktli payvandlash qurilmalari uchun ta'minlovchi manba sifatida yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlardan foydalaniladi. Ularning toki tarkibidagi yuqori garmonlar payvandlash qurilmasi ish tartibiga qarab har xil bo'ladi.

Kontaktli elektr payvandlash qurilmalari elektor tarmog'iga tristorli 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 izolatsiyani 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 izolatsiyasining eskirishini tezlashtiradi. Yuqori garmonikalar 6+8,5% ni tashkil qilganda ham, siljish toki 2,5 yildan so'ng o'rtacha hisobda 36% ga, 3,5 yildan so'ng esa 43% ga ortadi.

Nosinusoidallik ventelli o'zgartgichlarning me'yoriy ishlashiga yomon ta'sir ko'rsatib, to'g'rilangan kuchlanish sifatini kamaytirdi.

Kuchlanish egri chizig'ini ruxsatlangan nosinusoidal koeffitsiyenti

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^N U_v^2}}{U_{\text{nom}}} \cdot 100$$

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.

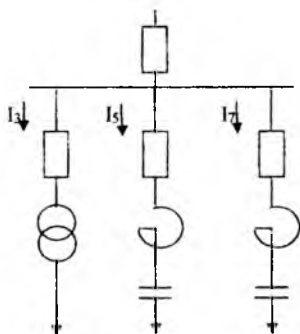
Yuqori garmonikalar darajasini ta'minlovchi tarmoq imkoniyatlari orqali kamaytirish, asosan elektr ta'minotini ratsional sxema asosida bajarishga asoslangan keng tarqalgan usullardan biri bu yuqori, ya'ni 110-220 kV li kuchlanishga ega to'g'rilagich transformatorlarini qo'llash va nochiziqli yuklamalarni alohida transformatorlardan yoki ularni uch chulg'amli transformatorlarning alohida chulg'amlaridan ta'minlashdir. Shuningdek, nochiziqli yuklamalarga parallel ravishda sinxron va asinxron motorlarni ulash ham ko'zlangan natijani beradi.

Yuqori garmonika filtirlari (9.7.1-rasm) o'zaro ketma-ket ulangan induktiv va sig'imdan iborat bo'lib, ma'lum bir garmonika chastotasiga sozlangan. Yuqori garmonika filtr qarshiligi quyidagicha aniqlanadi.

$$x_{fs} = x_{fv} - x_{sv} \quad yoki \quad x_{fs} = x_{fv} - \frac{x_s}{y}$$

Bunda, X_1, 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.

$$\nu_p = \sqrt{\frac{x_c}{x_l}}$$

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 tizimini 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 tizimining hamma bosqichlarida oq'ona 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 maqtul shaklini qabul qilish;

- hamma loyihalanayotgan liniyalarning nominal kuchlanishini, simlar va kabellar kesim yuzasini tanlash;

- EUL va PS ni maqsadga muvofiq bo'lgan tuzilishini ishlab chiqish.

Zamonaviy energetika tizimlarini 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, tizimini o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olib to'liq va har

tomonlama tekshirishni, katta miqyosda mantiqiy va hisoblash ishlarini talab qiladi.¹¹

Texnik-iqtisodiy hisoblardan maqsad quyidagilardan iborat bo'ladi:

- energetika tizimlarini 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 tizimlarini keyingi rivojlanishini (navbatdagi iste'molchilarni paydo bo'lishi, yuklamalarni o'sish sur'ati, tizimning navbatma-navbat qurilish mumkinligi va boshqalar) hisobga olib loyihalash.

10.1. Texnik-iqtisodiy hisoblar, simlar va kabellarning kesim yuzasini tanlash. Kumulyativ xarajatlar

Energetik tizim, tarmoq yoki ularning ayrim qismlari loyihalana-yotganda ushbu aytib o'tilgan mulohazalarga rioya qilib, texnik-iqtisodiy nuqtayi nazardan bir necha variant taqqoslanadi. Bunday taqqoslash maxsus texnik-iqtisodiy hisoblash usullari (metodlari) asosida bajariladi va eng kam xarajatli variant qabul qilinadi.

Ko'p yillar 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 inflatsiya

¹¹ Steven W Blume. Electric Power System Basics. USA Wiley – Interscience A John Wiley&Sous. INC Publication, 2007, 260 p

va uskunani ishlatishga bo'lgan hamma chiqimlarni, (odatda, bir necha yil bo'yicha hisobga olishimiz kerak.

Kumulyativ xarajatlar usuli shularni hammasini hisobga oladi va ular 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_{Σ} – uskuna qismlariga ajratilgan kapital mablag'lar yig'indisi;

E_k – kapital mablag'ga bank orqali qo'yilgan foizning darajasi, inflatsiyani hisobga olgan holda o'zgarib turadi;

C_{Σ} – bir yillik uskunadan foydalanishga (uskunani ishlatish uchun) bo'lgan xarajatlar yig'indisi.

S_{Σ} xarajatlarni ochib yozamiz, bunda:

$$S_{\Sigma} = S_{\Sigma_{ren}} + S_{\Sigma_{TX}} + S_{\Sigma_{\Delta E}} \quad (10.1.2)$$

(10.1.2) dagi tarkibiy qismlarni ko'rib chiqamiz. Bunda $S_{\Sigma_{ren}}$ – 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 $S_{\Sigma_{TX}}$ uskunalarni davriy ta'mirlash va ularga tegishli xizmatlar uchun bo'lgan bir yillik xarajatlar yig'indisi. Endi (10.1.2) dagi $S_{\Sigma_{\Delta E}}$ 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 koeffitsiyentlar (bular 1 kVt soat narxini topishga yordam beradi va vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadi) yordamida hisoblanadi.

Shunday qilib, texnika nuqtayi 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, izolatorlar 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 xarajatlardir, bular energetika uskunalari va tarmoqlarini bir yil bo'yicha ishlatish uchun kerak bo'ladi.

$$S = S_i + S_{m/s} + S_x = \frac{P_{oi} + P_{pi} P_{oi}}{100} H_i + \frac{P_{a, n/um} + P_{p, n/um} + P_{a, n/iz}}{100} H_{n/um} + S_x$$

Bu yerda, S_i , $S_{m/s}$ – liniya va podstansiya uchun ishlatish xarajatlari, ming so'm/yil;

S_x – elektr energiya isrofi narxi, ming so'm/yil;

$P_{oi}, \varphi P_{pi}, \varphi P_{oi} \varphi$ – bir yilda liniya uchun amortizatsiya, oddiy ta'mirlash va xizmat ko'rsatish chegirmalari %;

$P_{a, n/um}, P_{p, n/um}, P_{a, n/iz}$ – xuddi shular podstansiya uchun.

Bu qo'shilmalarning qiymatlari ma'lumotnomada keltiriladi. Agar liniya va podstansiya uchun amortizatsiya, oddiy ta'mirlash va xizmat ko'rsatish xarajatlari birlashtirilsa, unda umuman tarmoq

uchun ish xarajatlarini ifodasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$S = S_a + S_p + S_o + S_{iz}$$

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 izolatorlar almashtiriladi, tayanchlar va podstantsiya uskunalarining qobig'i bo'yaladi, kichik shikastlanishlar tuzatiladi. Shikastlanishni oldini olish uchun tarmoqning barcha elementlari vaqti-vaqti bilan tekshirilib turiladi va profilaktiv sinovdan o'tkaziladi. Bu tadbirlar oddiy ta'mirlash chegirmalaridan mablag' bilan ta'minlanadi.

Xizmat ko'rsatish chegirmalari ishchi xodimlarning maoshiga hamda transport vositalariga xodimlar uchun uy-joylar va boshqalarga sarflanadi.

Amortizatsion va oddiy ta'mirlash xarajatlarini birlashtirish mumkin:

$$C_a + C_p = P_e K.$$

Bu yerda P_e – amortizatsiya va oddiy ta'mirlash uchun yillik chegirma, 1/yil.

Isrof bo'lgan elektr energiyasi narxi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$S_{\Delta\mathcal{E}} = \beta \cdot \Delta E.$$

Bu yerda ΔE – elektr energiya isrofi, kVt. soat;

β – 1 kVt.soat elektr energiya isrofining narxi [so'm/kVt.soat]

Texnik iqtisodiy ko'rsatkichlarga uzatiladigan elektr energiya-ning tannarxi ham kiradi:

$$F = G / E.$$

Bu yerda, S – tarmoqni ishlatish xarajatlari, so'm/yil;

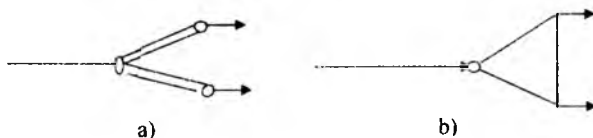
G – bir yilda iste'molchilar olgan elektr energiya, kVt.soat.

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 [so'm/yil] minimumi olinadi:

$$Z_k = (1 + E_k)K + S \cdot \varphi \text{ so'm / yil}$$

Bu yerda, K – jami kapital xarajatlar (investitsiya), so'm;

E_k – kapital xarajatlarni effektivligi normativ koeffitsiyenti foizda, %;

S – yillik ishlatish xarajatlari, so'm/yil.

Ishonchlilikni hisobga olib tarmoq variantini tanlash. Tarmoq rivojlanishining barcha solishtirilayotgan variantlari berilgan iste'mol tartibida (yuklamalar quvvatida) iste'molchilarni bir xil foydali elektroenergiya 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:

Energotizim 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), ω ;
- bir yilda uzluksiz ishlash ehtimoli, ρ , 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 oqibatlardan kutilayotgan yillik xalq xo'jaligiga keltiriladigan zararni (U) iqtisodiy ekvivalent sifatida foydalanish mumkin, ming so'm/yil:

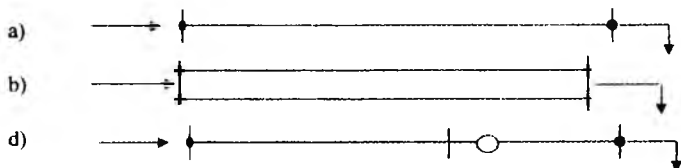
Elektr energiyani bermaslik natijasidagi ziyon U, xarajatlar tarkibiga kiritiladi va II – kategoriya iste'molchilarini ta'minlovchi tarmoq variantlarini tanlashda hisobga olinadi. Agarda tarmoq variantlari ishonchlilik bo'yicha bir-biridan ancha farq qilsa, bunda, elektr ta'minoti buzilish natijasida ziyonni o'z ichiga olgan eng kam xarajatlar bo'lgan variant tanlanadi.

10.1.2 - rasmda ko'rsatilgan tarmoq variantlaridan birini ishonchlilikni hisobga olgan holda tanlash uchun, har qaysi variantning hisobiy xarajatlariga elektr energiyani yetkazib bermaslik natijasidagi o'rtacha yillik ziyon qo'shilib va eng kam xarajatli variant tanlanadi.

$$Z_z = S_z + (1 + E_k) K_z + U_z$$

Ziyon aniqlanadi:

$$U_v = \omega T_v P_{\kappa\delta} E_N U_{\omega\kappa},$$



10.1.2 -rasm. Tarmoq variantlari:

a) bitta liniya; b) ikkita parallel liniya; d) liniya-transformator bloki.

Bu yerda, ω – uzilish oqimi parametri (bir yilda o‘rtacha uzilishlar soni);

T_v – o‘rtacha yillik tiklash vaqti, yil uzilish;

$R_{k\delta}$ – 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 ω 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. Haqiqatan elektr tarmog‘ida avariya natijasida bir nechta elementlar: liniyalar, transformatorlar, o‘chirgichlar, 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 d-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:

$$U_v = K_v \cdot R_h \cdot E_n U_{ov}$$

Bu yerda K_v – majburiy bekor to'xtab turish koeffitsiyenti, (nisbiy birlikda).

Tarmoqning bir elementi uchun

$$K_g = \omega T_g$$

Elektr tarmoqlarini loyihalash vaqtida ishonchilikni hisobga olish uchun tarmoq elementlarini avariya o'chirilishidan tashqari reja asosida o'chirilishini ham (rejali ta'mirlash paytida) hisobga olish kerak. Bunda, avariya va rejali bekor to'xtab turish sababli elektr ta'minotini uzulishidan ko'rilgan ziyonlarning matematik kutilishlari yig'indisi xarajat tarkibiga kiritiladi.

Nazorat savollari:

1. Kumulyativ xarajatlar nimadan iborat?
2. Kapital xarajatlar va ishlatish xarajatlari nimalardan iborat?
3. Tanlangan variantlar texnik iqtisodiy qanday solishtiriladi?
4. Ishonchlilik talablari bo'yicha variantlar qanday tanlanadi?

10.2. Tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha simlarning kesim yuzasini tanlash

Ko'pchilik elektr tarmoqlarini loyihalash va qurishda, simlarning iqtisodiy kesim yuzasini tanlash eng muhim masalalardan biri hisoblanadi. Xususan ko'pgina EULni qurish va ishlatish juda katta miqdordagi kapital mablag', sim materiallarining sarfi, elektr tizimlarida quvvat va elektr energiya isrofi bilan bog'langan.

Elektr tizimlarining iqtisodiylikiga (mamlakati 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 tizimi 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 yuzasiga aytiladi. Simning iqtisodiy kesim yuzasi 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'zgarish tashkil etuvchisi (qidiruv ishlariga, loyihalashga, yo'llarni, aloqa liniyalarini yotqizishga va boshqalarga sarflangan mablag');

v – 1 km liniyani qurishda simning kesim yuzasiga qarab narx o'zgarishini hisobga oladigan qimmatlashish koeffitsiyenti (so'm/km.mm²)

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

$$C_{\text{ef}} = 3I^2(\rho/F) \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} \quad (10.2.2)$$

Bu yerda, I – normal holatga tegishli liniyadagi maksimal tok, A;

ρ – sim materialining solishtirma qarshiligi;

τ – maksimal quvvat isrofi ajraladigan vaqt, soat;

β – elektr energiya isrofining solishtirma narxi (so'm/kVt.soat)

(10.2.1) va (10.2.2) larni hisobga olganda 1 km liniya uchun keltirilgan xarajat quyidagiga teng bo'ladi:

$$Z = (E_0 + p)(a + vF) + 3I^2(\rho/F) \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} \quad (10.2.3)$$

Bu yerda, p – liniyani amortizatsiyasiga, tuzatishga va u uchun xizmat qiluvchilarga ajratilgan mablag' koeffitsiyenti.

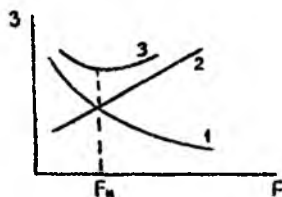
Keltirilgan xarajatning eng kichik qiymati bo'ladi, qachonki

$$\frac{dZ}{dF} = (E_0 + p)v - 3I^2(\rho/F)\tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} = 0$$

Bundan tokning iqtisodiy zichligi:

$$j_{\text{opt}} = I / F = \sqrt{(E_{\text{opt}} + p) \sigma / 3 \rho \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}} \quad (10.2.4)$$

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, $C_{\text{se}} = 3I^2(\rho/F) \cdot \tau \cdot \beta$ (energiyani isrofiga ketgan xarajat) ga tegishli 1 – egri chiziq, simning kesim yuzasiga teskari munosabatda o'zgaradi, a'zolar $C = (E_{\text{opt}} + p) \cdot (a + \sigma F)$ ifodalaydigan (2-chiziq) keltirilgan xarajatning apital mablag'ga tegishli qismi kesim yuzasiga taxminan to'g'ri chiziqli bog'langandir, chunki simning kesim yuzasi katta bo'lsa, boshlang'ich apital mablag' sarfi shuncha ko'p bo'ladi, 1- va 2- egri chiziqlarni qo'shib 3 – egri chiziq, ya'ni kesim yuzasi F ga bog'liq bo'lgan yillik keltirilgan xarajatlarning o'zgarishini olamiz (10.2.1-rasm).

Simning kesim yuzasi kattalashishi tufayli energiya isrofining narxi kamayadi, lekin liniyani ishlatishga bo'lgan mablag' ajratish ko'payadi, bunda umumiy egri chiziqdagi minimumga tegishli bo'lgan kesim yuzasini qiymati iqtisodiy kesim yuzasi deb atalgan qandaydir F_k kesim yuzasiga to'g'ri keladi.

Shunday qilib, simni iqtisodiy kesim yuzasini aniqlash uchun matematik funksiya $Z=f(F)$ ni bilish, bu funksiyaning minimumini va unga tegishli F_k ni topishning o'zi yetarlilga o'xshaydi. Bunday urinishlar ko'pchilik mualliflar tomonidan qilingan. Birlari faqat simlarning narxini hisobga olib, liniyaning qurilish qismini hisobga olishmagan, boshqalari rangli metallarning iqtisod qilishni hisobga oladigan tuzatishlarni kiritishgan. Ammo iqtisodiy kesim yuzasini

qiymatiga ta'sir etuvchi murakkab faktorlarning barchasini hisobga olish matematik jihatdan mumkin emas, shuning uchun EUTQ da har xil materiallardan tayyorlangan havo va kabel liniyalari uchun bir qator texnik-iqtisodiy hisoblarga asosan, yana har xil maksimum yuklamadan foydalanish vaqti T_{maks} uchun iqtisodiy kesim yuzasini aniqlashda quyidagi ifodadan foydalanish tavsiya etiladi.

$$F = \frac{I_{\text{mak}}}{J_u} \quad (10.2.5)$$

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/mm².

Sim materialining o'tkazuvchanligi qancha yuqori bo'lsa (mis-alumin) 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 xarajatdagi elektr energiya narxi oshadi. (10.2.4 ifodadagi (o'sadi).

Liniyadagi I_{mak} ni qiymatini liniya me'yoriy ishlayotgan holatida olish kerak, ya'ni tarmoqning shikastdan keyingi va tuzatilish holatidagi tokni oshishi hisobga olinmaydi. Masalan, me'yoriy liniyalarda, shikastdan keyin bittasi ishlab, ikki marta ko'p yuklamani ta'minlaydi, ammo bu holat uzoq bo'lmagani uchun. iqtisodiy kesim yuzaga ta'sir qilmaydi. Bu yerda liniyaning kesim yuzasini mumkin bo'lgan qizish darajasi bo'yicha maksimal tokka asosan tekshirish kerak.

Ishlatish sharoitiga asosan tavsiya etilgan tokning iqtisodiy zichligi qo'shimcha jadvallarda keltirilgan.

Shu yo'l bilan topilgan kesim yuzasi F_i ni standartga yaqin qilib yaxlitlanadi.

Agarda tarmoqdagi yuklama maksimumi tungi (kechki) vaqtga to'g'ri kelsa, unda EUTQ lariga asosan tokning iqtisodiy zichligini (jadvaldagi) 40% ga oshiriladi. 16 mm² va undan kichik kesim

yuzali izolatsiya qilingan simlarda ham j_i ni 40% ga kattalashtirish mumkin.

Uchastkalari katta bo'lmagan va ulardagi T_{mak} lar har xil bo'lgan tarmoqlarda iqtisodiy kesim yuzasi har bir uchastka uchun alohida aniqlanadi, lekin bunda uchastkalardagi har xil T_{mak} o'rniga butun tarmoq uchun uning o'rtacha qiymati $T_{\text{o'r mak}}$ quyidagi ifodaga asoslanib qabul qilinadi.

$$T_{\text{o'r mak}} = \frac{\sum P_{\text{mak}} \cdot T_{\text{mak}}}{\sum P_{\text{mak}}} = \frac{P_{1\text{mak}} \cdot T_{1\text{mak}} + P_{2\text{mak}} \cdot T_{2\text{mak}} + \dots}{K_o \cdot (P_{1\text{mak}} + P_{2\text{mak}} + \dots)} = \frac{\sum_1^n P_{\text{mak}} \cdot T_{\text{mak}}}{K_o \cdot (\sum_1^n P_{\text{mak}})} \quad (10.2.6)$$

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;

$\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_n$ – ayrim uchastkalarining uzunliklari;

L – liniyaning to'liq uzunligi.

Simlarning kesim yuzasi kuchlanishi 500 kV gacha bo'lgan HL larida tokning iqtisodiy zichligi asosida tanlanadi. 500 kV dan yuqori kuchlanishli HL larida hamda 110 kVli va undan yuqori kuchlanishli KL larida tokning iqtisodiy zichligidan foydalanish tavsiya etilmaydi. Tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha simning kesim yuzasi quyidagi hollarda tanlanmaydi:

a) sanoat korxonalarining va qurilmalarining kuchlanishi 1000 V gacha bo'lgan tarmoqlarda maksimal yuklamadan foydalanish vaqti 4000-5000 s dan ortiq bo'lmasa;

b) 1000 V gacha bo'lgan ayrim elektr iste'molchilargacha cho'zilgan shoxobchalar va yorituv tarmoqlarida;

d) 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) $T_{\max}=5000$ s bo'lganda F_i ni aniqlashdagi xatolik +30%; $T_{\max}=8760$ s da esa xatolik intervali o'rtacha vaqt qiymati uchun tanlangan kesim yuzasiga nisbatan 20% ni tashkil etadi.

Yuklamaning iqtisodiy oralig'i (intervali) metodi aniqroq yechimini 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 oralig'i iqtisodiy deyiladiki, qachonki shu oraliqlardagi yuklamalarga tegishli bir o'lcham tokni, (yoki quvvatni) bir o'lcham uzunlikka uzatish uchun keltirilgan xarajat boshqa kesim yuzalaridagiga nisbatan eng minimal bo'ladi.

Uzunlik birligidagi aktiv qarshiligi r (Om) li standart F_m kesim yuzali 1 km liniyaga tegishli keltirilgan xarajat tok I ga bog'langan ravishda quyidagi ifoda orqali topiladi.

$$Z_{(m)} = (E_{\text{e}} + p)K_{(m)} + ZI^2 r_{(0.01)} \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} \quad (10.2.8)$$

Ushbu kesim yuzasi F_m uchun iqtisodiy oraliqni hosil qiluvchi mumkin bo'lgan yuklamalar qiymatini kesim yuzalari $F_{(n-1)}$ va F_m ,

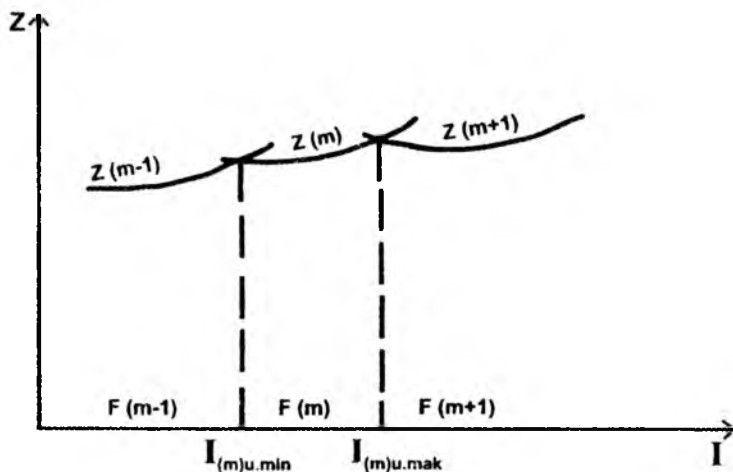
hamda $F_{(m+1)}$ ga taalluqli keltirilgan xarajatlarni bir-biriga tenglashtirilib aniqlash mumkin. $Z_m = Z_{(m-1)}$ shartiga asoslanib, kesim yuzasi uchun tokni minimal qiymati aniqlanadi:

$$I_{(m)u.min} = \sqrt{(E_s + p)(K_{(m)} - K_{(m-1)}) \cdot 10^{-3} / 3r\beta(r_{N(m-1)} - r_{O(m)})} \quad (10.2.9)$$

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

$$I_{(m)u.mak} = \sqrt{(E_s + p)(K_{(m+1)} - K_{(m)}) \cdot 10^{-3} / 3r \cdot \beta(r_{N(m)} - r_{O(m+1)})} \quad (10.2.10)$$

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 nuqtayi 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_{mak} bilan iqtisodiy zichligi qanday bog'langan?

10.2.1.Mavzuga doir misollar

1-misol. $(80+j40)$ mVA quvvat iste'mol qiladigan korxona 110 kV kuchlanishli ikki tizimli elektr uzatuv liniyasi orqali ta'minlanishi kerak. Maksimal yuklamada ishlash vaqti 4500 s. Po'lat-alumin simning kesim yuzasini toping.

Yechish: Liniyadagi ishchi tokni aniqlaymiz.

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2} \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} U_{\text{v}}} = \frac{\sqrt{80^2 + 40^2}}{2 \cdot 1,73 \cdot 110} = 235 \text{ A}$$

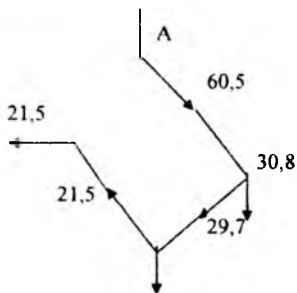
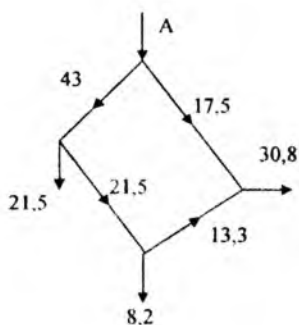
Jadvaldan tokni iqtisodiy zichligini aniqlaymiz $j_u = 1,1 \text{ A/mm}^2$. Liniyani iqtisodiy kerakli kesim yuzasi

$$F_u = \frac{I}{j_u} = \frac{235}{1,1} = 213 \text{ mm}^2$$

Standart bo'yicha yaqin kesim yuza AC-240 markali simni tanlaymiz va qizishga tekshiramiz. Bunday apital uchun xonadan tashqaridagi $+20^\circ\text{Cda}$ $I_{\text{mux}} = 610 \text{ A}$. Tekshirish shuni ko'rsatadiki, $I < I_{\text{mux}}$. Avariya holatida (bitta liniya uzilganda) tarmoqdagi ishchi toki

$$I_n = 2 \cdot 235 = 470 \text{ A} < I_{\text{mux}}$$

a) Sanoat korxonasi rasmda ko'rsatilgan 110 kVli berk zanjirli tarmoqdan ta'minlanadi. Uchastkalardagi quvvatlar megovoltlarda rasmda ko'rsatilgan. Maksimal yuklamada ishlash vaqti 4800 soat. Tarmoq simlarini kesim yuzasini aniqlang.



Yechish. Tarmoq uchastkalari oqayotgan ishchi tokini aniqlaymiz

$$I_1 = \frac{S_1 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{43 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 226 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{S_2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{21,5 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 113 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{S_3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{13,3 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 70 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{S_4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{17,5 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 92 \text{ A}$$

Po'lat-alumin apital uchun T-4800 soat, jadvaldan olamiz $J_{uq}=1,1 \text{ A/mm}^2$. Uchastkalardagi simlarni kesim yuzasi

Yaqin standart kesim yuzani tanlaymiz

$$F_1 = 240 \text{ mm}^2; I_{mux} = 610 \text{ A}; \quad F_2 = 120 \text{ mm}^2; I_{mux} = 380 \text{ A};$$

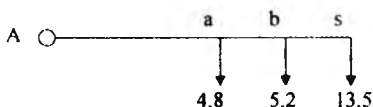
$$F_3 = 70 \text{ mm}^2; I_{mux} = 265 \text{ A}; \quad F_4 = 95 \text{ mm}^2; I_{mux} = 330 \text{ A};$$

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 keyingi holatda eng katta tok tarmoqni to'rtinchi uchastkasidan oqadi, uning qiymati

$$I_{max} = \frac{60,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 318 \text{ A}$$

Uning qiymati AC-95 markali simni ruxsatlangan $I_{mux}=330 \text{ A}$ dan kichik.

a) 110 kV li magistral liniyadan uchta I podstantsiyalari ta'minlanadi. Rasmda quvvatlar megavoltamperda ko'rsatilgan. Maksimal yuklamada ishlash vaqti 4200 s bo'lganda liniya uchastkalari simlarining kesim yuzasini aniqlang.



Yechish: Liniya uchastkalaridan oqadigan quvvatlarni aniqlaymiz. Uchinchi uchastkadagi quvvat $S_3=13,5$ mVA, ikkinchi uchastkadagi $S_2=S_3+S_b=13,5+5,2=18,7$ 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

$F_1=120 \text{ mm}^2$; $I_{\text{rux}}=380 \text{ A}$; $F_2=95 \text{ mm}^2$; $I_{\text{rux}}=330 \text{ A}$; $F_3=70 \text{ mm}^2$;
 $I_{\text{rux}}=265 \text{ A}$;

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 uzatilayotgan quvvat oshadi, lekin tarmoq qurilishi uchun sarflangan apital xarajatlar ortadi.

Past nominal kuchlanishli tarmoq kam apital xarajatlar talab qiladi, lekin quvvat va elektr energiya isrofi oshishi sababli katta ishlatish xarajatlariga olib keladi, bundan tashqari, kam o'tkazish qobiliyatiga ega. Shuning uchun, tarmoqni loyihalash vaqtida nominal kuchlanishni to'g'ri tanlash muhim hisoblanadi.

Elektr tarmoqlarning nominal kuchlanishi amaldagi standartlarda ko'rsatilgan (GOST da).

Iqtisodiy ma'qul nominal kuchlanish bir necha omillarga bog'liq:

- yuklama quvvatiga;
- TM dan yuklamani uzoqligiga;
- yuklamalarni joylashishiga;
- elektr tarmog'ining tuzilishiga;
- kuchlanishni rostdash usullariga va boshqalarga.

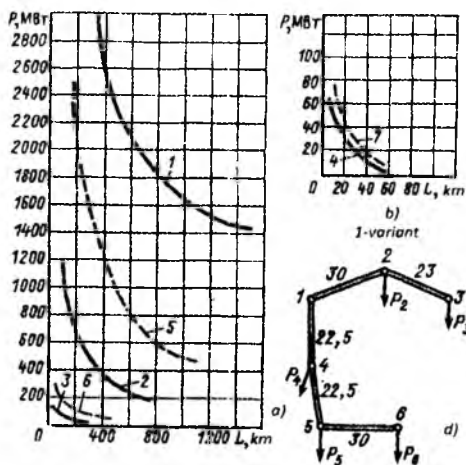
Nominal kuchlanishni (U_{nom}) taxminiy qiymatini uzatilayotgan quvvat qiymati va u uzatilayotgan masofa bo'yicha aniqlash mumkin. Liniya orqali uzatilayotgan masofa qancha katta bo'lsa, shuncha texnik va iqtisodiy me'yorlar bo'yicha elektr tarmog'ining nominal kuchlanishi yuqori bo'lishi kerak.

Nominal kuchlanishni quyidagi usullardan biri bilan taxminiy aniqlash mumkin:

- a) 10.3.1a-rasmdagi chiziqlar bo'yicha;
- b) – apital ifodalar bo'yicha;
- d) 6.5-jadvalga asosan liniyaning o'tkazish qobiliyati va uzatish masofasiga bog'liq holda [6].

10.3.1-rasmlardagi chiziqlar, turli apital kuchlanishli elektr tarmoqlarni iqtisodiy ma'qul qo'llanilish sohaslarini ko'rsatadi. Bu bog'lanishlar, R , va U_{nom} ko'rsatkichlari har xil bo'lgan tarmoq variantlari xarajatlarini solishtirish natijasida olingan.

Chiziqlar, 110-220-500 kV (1-4-chiziqlar) va 110 (150)-330-750 kV (5-7-chiziqlar) kuchlanishlar tizimi uchun teng iqtisodiy chegaralarni taxminan ifodalaydi. Masalan, 2 - chiziq nuqtalari, kuchlanishi 220 va 500 kV bo'lgan tarmoq variantlari teng foydali bo'lgan R va ℓ ning qiymatlariga to'g'ri keladi.



10.3.1-rasm. Turli U_{nom} li elektr tarmoqlarining qo'llanilish sohasi 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.

Ma'lum qiymatli uzatilayotgan quvvat R , mVt va liniya uzunligi ℓ , km bo'yicha nominal kuchlanishni Stilla ifodasi yordamida oldindan aniqlash mumkin:

$$U_{nom} = 4,34 \sqrt{\ell + 0,016 P} \quad (10.3.1)$$

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 katta yuklamali bosh uchastkalarining nominal kuchlanishi aniqlanadi.

Halqasimon tarmoq uchastkalari, odatda, bir nominal kuchlanishda bajarilishi kerak.

Yuqoridagi usullarning biri bilan topilgan kuchlanish yaqin nominal kuchlanishga yaxlitlanadi. Barcha usullarning 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. Halqasimon tarmoqlar nima uchun bir nominal kuchlanishda bajariladi?

10.4. Havo liniyalar simlari kesim yuzasini va kabellarni iqtisodiy intervallar usuli bilan tanlash

Tokning iqtisodiy zichligi kesim yuzasi tanlanayotganda liniya qurish uchun sarflanayotgan kapital xarajatlardan tashqari, elektr energiya isrofi narxini ham hisobga olish imkonini beradi. Ko'rsatilgan afzalligiga qaramasdan HL ning kesim yuzasini j , bo'yicha tanlash bir necha tahlillarga asoslangan holda xatoliklarga olib keladi:

Birinchidan, j , uchun ifoda liniyaning kapital mablag'lari uning uzunligiga chiziqli bog'langan degan taxmin asosida olingan. Chiziqli bog'lanish, HL larni tayanchlarda qurishga o'tilganda, buziladi.

Sanoat tayanchlarning cheklangan sonini ishlab chiqaradi. Ularning har biri faqat bir nechta standart kesim yuzalarini osish uchun mo'ljallangan.

Ikkinchidan, j , uchun ifoda keltirib chiqarilganda, keltirilgan xarajatlar ifodasida kesim yuzasi uzluksiz o'zgaradi degan faraz asoslanmagan taxmin hisoblanadi. Haqiqatda kesim yuzalari uzlukli o'zgaradi.

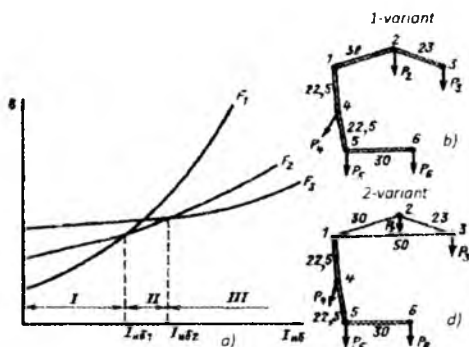
Uchinchidan, liniyadagi eng katta tok xarajat ifodasidagi I_0 o'zgarmas deb olingandir. Bu unday emas, chunki turli liniya uchun I_0 har xil. Bu holatda, iqtisodiy kesim yuzasi (F_1) $\partial Z / \partial I$ ni nolga tenglik shartidan aniqlanishi kerak.

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 xarajatlarni I_0 tokiga bog'lanishi quriladi.

Har qaysi kesim yuzasi uchun xarajatlar ushbu ifoda bilan aniqlanadi.

$$Z = (P_v + P_o)K + 3I_0^2 R \tau \beta \quad (10.4.1)$$



10.4.1-rasm. Tokli yuklamalarga bog'liqli iqtisodiy intervallar usuli bilan simlarni kesim yuzasini tanlash.

a) – iqtisodiy intervallarni tuzish; b, d) – 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_{11} ni aniqlaydi. Bunda F_1 li xarajatli F_1 va F_2 li xarajatlarga teng. Agar liniya toki I_{11} dan kichik bo'lsa, eng kam xarajatlar F_1 kesim yuzaga to'g'ri keladi va ushbu kesim yuzani tanlash iqtisodiy maqsadga muvofiqdir. Tokni O dan I_{11} qiymati uchun iqtisodiy interval, agarda tok I_{11} dan I_{12} oralig'ida bo'lsa, F_2 maqsadga muvafiq, tok I_{12} dan katta bo'lsa, F_3 kesim yuza tanlanadi.

Iqtisodiy intervallar usulini boshqa turdagi uskunalar uchun qo'llash nazariy isbotlangan va taklif qilingan.

Iqtisodiy tokning chiziqlar kesishishi joyidagi qiymati I_E quyidagi ifodadan aniqlanishi mumkin:

$$Z_1 = Z_{12}$$

Bu yerda, Z_{11} va Z_{12} – tokka bog'liq bo'lgan solishtirilayotgan yonma-yon kesim yuzalari uchun xarajatlar.

Ularning 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

$$I_1 = \sqrt{\frac{P_N + P_a}{\tau \cdot \beta}} \sqrt{\frac{(K_{12} - K_{11}) \cdot 10^{-3}}{3(R_1 - R_2)}}$$

Bu yerda K_1 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

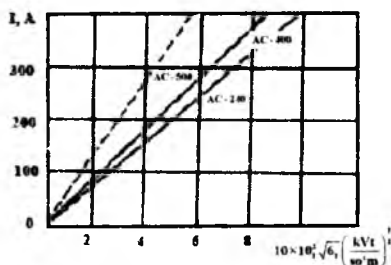
Yuqorida ko'rib chiqilgan $I = f(\xi)$ usul bo'yicha ko'rilgan iqtisodiy intervallar nomogrammalari, turli kuchlanishdagi va turli

tuzilishdagi tarmoq liniyalari uchun iqtisodiy kesim yuzasini to'g'ri tanlash imkonini beradi.

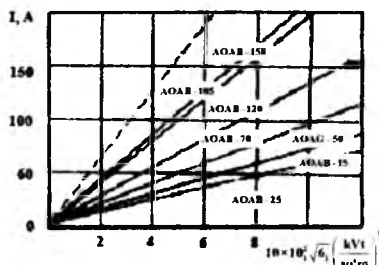
10.4.2 - rasmdan ko'rinib turibdiki, ma'lum tuzilishdagi 220 kVli HL uchun AC-300 kesim yuzasi iqtisod tomondan foydali emas va uni qo'llash tavsiya etilmaydi. Chuqurlikda yotqizilgan 20 kVli kabellar uchun AOAB-95 kesim yuzasi iqtisod tomonidan foydali emas (10.4.3- rasm).

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 liniyalarning uchun nomogrammlar.



10.4.3- rasm. Chuqurliklarda yotqizilgan AOAB markali 20 kVli kabellar uchun nomogrammlar.

Yuklama o'sishini hisobga olish

Yuklamani yil bo'yicha o'zgarishi hisobga olinganda hisobiy tokni o'rtacha qiymati olinadi. Masalan, agar yuklama o'sishi bir xil bo'lsa ($\alpha, \%$), unda hisobiy tok aniqlanadi:

$$I_{\text{hisob}} = \beta I_1$$

Bu yerda, I_1 – liniyaning 1 – yil ishlashidagi maksimal toki;
 β – hisobli yuklamani nisbiy o'sishi.

Iqtisodiy intervallar nomogrammalari bo'yicha $\sqrt{\xi}$ va I'_{qsoq} koordinatalari bilan iqtisodiy kesim yuzasi tanlanadi. $\beta = f(T \text{ va } a)$ bog'lanishi 10.4.4-rasmda ko'rsatilgan. [2]

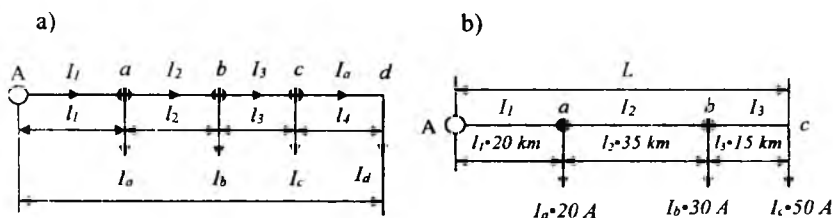
Ko'p miqdordagi yuklamalarni hisobga olish.

Liniyalar bo'yicha ko'p miqdorda yuklamalar ta'minlanayotgan-da hisobiy tok sifatida shunday I'_{hisob} tok qabul qilinadiki, u liniyada haqiqiy yuklama toki hosil qilgan isrofnı hosil qilsin:

$$I_{\text{hisob}}^2 \cdot L = I_1^2 \cdot \ell_1 + I_2^2 \cdot \ell_2 + \dots = \sum_{m=1}^{m=n} I_m^2 \ell_m$$

Bu yerda m – uchastka tartibi;

n – uchastkalar soni.



10.4.4-rasm. Ko'p miqdorli yuklamalarni hisobga olish sxemasi.

Keyingi masala yuqoridagiga o'xshab yechiladi.

Shunday qilib, iqtisodiy intervallar usuli:

1) $K_i = f(F)$ kapital xarajatlari nochiziqli bog'lanishini hisobga oladi, tokning zichligi esa chiziqli bog'lanishda hisoblangan.

2) maksimal yuklamada ishlash vaqti T_{mak} (yoki τ) haqiqiy qiymatlarini uzluksiz o'zgarishi hisobga olinsa, tokni iqtisodiy zichligi j_i esa T_{mak} , uzlukli (diskvit) keng (1000-300 gacha, 3000-5000 gacha, 5000-8760 gacha) oraliqda o'zgarishiga chiqarilgan.

3) kesim yuzalarni pog'onaliligini hisobga oladi.

4) nomogrammalar yordamida $E_N, \tau \varphi \alpha \varphi C$, 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'miga ishlatish doimo tejimli. Bir vaqtning o'zida issiqlikka bardoshlilik nuqtayi nazaridan bu foydalidir. Qo'shaloq kesim yuzalilarni faqat katta yuklamalarda, ya'ni yakka kesim yuzalilar ishonchlilik sharti bo'yicha yetarli bo'lmasa, ishlatish tavsiya etiladi.

9) kesim yuzasini tokni iqtisodiy zichligi j_u bo'yicha tanlash, optimal kesim yuzasini 1,5-2 barobar kichrayishini, bu esa elektr energiya isrofini oshirib, xarajatlarni ko'payishini ko'rsatadi.

Masalan, rasmdan, j_u bo'yicha tanlangan F_μ 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 $Z_{iq\ i, j}$ 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.

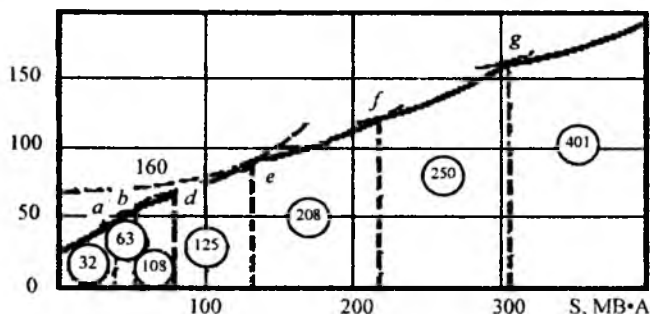
Transformatorlar uchun amaliyotda qo'llash uchun qulay bo'lgan nomogrammalari qurish liniyalarga nisbatan murakkab, chunki ularda ikki xil isrof mavjud: $\Delta P_{\Sigma u}$ va $\Delta P_{\Sigma l}$.

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 avtotransformatorlarning optimal quvvatini tanlash uchun ma'qul taxminlarni hisobga olib qurilgan iqtisodiy intervallar nomogrammalari keltirilgan.

U yerda gorizontal chiziqlar orqali transformatorni o'ta yuklanish qobiliyati oraliqlari ham ko'rsatilgan.

3 ming.so'm



10.4.5-rasm. Turli nominal quvvatli transformator uchun xarajatlarni quvvati S bog'liqligi.

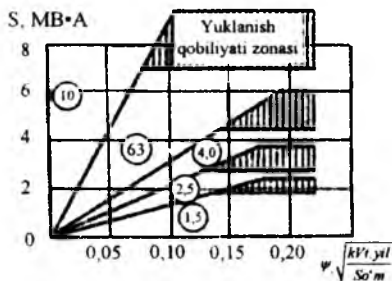
Liniya simlari ortiqcha yuklanganda o'zining o'rnatilgan haroratiga tez erishishidan farqli, o'lchamlari katta bo'lgani uchun transformatorlarning harorati ancha sekin ko'tariladi. Shuning uchun transformatorlarning ruxsatlagan o'ta yuklanishi yuklanish vaqtiga bog'liq bo'ladi. Shunga ko'ra, nomogrammalarda bitta gorizontal chiziq emas, ikkita to'g'ri chiziq orasidagi zanjir ko'rsatilgan. Uzoq vaqtli o'ta yuklanishda pastki to'g'ri chiziqni, qisqa vaqtisida esa – yuqoridagi to'g'ri chiziqni ($1,5 S_{nom}$) ishlatish kerak.

Transformatorlarning optimal quvvatini tanlash uchun nomogrammalarda, transformatorning haqiqiy maksimal quvvatini S_{tr} , koeffitsiyent $\Psi, [\sqrt{kVt.yil / so'm}]$ ga bog'lanishi hisoblanadi,

$$\Psi = \sqrt{1/\tau \cdot C_k}$$

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 nomogrammlar (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 nomogrammlari qanday qo'llaniladi?
3. Yuklamalar o'sish va ko'p miqdordagi yuklamalarda bu usul qanday qo'llaniladi?
4. Transformatorlar uchun iqtisodiy intervallar nomogrammasi 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 $\Delta U < \Delta U_{max}$ sharti qoniqtirilishi kerak.

10 (6)- 20 kV kuchlanishli shahar elektr tarmoqlarini simlari va kabellarining kesim yuzasini tanlashda kuchlanish yo'qotilishi 5%

dan oshmasligi kerak, 0.38 kV kuchlanishli tarmoqlarda esa (binoning ichiga kirguncha) 4-6% dan oshmasligi kerak.

Qandaydir taqsimlangan yuklamani U kuchlanish bilan ta'minlaydigan liniyada berilgan ΔU_{max} qiymati asosida simning eng kichik kesim yuzasini tanlashni ko'rib chiqamiz. Bunday liniyalarda kuchlanishni yo'qotilishi:

$$\Delta U = \sum_1^n P_i \cdot R_i / U_n + \sum_1^n Q_i \cdot X_i / U_n \quad (10.5.1)$$

(10.5.1) ifodadan ko'rinadiki, kuchlanish yo'qolishi liniyaning aktiv va reaktiv quvvati va qarshiliklari bilan bog'langan ΔU_a va ΔU_r dan tashkil topgandir. Bunda aktiv qarshilik liniya simlarining kesim yuzasiga to'g'ri bog'liqdir (yuzaga teskari munosabatda), induktiv qarshilikni bog'liqligi esa murakkab (faza simlari orasidagi o'rtacha masofa D_{0r} 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:

$$\Delta U_r = \sum_1^n \frac{Q_i \cdot \ell_i \cdot x_0}{U_n}$$

ΔU_{max} ni qiymatidan ΔU_r ni ayirib, aktiv qarshilik r_0 ga bog'liqlik kuchlanish yo'qotilishining ruxsatlangan tarkibiy qismi topiladi.

$$\Delta U_{\text{max}} = \Delta U_{\text{max}} - \sum_1^n \frac{Q_i \cdot \ell_i \cdot x_0}{U_n}$$

(10.5.1) ga asosan,

$$\Delta U_{\text{max}} = \sum_1^n \frac{P_i \ell_i \cdot r_0}{U_n}$$

Unda, simlarning kesim yuzasi:

$$F = \frac{\sum_1^n P_i \ell_i}{\gamma \cdot \Delta U_{\text{max}} \cdot U_n} \quad (10.5.2)$$

Agarda uzoqdagi iste'molchilarda kuchlanish yo'qotilishi ruxsatlangan qiymatdan katta bo'lsa, bu iste'molchi qabul qiladigan energiya sifatini qoniqarli deb aytish mumkin emas. Dastlabki hisoblarda, rostlash uskunolari mavjud bo'lsa, mahalliy elektr tar-

moqlarida 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'zgarish bo'lganida aniqlash. Ko'pincha amaliy nuqtayi nazarda loyihalarnayotgan 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_{const} bo'lganda, simning kesim yuzasini ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishi bo'yicha aniqlash juda soddalashadi.

$$\Delta U_{aruz} = r_0 \sum_1^n \frac{P_i \ell_i}{U_n} = \frac{\rho}{FU_n} \sum_1^n P_i \ell_i$$

Bu yerdan, qidirilayotgan yuza

$$F = \frac{\rho}{\Delta U_{aruz} \cdot U_n} \sum_1^n P_i \cdot \ell_i \quad (10.5.3)$$

yoki xuddi shuning o'zi

$$F = \frac{\sum_1^n P_i \ell_i}{\gamma \cdot \Delta U_{aruz} \cdot U_n} \quad (10.5.4)$$

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.

Isrofning minimumiga to'g'ri keladigan tok zichligining qiymati shuningdek aktiv r_o qarshilikka bog'liqli ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishi orqali aniqlanadi.

$$\Delta U_{\text{apx}} = \frac{\rho}{U_n} \sum_1^n \frac{P_i \ell_i}{F_i} = \frac{\rho}{U_n} \sum_1^n \frac{\sqrt{3} U_n I_i (\cos \phi_i) \ell_i}{F_i} = \sqrt{3} \rho \sum_1^n \frac{I_i (\cos \phi_i) \ell_i}{F_i} \quad (10.5.5)$$

Shart bo'yicha $I_i/F_i = j_{\Delta p} = \text{const}$ bo'lgani uchun uni yig'ish belgisidan tashqaridan chiqarsak, hosil bo'ladi:

$$\Delta U_{\text{apx}} = \sqrt{3} \rho j_{\Delta p} \sum_1^n (\cos \phi_i) \ell_i$$

Bundan

$$j_{\Delta p} = \frac{\Delta U_{\text{apx}}}{\sqrt{3} \rho \sum_1^n \ell_i \cos \phi_i} \quad (10.5.6)$$

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'qotilishini ta'minlaydigan tokning zichligi $j_{\Delta p}$ oldindan aniqlanadi. Agarda $j_{\Delta p} > j_i$ bo'lib qolsa, unda kesim yuzasi iqtisodiy zichligi kesim j_i orqali, teskari hollarda $j_{\Delta p}$ orqali tanlanadi.

Tanlangan kesim yuzasini iqtisodiy kesim yuzasidan ancha katta bo'lishi, tarmoq uchun yuqoriroq nominal kuchlanish qo'llash zarurligini (masalan, 6 kV o'rniga 10 kV qo'llash) yoki kuchlanish yo'qotilishini kamaytiradigan maxsus choralarni ishga solish masalan, reaktiv quvvatni ko'ndalangiga yoki bo'ylamasiga kompensatsiya qilish kerakligini ko'rsatadi.

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'zgarish bo'lganda qanday aniqlanadi?
4. Simning kesim yuzasi quvvat isrofining minimumi sharti bo'yicha qanday aniqlanadi?

10.5.1. Mavzuga doir misollar

1-misol. 1000 kVA transformator o'rnatilgan podstantsiya 10 kV kuchlanishli 2,5 km uzunlikdagi alumin simdan tayyorlangan havo elektr uzatuv liniyasidan ta'minlanadi. Alumin simlar qirralarda 1 m masofada joylashgan. Podstantsiyani iste'mol qiladigan quvvati 750+j600 kVA. Liniyada ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishi 4,5% kesim yuzani aniqlab simni markasini tanlang.

Yechish: Liniyadagi ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishi

$$\Delta U_{\text{rux}} = \frac{10000 \cdot 4,5}{100} = 450 \text{ B}$$

1 km uzunlikdagi liniyaning induktiv qarshiligini 0,38 Om/km qabul qilib reaktiv quvvat hisobidan undagi kuchlanish yo'qotilishini aniqlaymiz.

$$\Delta U_{\sigma} = \frac{Q x_0 l}{U_n} = \frac{600 \cdot 0,38 \cdot 2,5}{10} = 57 \text{ V}$$

Kuchlanish yo'qotilishini aktiv tashkil etuvchisini topamiz.

$$\Delta U_{\sigma} = \Delta U_{\text{rux}} - \Delta U_{\tau} = 450 - 57 = 393 \text{ V}$$

(10.5.2) formula orqali liniya simini kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$F = \frac{Pl}{\Delta U_{\text{rux}} \gamma U_n} = \frac{750 \cdot 2,5 \cdot 10^3}{393 \cdot 32 \cdot 10} = 14,9 \text{ mm}^2$$

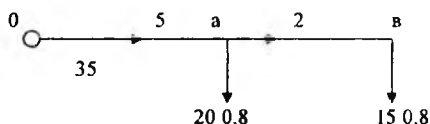
A-16 standart simni tanlaymiz va jadvaldan unga tegishli ma'lumotlarni olamiz. $r_0 = 1,95 \text{ Om/km}$; $x_0 = 0,391 \text{ Om/km}$; unda liniyadagi kuchlanishni yo'qotilishi.

$$\Delta U = \frac{P r_0 + Q x_0}{U_n} \cdot l = \frac{750 \cdot 1,95 + 600 \cdot 0,391}{10} \cdot 2,5 = 424 \text{ V}$$

Shunday qilib, $\Delta U = 424 \text{ B} < \Delta U_{\text{rux}} = 450 \text{ V}$ tanlangan sim kuchlanishni ruxsatlangan qiymati bo'yicha qoniqtiradi. Tanlangan kesim yuzali simni qizish darajasi bo'yicha tekshiramiz. Jadvaldan A-16 uchun 105 A. Liniyadagi maksimal tok $I = \frac{\sqrt{750^2 + 600^2}}{\sqrt{3}U} = 55,5 \text{ A}$.

Tanlangan sim qizish darajasi bo'yicha ham qoniqtiradi.

2. Rasmda ko'rsatilgan ikki iste'molchini ta'minlaydigan 6 kV EUL uchun simni kesim yuzasi va markasini aniqlang. Liniya fazalari orasidagi o'rtacha geometrik masofa 800 mm bo'lgan po'lat-alumin 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.

$$\Delta U_p = \sqrt{3}(I_2 I_2 \sin \varphi + I_1 I_1 \sin \varphi) x_0 = \sqrt{3} \cdot (15 \cdot 2 \cdot 0,6 + 35,5 \cdot 0,6) \cdot 0,4 = 85 \text{ V}$$

Kuchlanish yo'qotilishini aktiv tashkil etuvchisini aniqlaymiz

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{pxx}} - \Delta U_p = 240 - 85 = 155 \text{ V}$$

(10.5.4) formula orqali liniya simini kesim yuzasini aniqlaymiz

$$F = \frac{\sqrt{3 \cos \varphi} (I_1 I_1 + I_2 I_2)}{\gamma \Delta U_R} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^3 \cdot 0,8 \cdot (35 \cdot 5 + 15 \cdot 2)}{32 \cdot 155} = 57,2 \text{ mm}^2$$

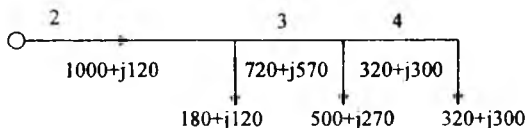
Standart A-70 sim tanlaymiz, jadvaldan $r_0 = 0,42 \text{ Om/km}$, $x_0 = 0,327 \text{ Om/km}$; Unda liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi

$$\begin{aligned} \Delta U_x &= \sqrt{3}[(I_1 I_1 + I_2 I_2) \cdot (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)] = \\ &= \sqrt{3} \cdot [(35 \cdot 5 + 15 \cdot 2) \cdot (0,42 \cdot 0,8 + 0,327 \cdot 0,6)] = 188,7 \text{ V} \end{aligned}$$

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 podstantsiya 6 kVli havo liniyasi orqali ta'minlanadi. Liniya po'lat alumin simdan tayyorlangan bo'lib, simlar teng qirrali uchburchakning cho'qqilarida

800 mm masofada joylashgan. Kuchlanishni mumkin bo'lgan yo'qotilishi 6 % (360 V). O'tkazgich materiallarni minimum sharti bo'yicha liniya uchastkalarini kesim yuzasini aniqlang. Rasmda yuklama kilovoltamperda va uchastkalar uzunligi kilometrda ko'rsatilgan.



Yechish: $x_0=0,38 \text{ Om/km}$ qabul qilib, reaktiv yuklama tufayli kuchlanish yo'qotilishini aniqlaymiz.

$$\Delta U_r = x_0 \sum_{i=1}^n \frac{Q_i I_i}{U_n} = 0,38 \cdot \frac{690 \cdot 2 + 570 \cdot 1 + 300 \cdot 4}{6} = 199,5 \text{ V}$$

Quvvat isrofini aktiv tashkil etuvchisini aniqlaymiz.

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{rux}} - \Delta U_r = 360 - 198,5 = 160,5 \text{ V}$$

(7.5.4) formulaga asosan uchinchi oxirgi uchastkadagi simni kesim yuzasini aniqlaymiz.

$$F_3 = \frac{\sqrt{P_3} \cdot 10^3}{\gamma \cdot \Delta U_{\text{rux}} \cdot U_{\text{nom}}} (I_1 \sqrt{P_1} + I_2 \sqrt{P_2} + I_3 \sqrt{P_3}) = \frac{\sqrt{320}}{32 \cdot 160,5 \cdot 6} (2\sqrt{1000} + 1\sqrt{800} + 4\sqrt{320}) = 94,7 \text{ mm}^2$$

Standart AC-95 kesim yuzali simni tanlaymiz. Jadvaldan ma'lumotlarni yozib olamiz. $r_0=0,316 \text{ Om/km}$; $x_0=0,318 \text{ Om/km}$.

Ikkinchi uchastkadagi simning kesim yuzasi:

$$F_2 = F_3 \sqrt{P_2 / P_1} = 94,7 \sqrt{1000/320} = 167,4 \text{ mm}^2$$

Standart AS-185 kesim yuzali simni tanlaymiz. Jadvaldan ma'lumotlarni yozib olamiz. $r_{03}=0,316 \text{ Om/km}$; $x_{03}=0,318 \text{ Om/km}$.

Tanlangan kesim yuzali simlardagi kuchlanishni yo'qotilishi:

$$\Delta U_1 = \frac{\sum (P_i r_{oi} + Q_i x_{oi}) \cdot l_i}{U_n} = \frac{(1000 \cdot 0,154 + 690 \cdot 0,298) \cdot 2}{6} + \frac{(820 \cdot 0,195 + 570 \cdot 0,305) \cdot 1}{6} + \frac{(320 \cdot 0,316 + 300 \cdot 0,318) \cdot 4}{6} = 306,5 \text{ V}$$

Demak, $\Delta U=306,5 \text{ V} < \Delta U_{\text{rux}}=360 \text{ V}$ va tanlangan simlar kuchlanishni yo'qotilishi sharti bo'yicha qoniqtiradi.

Tanlangan kesim yuzali simlarni qizish sharti bo'yicha tekshiramiz. Liniya uchastkalaridagi va ruxsatlangan toklarning qiymati.

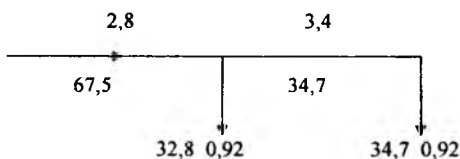
$$I_1 = \frac{\sqrt{1000^2 + 690^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 117,4 < I_{\text{max}} = 510 \text{ A} \quad AC - 185 \text{ sim uchun};$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{820^2 + 570^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 96,4 < I_{\text{max}} = 445 \text{ A} \quad AC - 150 \text{ sim uchun};$$

$$I_3 = \frac{\sqrt{320^2 + 300^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 42,4 < I_{\text{max}} = 330 \text{ A} \quad AC - 95 \text{ sim uchun}.$$

Shunday qilib, tanlangan simlar qizish darajasi bo'yicha ham qoniqtiradi.

4. Ikki sex podstantsiyasini 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 mm^2 , standart kabel tanlaymiz $r_{02}=0,89 \text{ } \Omega/\text{km}$; $x_{02}=0,095 \text{ } \Omega/\text{km}$;

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 mm^2 li standart kabel tanlaymiz $r_{01}=0,443 \text{ } \Omega/\text{km}$; $x_{01}=0,086 \text{ } \Omega/\text{km}$;

Tanlangan kesim yuzali kabellarda liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi

$$\begin{aligned}\Delta U &= \sqrt{3} \cdot [I_1 I_1 \cdot (r_{01} \cos \varphi_1 + x_{01} \sin \varphi_1) + I_2 I_2 \cdot (r_{02} \cos \varphi_2 + x_{02} \sin \varphi_2)] = \\ &= \sqrt{3} \cdot [67,5 \cdot 2,8 \cdot (0,443 \cdot 0,92 + 0,086 \cdot 0,39) + 34,7 \cdot 3,4 \cdot (0,89 \cdot 0,92 + 0,095 \cdot 0,39)] = \\ &= 318,98 > \Delta U_{\text{max}} = 300 \text{ V}\end{aligned}$$

Hisoblangan kuchlanish yo'qotilishi ruxsatlangan qiymatdan katta bo'lganligi uchun ikkinchi uchastka uchun 50 mm² li kabel tanlaymiz. $r_{02}=0,62$ Om/km; $x_{02}=0,09$ Om/km; unda liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi

$$\begin{aligned}\Delta U &= \sqrt{3} \cdot [67,5 \cdot 2,8 \cdot (0,443 \cdot 0,92 + 0,086 \cdot 0,39) + 34,7 \cdot 3,4 \cdot (0,62 \cdot 0,92 + 0,09 \cdot 0,39)] = \\ &= 267,8 > \Delta U_{\text{max}}\end{aligned}$$

10.6. Liniya simlari kabellarning kesim yuzasini qizish darajasi bo'yicha tekshirish

Simdan o'tayotgan tok uni va izolatsiyani 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°C	+25°C
kabellar, kV gacha	3	80°C	+15°C
Rezina izolatsiyali oddiy	6	65°C	+15°C
kabel va simlar	10	60°C	+15°C
Izolatsiyasi issiqlikka bardosh	20	55°C	+15°C
beruvchi rezinadan bo'lgan od-	35	50°C	+15°C
diy kabel va simlar		55°C	+15°C
		65°C	+15°C

Har xil turdagi simlar uchun ruxsatlangan harorat har xil sharoitlar uchun aniqlangan, masalan, HL larini ochiq simlari uchun yuqorida keltirilgan ruxsatlangan harorat, simlarning uchastkalarini bir-biri bilan elektr va mexanik ravishda ulaydigan biriktiruvchi kontaktlarini normal ishlash sharoitini hisobga olib aniqlangan.

Binolar ichida o'tkazilgan ochiq simlar uchun ruxsatlangan harorat yong'indan saqlash talablariga asosan aniqlanadi.

Kabellar uchun, yuqori haroratda kabel qog'ozini shikastlanishidan saqlash va kabel ichidagi tarkibiy gaz qismchalarining sonini oshib ketishiga yo'l qo'ymaslik ko'zda tutiladi, chunki bu gazni ionlanishiga va kabelni teshilishiga olib keladi.

Agar ruxsatlangan qizish harorati ma'lum bo'lsa, unda I_{rux} toki tufayli vaqt birligi bo'yicha simdagi ajralayotgan issiqlikni quyidagi ifodadan aniqlash mumkin.

$$P = RI_{\text{rux}}^2 \quad (10.6.1)$$

Bu vaqt bo'yicha atrof-muhitga tarqalayotgan issiqlikning miqdori

$$P' = sF(\theta_{\text{rux}} - \theta_{\text{ov}}) \quad (10.6.2)$$

Bu yerda, s – issiqlik uzatish koeffitsiyenti, 1 sm^2 sim yuzasining haroratlar farqi $1 \text{ O}^\circ\text{C}$ bo'lganda tarqatadigan issiqlik miqdoriga tengdir; $\text{Wt/sm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

F -simning yuzasi, sm^2 .

Ma'lumki joriylashtirilgan tokni doimiy oqishida issiqlik muvozanati $P = P'$ boshlanadi, ya'ni

$$RI_{\text{rux}}^2 = cF(\theta_{\text{rux}} - \theta_{\text{ov}})$$

$F = \pi dl$ bo'lganda (d – simning diametri, sm ; l – uning uzunligi, sm).

$$R = \rho l / F = \rho l / (\pi d^2 / 4) = 4 \rho l / \pi d^2$$

$$4 \rho l^2 / \pi d^2 = c \pi d (q_{\text{rux}} - q_{\text{ov}})$$

Bu yerdan

$$I_{\text{rux}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{cd^3 (\theta_{\text{rux}} - \theta_{\text{ov}})}{\rho}} \quad (10.6.3)$$

Ko'rinib turibdiki, qizish sharoitlari o'zgargan holda (ruxsatlangan simdagi harorati - θ_{rux} , atrof-muhitning harorati θ_{ov}) o'zaro munosabat to'g'ri keladi:

$$\frac{I'}{I_{\text{rux}}} = \sqrt{\frac{\theta' - \theta_{\text{ov}}}{\theta_{\text{rux}} - \theta_{\text{ov}}}}$$

va yangi qizdirish toki quyidagi ifodadan topilishi mumkin:

$$I' = I_{\text{rux}} \sqrt{\frac{\theta' - \theta_{\text{ov}}}{\theta_{\text{rux}} - \theta_{\text{ov}}}}$$

Ya'ni har qanday kesim yuzasi simi uchun jadvaldagi ma'lumotlarga ko'ra qizish sharoitlarini har xil o'zgarishlariga tegishli 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

$$I_{ish} \leq I_{rux} = K_{tuz} \cdot I_{rux, yu. t} \quad (10.6.4)$$

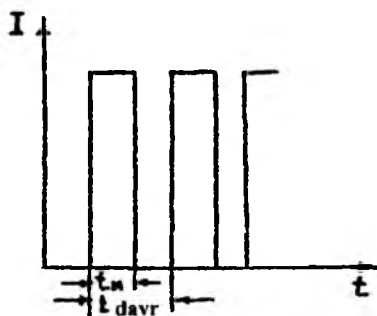
bo'lsa, tanlangan kesim yuzasi qizish darajasi bo'yicha qoniqtiradi.

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 qisqa vaqtli yuklama holati.

$$I'_{\sim} = 0,875 I_{\sim} \sqrt{UV}, \quad (10.6.5)$$

Bu yerda UV- ulanish vaqti ko'effitsiyenti, ish vaqti t_{ish} ning davr vaqti t_D ni nisbatiga teng bo'ladi. Bu ifodadan mis simlarning kesim yuzasi 6 mm^2 dan va alumin simlarning kesim yuzasi 10 mm^2 dan katta bo'lganda foydalanish mumkindir.

Kesim yuzasi katta bo'lganda bir kabelning o'rniga bir necha kichik yuzali kabellarni qo'llash qulaydir, (ammo almashtiriladigan kabel 150 mm^2 dan kichik bo'lmasligi kerak. Buni quyidagidan tushuntirsa bo'ladi: kesim yuzasi katta bo'lgan simlar va kabellarda qizish darajasi bo'yicha ruxsatlangan tokni zichligi kichik yuzalilarga qaraganda kichik bo'ladi, chunki sim va kabellarning kesim yuzasi qancha katta bo'lsa, uning o'lchov birligiga to'g'ri keladigan sovitish maydoni shuncha kichik bo'ladi.

Nazorat savollari:

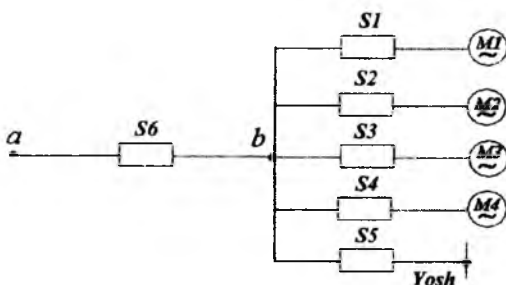
1. Liniya simlarining kesim yuzasi qizish darajasi bo'yicha qanday tanlanadi?
2. Ruxsatlangan tok tufayli simdan ajralayotgan issiqlik va atrof-muhitga tarqalayotgan issiqlik orasida bog'lanish ifodasini yozib bering.
3. Tuzatuv ko'effitsiyenti qanday aniqlanadi.
4. Qisqa vaqtli yuklamada ishlaydigan 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, $\cos\varphi=1$ 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 alumin simni kesim yuzasini tanlaymiz. Qizish sharti bo'yicha ruxsatlangan tok ishchi tokdan katta bo'lishi kerak.

$$I_{rux} \geq I_i = 28 \text{ A}$$

Himoya sharti bo'yicha

$$I_{rux} \geq \frac{I_i}{3} = \frac{80}{3} = 26,7 \text{ A}$$

Jadvaldan 4 mm² kesim yuzali sim tanlaymiz. Ruxsatlangan tok $I_{rux} = 28 \text{ A}$

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 alumin simni kesim yuzasini tanlaymiz.

$$I_{\text{max}} \geq I_i = 40,5 \text{ A}; \quad I_{\text{max}} \geq \frac{I_i}{3} = 60 \text{ A}$$

Jadvaldan 10 mm² kesim yuzali sim tanlaymiz $I_{\text{max}} = 47 \text{ A}$

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 alumin sim kesim yuzasini tanlaymiz.

$$I_{\text{max}} \geq I_i = 38 \text{ A}; \quad I_{\text{max}} \geq \frac{I_i}{3} = \frac{45}{3} = 15 \text{ A}$$

Jadvaldan 10 mm² kesim yuzali sim tanlaymiz $I_{\text{max}} = 47 \text{ A}$ 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.

$$I_{\text{max}} = m \cdot (I_1 + 2I_2 + I_3) + \frac{I_H}{2,5} = 0,8 \cdot (28 + 2 \cdot 40,5 + 38) + \frac{7 \cdot 28}{2,5} = 196 \text{ A}$$

Saqlagich s⁶ erish elementining nominal tokini quyidagi shartdan aniqlaymiz

$$I_e \geq I_i = 139 \text{ A}; \quad I_e \geq I_{\text{max}} = 196 \text{ A};$$

Jadvaldan yaqin standart erish elementini tanlaymiz nominal toki 200 A.

Sex devoridan yotqiziladigan uch tomirli alumin kabelni kesim yuzasini quyidagi shartdan tanlaymiz.

$$I_{\text{max}} \geq I_i = 139 \text{ A}; \quad I_{\text{max}} \geq \frac{I_i}{3} = \frac{200}{3} = 67 \text{ A}$$

Jadvaldan 70 mm^2 kesim yuzali kabel tanlaymiz. Ruxsatlangan 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 uskunalariga xalaqit darajasi bo'yicha tekshirilishi shart.

Tojlanishga bo'lgan isrof elektr maydonining kuchlanganligiga bog'liqdir. Simning diametri oshishi bilan maydonning ish paytidagi kuchlanganligiga teskari bog'langan holda kamayadi. Shunday qilib, tojlanishga bo'lgan isrofini 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^2 ga yaqin bo'ladi. 900 mm^2 -500 kV uchun, 1200 mm^2 -750 kV uchun va 2400 mm^2 -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:

$$E = \frac{0,354U}{nrg \frac{D_{cr}}{r_{kv}}} (1 + 0,25 \lg n) \quad (10.7.1)$$

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 isrofni kuchlanganlikka bog'liqlik taxmini egri chizig'i keltirilgan.

Shunday qilib, chetki (chet) va o'rta simlarning atrofidagi kuchlanganlikni aniqlab tojlanishga bo'lgan solishtirma energiya isrofining hamma fazalar uchun yig'indisini aniqlash mumkin.

Tojlanishga bo'lgan isrofning qiymati [A-1] ham keltirilgan.

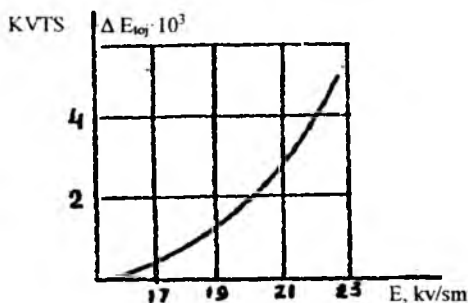
Kabellarni qisqa tutashuv toklari qizdirishiga chidamligi bo'yicha tekshirishi. Qisqa tutashuv toki simdan oqib, uni tez qizdirgani tufayli izolatsiya shikastlanishi va kabelning bir qismi yonib ketishi mumkin. Bu esa qisqa tutashuv vaqtida simda ajraladigan miqdoriga bog'liq.

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 isrofning 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 haqiqiy vaqt t_q va soxta tok ishlatiladi (shunday o'zgarmas tokki, bunda ajraladigan energiyaning miqdori haqiqiy tokdagiga teng bo'ladi) yoki I_{q1} toki vaqtning ayrim lahzalarida, masalan, $I_{o'm}$ va soxta vaqt (shunday vaqtqi, 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 ko'riladi:

- 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 qoida-lari)ga asosan saqlagichlar yordamida himoyalangan 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 chiqadiki, qachonki mis va alumin 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 alumin 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.

$$\Delta U_{\%} = \frac{I \cdot (P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_n^2 \cdot 10^3} = \frac{12 \cdot (60 \cdot 1,28 + 42,6 \cdot 0,377)}{6 \cdot 6000} 100\% \approx 3\%$$

bu esa mumkin bo'lgan 10% kuchlanish yo'qotilishidan ancha kichikdir. Demak, mexanik mustahkamligi nuqtayi nazaridan minimal kesim yuzali A-25 simni yetarli ishlatilmaydi, chunki berilgan holatda ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishi $\Delta U_{\%}$ ga asosan kesim yuzasi 6 mm^2 alumin simni qo'llash maqsadga muvofiq. Ammo bu mumkin emas, shuning uchun bunday hollarda alumin simlari katta mexanik mustahkamlikka, lekin past elektrik ko'rsatkichlarga ega bo'lgan po'lat simlar bilan almashtirilishi kerak.

Po'lat simlarni qo'llanishi liniyani qurishdagi xarajatlarni kamaytirishga va eng muhimi rangli metallardan tayyorlangan kamyob simlarni kamyob bo'lmaganlari bilan almashtirishga imkon beradi.

Po'lat simlardan tayyorlangan tarmoqlarni hisoblash quyidagi ketma-ketlikda bajariladi: liniya uchastkalaridagi tokni qiymatlari aniqlanadi, keyin har bir uchastkaga tegishli bir-ikki variantda simning kesim yuzasi mo'ljallaniladi (bir tola yoki ko'p tolali) va jadvaldan ruxsatlangan qizish toki I_{rux} bo'yicha tanlaniladi.

So'ngra har bir uchastka uchun aktiv qarshilik va induktiv qarshilik $x_0 = x_0' + x_0''$ aniqlanadi (jadval). Aktiv qarshilik va ichki

reaktiv qarshilik x_0'' -ni qurilayotgan uchastkadan oqayotgan tokni qiymati bo'yicha, tashqi reaktiv qarshilik x_0' ni esa liniyaning geometrik ko'rsatkichlariga asosan aniqlanadi.¹²

Jadvalda har xil diametr uchun oqayotgan tokning qiymatiga bog'liq bo'lgan, tajribadan aniqlangan r_0 va $x_0 = x_0' + x_0''$ ning qiymatlari keltirilgan.

So'ngra kuchlanish yo'qotilishi quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$\Delta U_{\%} = \sum_i \frac{P_i \cdot r_0 \cdot l_i + Q_i \cdot (x_0' + x_0'') \cdot l_i}{U_n}$$

va javob ruxsatlangan kuchlanish yo'qotilishining qiymati bilan taqqoslanadi.

Shuni qayd etish kerakki, qizish bo'yicha ruxsatlangan tok I_q – ga asosan tanlangan simni kesim yuzasi odatda juda katta kuchlanish yo'qotilishga olib keladi.

Bunday natijada simni kesim yuzasini kattalashtirib, qaytadan, kuchlanish yo'qotilishi bo'yicha tekshiriladi. Yakuniy kesim yuzasini tanlash bir qancha ketma-ket yaqinlashishlardan kelib chiqadi. Tokning iqtisodiy zichligiga asosan po'lat simlarni tanlash amaliyotda qo'llanilmaydi.

Nazorat savollari:

1. Po'lat simlardan tayyorlangan liniya simlarining kesim yuzasi qanday tanlangan.

2. Po'lat simlardan tayyorlangan liniyalarda kuchlanishni aniqlovchi ifodani tushuntirib bering.

10.8.1. Mavzuga doir misollar

1-masala. (80+j40) MVA quvvat iste'mol qiluvchi korxona ikki tizimli 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:

¹² Steven W.Blume Electric Power System Basics USA: Wiley – Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007, 260 p

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2} \cdot 10^3}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{\sqrt{80^2 + 40^2} \cdot 10^3}{2 \cdot 1,73 \cdot 110} = 232 A$$

2-ilovadagi 8-jadvaldan tokning iqtisodiy zichligi $j_{iq}=1,1 A/mm^2$ ni topamiz. Iqtisodiy mumkin bo'lgan liniya simining kesim yuzasi:

$$F_n = \frac{I}{j_{iq}} = \frac{232}{1,1} = 211 mm^2$$

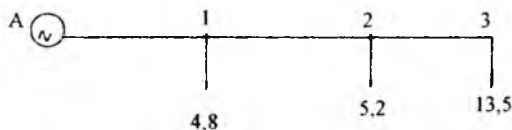
Standart AC-240 kesim yuzasini tanlab, uni qizishga tekshiramiz. Binodan tashqarida $t=25^0 C$ da 1-ilovadagi 1-jadvalga asosan ruxsat etilgan tok $I_{rux}=605 A$. Tanlangan kesim yuzali simni qizishga tekshiramiz. $I < I_{rux}$. Avariya dan so'nggi ish tartibi bitta liniya o'chirilganda ishda qolgan liniyadagi ish toki:

$$I_{ish} = 2 \cdot 232 = 464 A < I_{rux}$$

2-masala. 7.2.1-rasm da ko'rsatilgan 110 kV kuchlanishli magistral tarmoqdan quvvat iste'mol qiladigan uchta sex podstantsiyalari – birinchisi – 4,8 mVA, ikkinchisi – 5,2 mVA, uchinchi – 13,5 mVA ta'minlanadi. Agar maksimal yuklamada ishlash vaqti 4200 soat bo'lsa, tarmoq uchastkalari simlarining kesim yuzasini aniqlang.

Yechish. Quvvat isrofini hisobga olmasdan uchastkalardagi quvvat oqimini aniqlaymiz. Uchinchi uchastkadagi quvvat oqimi 13,5 MVA, ikkinchisida:

$$S_{1-2} = S_1 + S_2 = 13,5 + 5,2 = 18,7 mVA$$



10.8.1-rasm.

birinchisida:

$$S_{A-2} = S_1 + S_2 + S_3 = 18,7 + 4,8 = 25,5 mVA$$

Liniya uchastkalaridagi ish tokini aniqlaymiz:

$$I_{A-1} = \frac{25,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 134 A; \quad I_{1-2} = \frac{18,7 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 98,3 A;$$

$$I_{2-3} = \frac{13,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 71 A$$

$T_{\max}=4200$ soatda po'lat-alumin simlar uchun $j_{1q}=1,12 \text{ A/mm}^2$.
Uchastka simlarining kesim yuzasi:

$$F_{A-1} = \frac{134}{1,12} \approx 122 \text{ mm}^2; \quad F_{1-2} = \frac{98,3}{1,12} \approx 89,5 \text{ mm}^2;$$

$$F_{2-3} = \frac{71}{1,12} = 64,5 \text{ mm}^2$$

Yaqin joylashgan standart kesim yuzasini tanlaymiz.

$F_{A-1}=120 \text{ mm}^2$, $I_{\text{rux}}=380\text{A}$; $F_{1-2}=95 \text{ mm}^2$, $I_{\text{rux}}=330 \text{ A}$; $F_{2-3}=70 \text{ mm}^2$,
 $I_{\text{rux}}=265 \text{ A}$.

Hamma tanlangan kesim yuzalari qizish shartini qoniqtiradi, chunki liniya uchastkalaridagi ish toki $I_{\text{ish}} < I_{\text{rux}}$

3-masala. 1000 kVA transformator o'rnatilgan korxona, podstantsiyasi 10 kV kuchlanishli havo liniyasi orqali ta'minlanadi. Oraliq masofasi 1 m bo'lgan uchburchak shaklida joylashgan alumin simdan tayyorlangan liniyaning uzunligi 2,5 km. Podstantsiyaning yuklamasi $(750+j650) \text{ kVA}$. 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 $x_0=0,38 \text{ Om/km}$, reaktiv yuklama tufayli hosil bo'lgan kuchlanish yo'qotilishini topamiz:

$$\Delta U = \frac{Qx_0 l}{U} = \frac{600 \cdot 0,38 \cdot 2,5}{10} = 57 \text{ V}$$

Kuchlanish yo'qotilishining aktiv tarkibiy qismi:

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{rux}} - \Delta U_r = 450 - 57 = 396 \text{ V}$$

Simga kerak bo'lgan kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$F = \frac{Pl}{\Delta U_a \gamma U_l} = \frac{750 \cdot 2,5 \cdot 10^3}{393 \cdot 32 \cdot 10} = 14,7 \text{ mm}^2$$

Standartga yaqin: AAIIIБ-16 simni tanlaymiz. Simning qarshiliklari: $r_0=1,98 \text{ Om/km}$, $x_0=0,39 \text{ Om/km}$. Tanlangan sim bo'yicha liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi:

$$\Delta U = \frac{Pr_0 + Qx_0}{U} l = \frac{750 \cdot 1,98 + 600 \cdot 0,39}{10} \cdot 2,5 = 430 \text{ V}$$

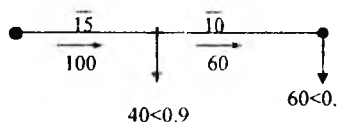
Shunday qilib, $\Delta U = 430V < \Delta U_{\text{rux}} = 450V$ va tanlangan kesim yuzasi kuchlanish yo'qotilishining ruxsat etilgan qiymati shartini qoniqtiradi. Tanlangan simni kesim yuzasini qizish shartiga ko'ra tekshiramiz. AAIIIБ-16 sim uchun $I_{\text{rux}} = 105 A$, liniyaning maksimal toki:

$$I = \frac{\sqrt{750^2 + 600^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 55,5 A$$

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 koeffitsiyenti ($\cos\varphi$) uchastkalar uzunligi (km) da ko'rsatilgan.



10.8.2-rasm.

Yechish. Kuchlanish yo'qotilishining ruxsat etilgan qiymati:

$$\Delta U_{\text{rux}} = 0,06 \cdot 35000 = 2100 V$$

1 km liniyaning $x_0 = 0,38 \text{ Ohm/km}$ induktiv qashiligini qabul qilib, reaktiv yuklama tufayli undagi kuchlanish yo'qotilishini aniqlaymiz:

$$\Delta U = \sqrt{3}(I_1 l_1 \sin\varphi_1 + I_2 l_2 \sin\varphi_2) x_0 = \sqrt{3}(100 \cdot 15 \cdot 0,43 + 60 \cdot 10 \cdot 0,43) \cdot 0,38 = 539,6V$$

Kuchlanish yo'qotilishini aktiv tarkibiy qismini topamiz:

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{rux}} - \Delta U_p = 2100 - 539,6 = 1506,4 V$$

Liniyadagi tok zichligini topamiz:

$$j = \frac{\gamma \Delta U_n}{\sqrt{3}(I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2) \cdot 10^3} = \frac{32 \cdot 1506.4}{\sqrt{3}(15 \cdot 0.9 + 10 \cdot 0.9) \cdot 10^3} = 1,23 \text{ A/mm}^2$$

Uchastkalar uchun simning kesim yuzasini tanlaymiz:

$$F_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{100}{1,23} = 81,3 \text{ mm}^2; \quad F_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{60}{1,23} = 48,8 \text{ mm}^2$$

Standart AC-95 sim uchun 1-ilovadagi 2-jadvaldan 1 km uzunlik qarshiliklari $r_{01}=0,35 \text{ Om/km}$, $x_{01}=0,397 \text{ Om/km}$ va AC-50 uchun 1 km uzunlik qarshiliklari $r_{02}=0,65 \text{ Om/km}$, $x_{02}=0,418 \text{ Om/km}$ ni tanlaymiz

Tanlangan simning kesim yuzasida tarmoqdagi kuchlanishning yo'qotilishi:

$$\Delta U = \sqrt{3} [I_1 l_1 (r_{01} \cos \varphi_1 + x_{01} \sin \varphi_1) + I_2 l_2 (r_{02} \cos \varphi_2 + x_{02} \sin \varphi_2)] = \\ = \sqrt{3} [100 \cdot 15(0.35 \cdot 0.9 + 0.397 \cdot 0.43) + 60 \cdot 10(0.65 \cdot 0.9 + 0.418 \cdot 0.43)] = 2046 \text{ V}$$

Shunday qilib $\Delta U=2046\text{V} < \Delta U_{\text{rux}}=2100\text{V}$ va tanlangan kesim yuzasi ruxsat etilgan kuchlanish yo'qotilishi shartini qoniqtiradi.

Tanlangan kesim yuzasini qizish shartiga tekshiramiz, 1-ilovadagi 1-jadvaldan AC-95 sim uchun $I_{\text{rux}}=330\text{A} > I_1=100\text{A}$, AC-50 sim uchun $I_{\text{rux}}=210\text{A} > I_2=60\text{A}$.

Shunday qilib, tanlangan kesim yuza qizish shartini ham qoniqtirdi.

5-masala. Sanoat korxonasi 10.8.3-rasmda ko'rsatilgan 110 kVli berk zanjirli tarmoqdan ta'minlanadi. Uchastkalardagi quvvatlar megovoltlarda rasmda ko'rsatilgan maksimal yuklamada ishlash vaqti 4800 soat. Tarmoq simlarini kesim yuzasini aniqlang.

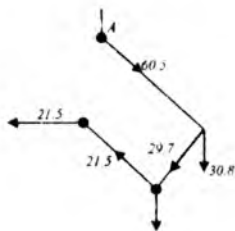
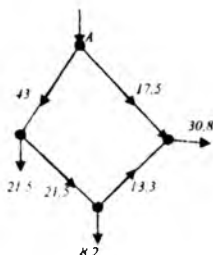
Yechish. Tarmoq uchastkalarida oqayotgan ish tokini aniqlaymiz:

$$I_1 = \frac{S_1 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{43 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 226 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{S_2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{21,5 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 113 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{S_3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{13,3 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 70 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{S_4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{17,3 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 110} = 92 \text{ A}$$



10.8.3-rasm.

Po'lat-alumin simlar uchun $T_{\max}=4800$ soat bo'lganda 2-ildovadagi 8-jadvaldan j_{iq} ning qiymatini olamiz. $j_{\text{iq}}=1,1 \text{ A/mm}^2$ teng bo'lganda uchastkalardagi simlarning kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$F_1 = \frac{226}{1,1} = 205 \text{ mm}^2, \quad F_2 = \frac{113}{1,1} = 102,7 \text{ mm}^2,$$

$$F_3 = \frac{70}{1,1} = 63,6 \text{ mm}^2, \quad F_4 = \frac{92}{1,1} = 83,6 \text{ mm}^2$$

Yaqin standart kesim yuzasini tanlaymiz:

$$F_1 = 240 \text{ mm}^2, \quad I_{\text{rux}} = 610 \text{ A}, \quad F_2 = 120 \text{ mm}^2, \quad I_{\text{rux}} = 380 \text{ A},$$

$$F_3 = 70 \text{ mm}^2, \quad I_{\text{rux}} = 265 \text{ A}, \quad F_4 = 95 \text{ mm}^2, \quad I_{\text{rux}} = 330 \text{ A}.$$

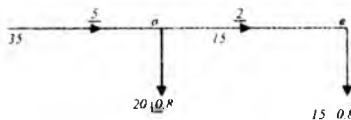
Hamma tanlangan kesim yuzalari tojlanish shartini qoniqtiradi. Eng og'ir avariya holati, tarmoqning birinchi uchastkasi uzilganda bo'ladi. Ushbu holatlarda tarmoq uchastkalarida quvvat oqimi 10.8.3-rasmda ko'rsatilgandek bo'ladi.

Avariya dan keyingi holatda eng katta tok tarmoqning to'rtinchi uchastkasidan oqadi, uning qiymati:

$$I_{\text{uk}} = \frac{60,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 318 \text{ A}$$

Uning qiymati AC-95 markali simning ruxsat etilgan $I_{\text{rux}}=330 \text{ A}$ 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 koeffitsiyenti $\cos \varphi$ da ko'rsatilgan.



10.8.4-rasm.

Yechish. Kuchlanishni ruxsat etilgan qiymati:

$$\Delta U_{\text{rux}} = 0,04 \cdot 6000 = 240 \text{ V}$$

Liniyaning induktiv qarshiligini $x_0=0,4 \text{ Om/km}$ deb qabul qilib, reaktiv quvvatdan bo'ladigan kuchlanish yo'qotilishini aniqlaymiz:

$$\Delta U_r = \sqrt{3}(I_2 I_2 \sin \varphi + I_1 I_1 \sin \varphi) x_0 = \sqrt{3} \cdot 0,4(15 \cdot 2 \cdot 0,6 + 35 \cdot 5 \cdot 0,6) = 85 \text{ V}$$

Kuchlanish yo'qotilishining aktiv tashkil etuvchisini aniqlaymiz:

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{rux}} - \Delta U_r = 240 - 85 = 155 \text{ V}$$

Liniya simining kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$F = \frac{\sqrt{3} \cos \varphi (I_2 I_2 + I_1 I_1)}{\gamma \Delta U_p} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^3 \cdot 0,8(15 \cdot 2 + 35 \cdot 5)}{32 \cdot 155} = 57,2 \text{ mm}^2$$

Standart AC-70 sim uchun 1-ilovadagi 2-jadvaldan $r_0=0,42 \text{ Om/km}$, $x_0=0,327 \text{ Om/km}$ ni tanlaymiz

Unda liniyadagi kuchlanishning yo'qotilishi:

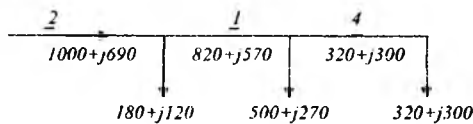
$$\Delta U_x = \sqrt{3}[(I_2 I_2 + I_1 I_1)(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)] = \sqrt{3}[(15 \cdot 2 + 35 \cdot 5)(0,42 \cdot 0,8 + 0,327 \cdot 0,6)] = 188,71 \text{ V}$$

Shunday qilib, $\Delta U = 188,71 \text{ V} < \Delta U_{\text{rux}} = 240 \text{ V}$ va tanlangan sim kuchlanishi yo'qotilishi bo'yicha qoniqtiradi.

7-masala. 10.8.5-rasmda ko'rsatilgan masofada joylashgan podstantsiya 6 kV li havo liniyasi orqali ta'minlanadi. Liniya po'lat-alumin simdan tayyorlangan bo'lib, simlar teng qirrali uchburchakning cho'qqilarida 800 mm masofada joylashgan. Kuchlanishning mumkin bo'lgan yo'qotilishi 6% (360 V) bo'lganda, o'tkazgich materiallarning minimum sharti bo'yicha liniya uchastkalari kesim yuzasini aniqlang. 10.8.5-rasmda yuklama kilovoltamperda va uchastkalar uzunligi km da ko'rsatilgan.

Yechish. $x_0=0,38 \text{ Om/km}$ deb qabul qilib, reaktiv yuklama tufayli kuchlanish yo'qotilishini aniqlaymiz:

$$\Delta U_p = X_0 \sum_{i=1}^n \frac{Q_i I_i}{U_n} = 0,38 \frac{690 \cdot 2 + 570 \cdot 1 + 300 \cdot 4}{6} = 199,5 \text{ V}$$



10.8.5-rasm.

Kuchlanish yo'qotilishining aktiv tashkil etuvchisini aniqlaymiz:

$$\Delta U_a = \Delta U_{rux} - \Delta U_x = 360 - 199,5 = 160,5 V$$

Uchinchi oxirgi uchastkadagi simning kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$F_3 = \frac{\sqrt{P_3} 10^3}{\gamma \Delta U_a U_n} (l_1 \sqrt{P_1} + l_2 \sqrt{P_2} + l_3 \sqrt{P_3}) = \frac{\sqrt{320}}{32 \cdot 160,5 \cdot 6} (2\sqrt{1000} + 1\sqrt{800} + 4\sqrt{320}) = 94,7 \text{ mm}^2$$

Standart AC-95 sim uchun 1-ilovadagi 2-jadvaldan qarshiliklarni aniqlaymiz: $r_0 = 0,316 \text{ Om/km}$, $x_0 = 0,318 \text{ Om/km}$.

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: $r_{01} = 0,154 \text{ Om/km}$, $x_{01} = 0,298 \text{ Om/km}$.

Tanlangan kesim yuzali simlardagi kuchlanishning yo'qotilishi:

$$\Delta U_1 = \frac{\sum (P_{r_0} + Q_i x_{0i}) l_i}{U_n} = \frac{(1000 \cdot 0,154 + 690 \cdot 0,298) \cdot 2}{6} + \frac{(820 \cdot 0,195 + 570 \cdot 0,305) \cdot 1}{6} + \frac{(320 \cdot 0,316 + 300 \cdot 0,318) \cdot 4}{6} = 306,5 V$$

Shunday qilib, $\Delta U = 306,5 V < \Delta U_{rux} = 360 V$ va tanglangan simlar kuchlanish yo'qotilishi bo'yicha qoniqtiradi.

Tanlangan kesim yuzali simlarni qizish sharti bo'yicha tekshiramiz. Liniya uchastkalaridagi va ruxsat etilgan toklarning qiymati:

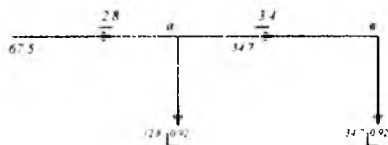
$$I_1 = \frac{\sqrt{1000^2 + 690^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 117 A < I_{rux} = 510 A \quad \text{AC-185 sim uchun;}$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{820^2 + 570^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 96 A < I_{rux} = 445 A \quad \text{AC-150 sim uchun;}$$

$$I_3 = \frac{\sqrt{320^2 + 300^2}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 42 A < I_{rux} = 330 A \quad \text{AC-95 sim uchun.}$$

Shunday qilib, tanglangan simlar qizish darajasi bo'yicha ham qoniqtiradi.

8-masala. Ikki sex podstantsiyasini ta'minlovchi 10 kV li kuchlanishli elektr uzatish liniyasi AAB kabelidan tayyorlangan. Liniyadagi kuchlanish yo'qotilishini ruxsat etilgan qiymati 3% (300V). Tok zichligini liniya uchastkalarida bir xilligi sharti bilan kabel tomirlarini kesim yuzasini aniqlang. 7.2.6-rasmda toklar A da, quvvat ko'effitsiyenti $\cos \varphi$ va liniya uzunligi km da ko'rsatilgan.



10.8.6-rasm.

Yechish. Kabel liniyasining induktiv qarshiligi kichik bo'lganligi uchun uni hisobga olmaymiz, $x_0=0$ unda $\Delta U_a = \Delta U_{r_{ak}}$.

Liniyadagi tokning zichligini aniqlaymiz:

$$j = \frac{\gamma \Delta U_a}{\sqrt{3}(I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2) \cdot 10^3} = \frac{32 \cdot 300}{\sqrt{3}(2.8 \cdot 0.92 + 3.4 \cdot 0.92) \cdot 10^3} = 0.99 \text{ A/mm}^2$$

Ikkinchi uchastkadagi kabel tomirlarining kesim yuzasi:

$$F_2 = \frac{I_2}{j_{iq}} = \frac{3.4.7}{0.99} = 35.05 \text{ mm}^2$$

Tomirlar kesim yuzasi 35 mm²li standart kabel tanlaymiz, $r_{02}=0.89 \text{ Om/km}$, $x_{01}=0.095 \text{ Om/km}$.

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 mm²li standart kabel tanglaymiz. $r_{02}=0.443 \text{ Om/km}$, $x_{01}=0.086 \text{ Om/km}$.

Tanlangan kesim yuzali kabellarda liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi:

$$\Delta U_1 = \sqrt{3}[I_1 I_1 (r_{o1} \cos \varphi_1 + x_{o1} \sin \varphi_1) + I_2 I_2 (r_{o2} \cos \varphi_2 + x_{o2} \sin \varphi_2)] = \\ \sqrt{3}[67,5 \cdot 2,8(0,443 \cdot 0,92 + 0,086 \cdot 0,93) + 34,7 \cdot 3,4(0,89 \cdot 0,92 + 0,095 \cdot 0,39)] = \\ = 318,9 \text{ V} > \Delta U_{\text{mux}} = 300 \text{ V}$$

Hisoblangan kuchlanish yo'qotilishi ruxsat etilgan qiymatdan katta bo'lganligi uchun ikkinchi uchastka uchun 50 mm²li kabel tanlaymiz. $r_{o2}=0,62 \text{ Om/km}$, $x_{o1}=0,09 \text{ Om/km}$.

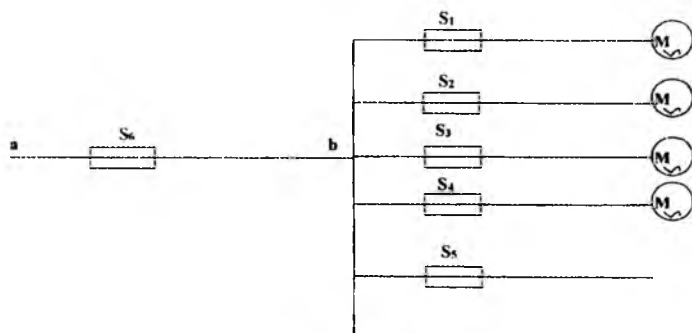
Unda liniyadagi kuchlanishning yo'qotilishi:

$$\Delta U = \sqrt{3}[67,5 \cdot 2,8(0,443 \cdot 0,92 + 0,086 \cdot 0,93) + 34,7 \cdot 3,4(0,62 \cdot 0,92 + \\ + 0,09 \cdot 0,39)] = 267,8 \text{ V} < \Delta U_{\text{mux}}$$

9-masala. 380/220 Vli taqsimlovchi tarmoqdan M1-M4 motorlari va 25 kW, $\cos \varphi = 1$ yoritgich yuklamasi rasmda ko'rsatilgandek ta'minlanadi. Motorlar M1 va M2 ning ish toki 28 A ga, ishga tushirish tokining darajasi 7 ga teng. Motorlar M3 va M4 ning ish toki 40,5 A ga, ishga tushirish tokining darajasi 2, ishga tushirish darajasi og'ir. Eruvchan elementning nominal tokini toping. Tarmoqni kesim yuzasi kuchlanishining yo'qotilishi va saqlagichga to'g'ri kelishi bo'yicha tanlang.

Yechish. S_2 va S_3 saqlagich erish elementi tokini quyidagi shart bo'yicha aniqlaymiz:

$$I_e \geq I_m = 28 \text{ A} \\ I_e \geq \frac{7 I_m}{2,5} = \frac{7 \cdot 28}{2,5} = 78,4 \text{ A}$$



10.8.7-rasm.

2-ilovadagi 9-jadvaldan 80 A nominal tok uchun saqlagichlarining 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:

$$I_{rux} \geq \frac{I_c}{3} = \frac{8}{3} = 26,7 \text{ A}$$

1-ilovadagi 5-jadvaldan 4 mm² kesim yuzali sim tanlaymiz. Ruxsat etilgan tok $I_{rux}=27 \text{ A}$.

Saqlagichlar C₄ va C₅ uchun erish elementini nominal tokini aniqlaymiz:

$$I_c \geq I_n = 40,5 \text{ A}; \quad I_c \geq \frac{2I_n}{1,6} = \frac{2 \cdot 40,5}{1,6} = 50,6 \text{ A}$$

2-ilovadagi 9-jadvaldan 60 A nominal tok uchun erish elementini tanlaymiz.

Trubada yotqiziladigan bir tomirli alumin simning kesim yuzasini tanlaymiz:

$$I_{rux} \geq I_n = 40,5 \text{ A}; \quad I_{rux} \geq \frac{I_c}{3} = 60 \text{ A}$$

1-ilovadagi 5-jadvaldan 10 mm² 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:

$$I_c \geq I_n = 38 \text{ A}$$

2-ilovadagi 9-jadvaldan standartga yaqin erish elementini tanlaymiz. Nominal toki 45 A:

Trubada yotqiziladigan bir tomirli alumin simning kesim yuzasini tanlaymiz:

$$I_{rux} \geq I_n = 38 \text{ A}; \quad I_{rux} \geq \frac{I_c}{3} = \frac{45}{3} = 15 \text{ A}$$

1-ilovadagi 5-jadvaldan 10 mm² kesim yuzali sim tanlaymiz. Ruxsat etilgan tok $I_{rux}=42 \text{ A}$.

ab liniyadagi ish toki:

$$I_i = m(2I_1 + 2I_2 + I_3) = 0,8(2 \cdot 28 + 2 \cdot 40,5 + 38) = 140 A$$

Motorlarni ishga tushirishda va eng katta ishga tushirish tokida liniyadagi tok:

$$I_{\max} = m(I_1 + 2I_2 + I_3) + \frac{I_{um}}{2,5} = 0,8(2,8 + 2 \cdot 40,5 + 38) + \frac{7 \cdot 28}{2,5} = 196 A$$

Saqlagich C6 erish elementining nominal tokini aniqlaymiz:

$$I_e \geq I_n = 139 A; \quad I_e \geq I_{\max} = 196 A$$

2-ilovadagi 9-jadvaldan standartga yaqin erish elementini tanlaymiz. Nominal tok 200 A.

Sex devorida yotqiziladigan uch tomirli alumin simning kesim yuzasini tanlaymiz.

$$I_{\max} \geq I_n = 139 A;$$

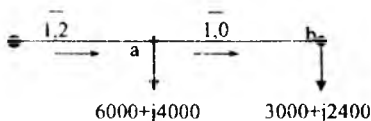
$$I_{\max} \geq \frac{I_e}{3} = \frac{200}{3} = 67 A$$

1-ilovadagi 5-jadvaldan 70 mm² kesim yuzali kabel tanlaymiz. Ruxsat etilgan tok $I_{\text{rux}} = 140 A$.

10.8.2. Mavzuga doir mustaqil yechish uchun misollar

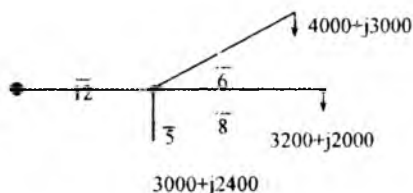
1-misol. (40+j30) MVA quvvat iste'mol qiluvchi korxonaning bosh pasaytiruvchi podstansiyasi 110 kV kuchlanishli ikkita liniya orqali ta'minlanadi. $T_{\max} = 5200$ s. Podstansiyani ta'minlovchi liniya simlarining markasi va kesim yuzasini tanlang.

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. 10.8.8-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.



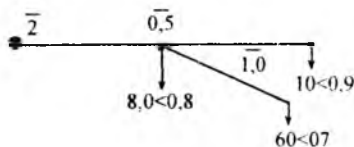
10.8.8-rasm.

2-misol. 35 kV kuchlanishli rayon podstantsiyasidan ko'rsatilgan sxema bo'yicha 3 ta korxona ta'minlanadi. Elektr uzatish liniyasi faza simlari o'rtacha geometrik oraliq masofasi 3 m dan po'lat-alumin simdan tortiladi. Ruxsat etilgan kuchlanish yo'qotilishi 6,8 %. 10.8.9-rasmda maksimal yuklama (kVA) uchastkalar uzunligi (km) da ko'rsatilgan. Tarmoqning hamma uchastkalarida tok zichligining bir xillik sharti bilan, uchastka simlarning markasini tanlang.



10.8.9-rasm.

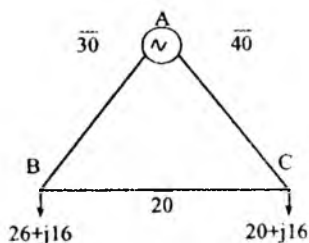
3-misol. Korxonadagi sex podstansiyalari 10 kV kuchlanish bilan ta'minlanadi. Tarmoq kabelda bajariladi. Ruxsat etilgan kuchlanish yo'qotilishi 5,5 %. 10.8.10-rasmda tarmoq uchastkalarining toki (A), uzunligi (km) va quvvat koeffitsiyenti ($\cos\phi$) ko'rsatilgan. Tarmoq uchastkalari uchun kabel tanlang.



10.8.10-rasm.

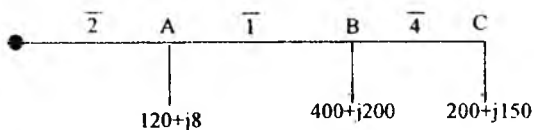
4-misol. A va B bosh pasaytiruvchi podstansiyalar hudud podstantsiyasidan 110 kV kuchlanishda halqasimon tarmoq orqali elektr energiyasi oladi. Tarmoq uchastkalari bir xil kesim yuzali simdan tayyorlangan. Tarmoq uchastkalarining yuklamasi (mVA), uzunligi (km)da ko'rsatilgan. $T_{\max B}=2900$ soat, $T_{\max}=5600$ soat.

Tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha simning markasi va kesim yuzasini tanlang.



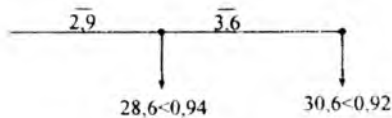
10.8.11-rasm.

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 bo'yicha simning kesim yuzasini toping. 10.8.12-rasmda yuklama (kVA) liniya uchastkalarining uzunligi (km) da ko'rsatilgan.



10.8.12-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. 10.8.13-rasmda liniya uchastkalaridagi tok (A), uzunligi (km)da va quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi$ ko'rsatilgan.



10.8.13-rasm.

7-misol. Ikkita korxonani ta'minlovchi magistral tarmoq bir xil kesim yuzali simdan tayyorlangan. Birinchi korxona $i_1=140\text{A}$ ($T_{\max}=3400$ soat) iste'mol qilib, ta'minlovchi manbadan 4 km masofada joylashgan. Ikkinchi korxona $i_2=80\text{ A}$ ($T_{\max}=4300$ 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

Ochiq po'lat-alumin simlarning xarakteristikasi (binodan tashqarida)

1-jadval

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

AC markali 35-220 kV kuchlanishli havo liniyalarini (100 km) hisoblash uchun ma'lumotlar

2-jadval

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

**Qizish sharti bo'yicha AC va ACO markali havo liniyalari
uchun uzoq vaqt ruxsat etilgan quvvat, mVA da**

3-jadval

Simning kesim yuzasi, mm ²	Kuchlanish, kV		
	35	110	220
35	10,7	-	-
50	14,0	-	-
70	17,5	55,0	-
95	21,4	67,0	-
120	24,0	75,8	-
150	28,2	88,8	-
180	32,7	103,0	-
240	-	122,0	244
300	-	142	276
400	-	-	346
500	-	-	388

**Maksimal yuklamada ishlash vaqti $T_{\max}$ bilan quvvat isrof vaqti
 τ orasidagi bog'liqlik**

4-jadval

$T_{\max}$ (soat)	τ 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**

5-jadval

Simning kesim yuzasi, mm ²	Yuklama tokining ruxsat etilgan qiymati, A	r_0 , Om/km	x_0 , Om/km
2,5	19	-	-
4	27	7,74	0,095
6	32	5,17	0,09
10	42	3,1	0,073
16	60	1,94	0,0675
25	75	1,24	0,0662
35	90	0,89	0,0637
50	110	0,62	0,0625
70	140	0,443	0,0612
95	170	0,326	0,0602
120	200	0,258	0,0596
150	235	0,206	0,0596

Transformatorli podstansiyalarning hisobi uchun ma'lumotlar

3-20 kVli moyli transformatorlar

1-jadval

Transformator turi	S _{nt} , kVA	U _n , kV		ΔP_{syu} , kVt	ΔP_{qt} , kVt	U _{qt} , %	I _{syu} , %
		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
TMH	2500	20	11,0	5,1	23,5	6,5	1,1
		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

4-jadval

S _{nt} , mVA	Transformator turi	U _n , kV		ΔP _{po'l} , kW	ΔQ _{po'l} , kVAr	R _T , Om	X _T , 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 pasport ma'lumotlari

5-jadval

S _{nt} , mVA	Transformator turi	U _n , kV			ΔP _{po'l} , kW	ΔQ _{po'l} , 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 _{nt} , mVA	Transformator turi	R _T , Om			X _T , 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

6-jadval

S _{nt} , mVA	Transformator turi	U _n , kV			ΔP _{po'l} , kW	ΔQ _{po'l} , 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 _{nt} , mVA	Transformator turi	R _T , Ом			X _T , 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**

7-jadval

35 kV		110 kV		220 kV		Avtotransformator O'K tomonida	
Pog'o- na %	Kuch-sh, kV	Pog'o- na %	Kuch-sh, kV	Pog'o- na %	Kuch-sh, kV	Pog'o- na %	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	+36,9	236,9	+4	125,82
+1,5	37,3	+1,78	117,05	+1,5	233,45	+2	123,41
0	36,75	0	115	0	230	0	121
-1,5	36,2	-1,78	112,95	-1,5	226,55	-2,0	118,59
-3	35,65	-3,56	110,9	-33	223,1	-4	116,18
-4,5	35,10	-5,34	108,85	-4,5	219,65	-6	113,77
-6	34,55	-7,12	106,8	-6	216,2	-8	111,95
-9,0	33,45	-10,68	102,7	-9,0	209,3	-12	106,5
-7,5	34,0	-8,9	104,75	-7,5	212,75	-10	108,95
-10,5	32,90	-12,46	100,65	-10,5	205,85	-12	-
-12	32,35	-14,20	98,60	212	202,4	-	-
-	-	-16,02	96,55	-	-	-	-

Tokning iqtisodiy zichligi qiymatlari

8-jadval

Simlarning turlari	Tokning iqtisodiy zichligi j_{iq} A/mm ² T_{max} qiymatlarida		
	1000-3000	3001-5000	5001-8760
Ochiq simlar va shinalar: Mis va alumin	2,5	2,1	1,8
Rossiya, Kavkaz orti, Uzoq Sharq	1,3	1,1	1,0
Markaziy Sibir, Qozog'iston, O'rta Osiyo	1,5	1,4	1,3
Mis va aluminiy tomirli rezinali va polixlorvinil va izolatsiyali simlar va qog'oz izolatsiyali kabellar	3,0	2,5	2,0
Rossiya, Kavkaz orti, Uzoq Sharq	1,6	1,4	1,2
Markaziy Sibir, Qozog'iston, O'rta Osiyo	1,8	1,6	1,5
Mis va aluminiy tomirli rezinali va plastmassali izolatsiyali kabellar	3,5	3,1	2,7
Rossiya, Kavkaz orti, Uzoq Sharq	1,9	1,7	1,6
Markaziy Sibir, Qozog'iston, O'rta Osiyo	2,2	2,0	1,9

Eruvchan saqlagichlarning nominal toklari

9-jadval

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 yxtarlicha tez o'zgaranda, 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.

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 uskunar o'rnatish tadbirlarini ko'zda tutadi.

Iqtisodiy isroflar – xizmat ko'rsatish sifatini yaxshilashni ko'zda tutadigan va iste'molchilar bilan hisob-kitob vaqtida energonazorat tomonidan hisobga olinadigan isroflar.

Liniyaning zaryad toki – liniyaga ulangan o'zgaruvchan kuchlanish ostida liniyaning sig'implarida o'zgaruvchan elektr maydoni paydo bo'lib elektr zaryadlarini harakati yuzaga keladi, ya'ni reaktiv o'zgaruvchan tok hosil bo'ladi.

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

Aktiv qarshilik – simdan oqayotgan o'zgaruvchan tokka nisbatan bo'lgan qarshilikni ko'rsatadi.

Izolatorlar simlarni tayanchlarga mahkamlas uchun va kuchlanish ostidagi simlar bilan tayanchlar orasida kerakli izolatsiya 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 izolatorlar 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 troslar massasini tayanch o'z ustiga oladigan uchastka uzunligiga aytiladi.

Ishdagi ishonchlilik – elektr tarmoqlarining ishonchliligi deganda 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 tizim – bir-biri bilan o'zaro bog'langan elektr stansiyalar, 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 tizim – energetik tizimning 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 tizimi – iste'molchilarni elektroenergiya bilan ta'minlab berish uchun mo'ljallangan elektr qurilmalar majmuiga aytiladi.

Elektr tarmog'i – ma'lum bir hududda ishlovchi podstansiyalar, taqsimlovchi 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 qurilma elektr ulanishga aytiladi.

Apparatlar – barcha turdagi kuchlanish o'chirgichlari, bo'lgichlar, ajratkichlar, uzgichlar, qisqa tutashtirgichlar, saqlagichlar, vazryadniklar, tokni chegaralovchi reaktorlar, kondensatorlar.

Havo elektr uzatuv liniyasi – elektr energiyasini simlar orqali uzatish uchun mo'ljallangan, ochik havoda joylashgan va izolatorlar 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.

Podstansiya – elektr energiyani o'zgartirish va taqsimlash uchun xizmat qiladigan elektr qurilmaga aytiladi va u transformatorlar hamda boshqa energiya o'zgartirgichlardan, taqsimlovchi qurilmalardan, boshqarish qurilmalari va yordamchi moslamalardan iborat bo'ladi.

SI sistemasida kattaliklarning birliklari

Kattalikning nomlanishi	Birliklarning nomlanishi	SI birligi-da yozilishi	Birliklarning belgilanishi	
			rus	xalqaro
Uzunlik	metr	m	м	m
Massa	kilogramm	kg	кг	kg
Vaqt	sekund	s	с	s
Yuza	kv.metr	m ²	м ²	m ²
Hajm	kub metr	m ³	м ³	m ³
Kuch, og'irlik	Nyuton	kg*m/s ²	H	N
Zichlik	kilogrammning metr kubga nisbati	kg/m ³	кг/м ³	kg/m ³
Kuch momenti	Nyuton-metr	kg*m ² /s ²	Нм	Nm
Ish, energiya	Joul	kg*m ² /s ²	Дж	J
Quvvat	Vatt	kg*m ² /s ² =J/s	Вт	W
Burchak tezligi	radianning sekundga nisbati	s ⁻¹	рад/с	rad/s
Burchak tezlanishi	radianning sekund kvadratiga nisbati	s ⁻²	рад/с ²	rad/s ²
Davr	sekund	s	с	s
Davriy jarayon chastotasi	Gers	s ⁻¹	Гц	Hz

SI sistemasida elektromagnit kattaliklarning birliklari

Kattalikning nomlanishi	Birlik-larning nomlanishi	SI birligida yozilishi	Birliklarning belgilanishi	
			rus	xalqaro
Elektr kattaliklar				
Elektr tok kuchi	Amper	A	A	A
Elektr miqdori, zaryad	Kulon	$A \cdot c = Kl$	Кл	C
Elektr potensial, kuchlanish EYuK	Volt	$kg \cdot m^2 / (Ac^3) = B$	B	B

Elektr maydon kuchlanganligi	Voltning metrga nisbati	$\text{Kg}^*\text{m}/(\text{Ac}^3)=\text{B}/\text{m}$	B/M	V/m
Absolut dielektrik singdiruvchanlik	Faradning metrga nisbati	$\text{A}^2\text{c}^4/(\text{kg}^*\text{m}^3)$	Φ/M	F/m
Dipolning elektr momenti	Kulon-metr	$\text{Ac}^*\text{m}=\text{Kl}^*\text{m}$	Kl^*M	C^*m
Elektr siljish	Kulonning metr kvadratga nisbati	$\text{Ac}/\text{m}^2=\text{Kl}/\text{m}^2$	Kl/M^2	C/m^2
Qutblanish	Kulonning metr kvadratga nisbati	$\text{Ac}/\text{m}^2=\text{Kl}/\text{m}^2$	Kl/M^2	C/m^2
Elektr sig'im	Farada	$\text{A}^2\text{c}^4/(\text{kg}^*\text{m}^2)=\text{c}/\text{Om}$	Φ	F
Tok zichligi	Amperning metr kvadratga nisbati	A/m^2	A/M^2	A/m^2
Elektr qarshilik	Om	$\text{kg}^*\text{m}^2/(\text{A}^2\text{c}^3)=\text{B}/\text{A}$	Om	Ω
Elektr o'tkazuvchanlik	Simens	$\text{A}^2\text{c}^3/(\text{kg}^*\text{m}^2)=1/\text{Om}$	Cm	S
Solishtirma elektr qarshilik	Om/metr	$\text{kg}^*\text{m}^3/(\text{A}^2\text{c}^3)=\text{Om}/\text{m}$	Om/M	Ω/m
Solishtirma elektr o'tkazuvchanlik	Simensnin g metrga nisbati	$\text{A}^2\text{c}^3/(\text{kg}^*\text{m}^3)=1/\text{Om}^*\text{m}$	Cm/M	S/m
To'la quvvat	Volt-ampere	$\text{kg}^*\text{m}^2/\text{c}^3$	BA	VA
Aktiv quvvat	Vatt	$\text{kg}^*\text{m}^2/\text{c}^3$	BT	Wt
Reaktiv quvvat	Var	$\text{kg}^*\text{m}^2/\text{c}^3$	Bap	VAr
Magnit kattaliklar				
Magnit oqim	Veber	$\text{kg}^*\text{m}^2/(\text{Ac}^2)=\text{Bc}$	B6	
Magnit induksiyasi	Tesla	$\text{kg}/(\text{Ac}^2)=\text{Bc}/\text{m}^2$	Tл	
Absolyut magnit o'tkazuvchanlik	Genrining metrga nisbati	$\text{kg}^*\text{m}/(\text{A}^2\text{c}^2)$	$\Gamma\text{H}/\text{M}$	

Elektr tokening magnit momenti, dipolning magnit momenti	Amperning metr kvadratga ko'paytma si	$A \cdot m^2$	$A \cdot m^2$	
Magnitlanish	Amperning metr ga nisbati	A/m	A/m	
Magnit maydon kuchlanganligi	Amperning metr ga nisbati	A/m	A/m	A
Induktivlik, o'zaro induktivlik	Genri	$kg \cdot m^2 / (A^2 \cdot c^2) =$ $Bc/A = Vb/A = OM \cdot c$	Γ_H	
Magnit yuru- tuvchi kuch, skalyar magnit potensiallar farqi	Amper	A	A	A
Magnit qarshilik	Amperning veberga nisbati	$c^2 A^2 / (kg \cdot m^2) =$ $A/Vb = 1/Gn$	$A/B\phi$	A/Wb
Magnit o'tkazuvchanlik	Veberning amperga nisbati	$kg \cdot m^2 / (c^2 A^2) = Gn$	$B\phi/A$	Wb/A
Vektor magnit potensial	Veberning metr ga nisbati	$kg \cdot m / (Ac^2) = Bc/m$	$B\phi/m$	Wb/m

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.	kkal/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 kkal/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 (mikron-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 birliklari

1 kal (xalqaro)=4,1866 J

1 ot 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

$$1 \text{ kgk/sm}^2 = 98066,5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ ta (texnik atmosfera)} = 1 \text{ kgk/sm}^2 = 98066,5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm (fizik atmosfera)} = 10,1325 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 1,02 \text{ ta} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mm s. ust. (millimeter simob ustuni)} = 13,595 \text{ kgk/m}^2 = 133,322 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mm suv ust.} = 1 \text{ kgk/m}^2 = 9,80665 \text{ Pa}$$

Tezlik o'lchov birliklari

$$1 \text{ km/soat} = 0,278 \text{ m/sek}$$

$$1 \text{ uz. (uzel)} = 1 \text{ dengiz milyasi soatda} = 1,852 \text{ km/soat} = 0,514 \text{ m/s}$$

Elektr kattaliklarning o'lchov birliklari

$$10 \text{ m mm}^2/\text{m} = 10^{-6} \text{ Om m}$$

$$1 \text{ Mks (Maksvell)} = 10^{-8} \text{ Vb}$$

$$1 \text{ Gs (Gauss)} = 10^{-4} \text{ Tl}$$

$$1 \text{ Gb (Gilbert)} = (10/4\pi) \text{ A}$$

$$1 \text{ E (ersted)} = (10/4\pi) \text{ A/m}$$

$$1 \text{ erg (erg)} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ J}$$

Elektrotexnikada foydalaniladigan fizik konstantalar

Elementar zaryad (elektron zaryadi):

$$e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$$

Elektr doimiysi:

$$\epsilon_0 = 1/\mu_0 \quad C_0 = 8,85418782 \cdot 10^2 \text{ F/m} \approx 1/4\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \text{ F/m},$$

bu yerda, $C_0 = 2997920458 \text{ m/s}$ – nurning vakuumdagi tezligi

Magnit doimiysi:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn/m} = 4\pi \cdot 10^{-9} \text{ Gn/sm}$$

Elektr magnit kattaliklarini belgilash uchun qabul qilingan lotin va yunon alfaviti harflari

A – chiziqli tok zichligi, magnit potentsiali vektori

B – magnit induksiya

B, b – reaktiv o'tkazuvchanlik

C – sig'im

c – elektromagnit to'liqin 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 ko'effitsiyenti

L – xususiy induktivlik.

M – o'zaro induktivlik; magnitlanish; motorning aylanish momenti.

m – magnit moment.

N – chulg'amlar soni; magnitsizlantirish ko'effitsiyenti.

n – transformatsiya ko'effitsiyenti; 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 harflari

A – so'nish doimiysi
 α – so'nish ko'effitsiyenti
B – fazalar doimiysi
 β – faza ko'effitsiyenti
G – uzatish doimiysi
 γ – tarqalish ko'effitsiyenti; solishtirma elektr o'tkazuvchanlik
 δ – nobudgarchilik ko'effitsiyenti
 ϵ – dielektrik singdiruvchanlik (ϵ_0 – elektr doimiysi)
 θ – tebranishning logarifmik dekrementi.
x – magnit ta'sirchanlik
 λ – elektromagnit to'lqin uzunligi; quvvat ko'effitsiyenti.
 μ – magnit singdiruvchanlik (μ_0 – magnit doimiysi)
P – Poynting vektori.
 ρ – qaytarish ko'effitsiyenti; elektr zaryadning hajmiy zichligi;
solishtirma elektr qarshilik
 σ – elektr zaryadning tashqi zichligi; solishtirma elektr o'tkazuvchanlik
 τ – elektr zaryadning tashqi zichligi; vaqt doimiysi.
F – magnit oqimi
 φ – elektr potensial; tok va kuchlanish orasidagi burchak
 χ – dielektrik ta'sirchanlik
 ψ – oqim ilakishi
 Ω, ω – tebranishning burchak chastotasi; aylanish burchak chastotasi

Indekslarni qo'llashda misollar

ϵ_a – absolut dielektrik singdiruvchanlik.
 Z_{TK} – to'lqin qarshiligi.

r_{1q} – ichki qarshilik

Z_{xq} – xarakteristik qarshilik

L_{dif} – differensial induktivlik

r_k – qisqa tutashuv qarshiligi

W_m – magnit energiyasi.

I_m – tok amplitudasi.

I_{max} – tokning maksimal qiymati.

I_{min} – tokning minimal qiymati.

μ_g – nisbatli magnit singdiruvchanlik.

I_Σ – toklarning yig'indisi.

U_f – faza kuchlanishi.

r_x – salt ishlash qarshiligi.

$a^*=a/a_0$ – bazis qiymatga keltirilgan kattalik(a_0).

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Steven W.Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007, 260 p.
2. Лыпкин А.В. Электрические системы и сети (Электронный ресурс): (учеб. пособ.) – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002.- 248 с.
3. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях (Электронный ресурс): учеб. пособ. для вузов по направл. «Электроэнергетика» и спец. «Электроэнергетические системы и сети» / В.В. Ежков, Г.К. Зарудский, Э.Н. Зуев; ред. В.А. Строев.- (1файл: 11 МБ). – Москва: Высшая школа, 1999.- 352 с.
4. 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.
5. Электрические системы и сети. Буслова Н.В., Винославский В.Н., Данисенко Т.И., Перхач В.С. Под ред. Данисенко Г. – Киев: Высшая школа, 2006.
6. Блок В.М. Электрические сети и системы. Высшая школа, 2006.
7. Иделчик В.И. Электрические сети и системы. М.: Атомиздат, 2003.

A.N.RASULOV, I.U. RAXMONOV

ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARI

Toshkent – «Fan va texnologiya» – 2018

Muharrir:	M.Hayitova
Tex. muharrir:	A.Moydinov
Musavvir:	D.Azizov
Musahhih:	N.Hasanova
Kompyuterda sahifalovchi:	N.Rahmatullayeva

E-mail: tipografiyacent@mail.ru Tel: 245-57-63, 245-61-61.

Nashr.lits. AI №149, 14.08.09. Bosishga ruxsat etildi . .2018.

Bichimi 60x84 ¹/₁₆. «Timez Uz» garniturası. Ofset bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabog'i 19,75. Nashriyot bosma tabog'i 20,5.

Tiraji 50. Buyurtma № 393.

**«Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi» da chop etildi.
100066, Toshkent sh., Olmazor ko'chasi, 171-uy.**