

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS TA’LIM
VAZIRLIGI
O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI TRANSPORT VAZIRLIGI
TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI**

**Abdurauf Malikovich Safarov
To‘lqin Shernazarovich G‘oyibov
Absaid Xurramovich Sulliyev**

ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARI

5310200 – Elektr energetikasi (tarmoqlar bo‘yicha) ta’lim yo‘nalishi uchun
Darslik

Toshkent - 2020

UDK 621. 331. 3.

Elektr tarmoqlari va tizimlari. Safarov A.M., G‘oyibov T.Sh., Sulliyev A.X.
Darslik. “...”, T.: 2020, 272 bet.

Taqrizchilar: N.B. Pirmatov – t.f.d., prof. (TDTU)

U.T. Berdiyev – t.f.n., prof. (TDTU)

Annotatsiya

Darslikda elektr tarmoqlari va tizimlari, elektr tarmoq liniyalari tuzilishi, elektr tarmoqlarda quvvat va energiya isroflari, elektr tarmoqlarni texnik-iqtisodiy hisoblash asoslari, elektr tarmoqlarni loyihalash, elektrlashgan temir yo‘l tortuvchi va notortuvchi yuklamalari elektr ta‘minoti ko‘rib o‘tilgan. Shuningdek, elektr energiyasining asosiy sifat ko‘rsatkichlari va elektr energiyasi iste‘moli enyergetik balansi tahlili, elektr tarmoqlari va tizimlarida energiya tejash tadbirlari, iste‘mol qilinayotgan elektr energiyasiga o‘rnatilgan tariflarning turlari keltirilgan.

Аннотация

В учебнике рассмотрены электрические сети и системы, устройства линии электрических сетей, потери мощности и энергии в электрических сетях, основы технико-экономических расчетов электрических сетей, проектирование электрических сетей, электроснабжение тяговых и нетяговых нагрузок электрифицированных железных дорог. А также приведены основные показатели качества электрической энергии и анализ энергетического баланса потребляемой электрической энергии, рассмотрены энергосберегающие мероприятия в электрических сетях и системах, виды устанавливаемых тарифов на потребляемую электрическую энергию.

Summary

In scholastic allowance are considyered electric networks and systems, device to lines of the electric networks, loss to powyers and enyergy in electric set, bases technical-econmic calculation electric networks, designing the electric networks, supply tractive and netyagovых of the loads of the electrified railways.

As well as is brought leading indexes quality to electric enyergy and analysis of the enyergy balance comsumed electric enyergy, are considyered enyergy saving actions in electric set and system, types installed tariff on comsumed electric enyergy.

Mundarija

Kirish.....	12
1. ELEKTR TIZIM VA TARMOQLARI TO‘G‘RISIDA UMUMIY MALUMOTLAR.....	17
1.1. Elektr tarmog‘i va tizimlarining tuzilmasi.Asosiy tushuncha va ta’riflar	17
1.2. Elektr sistemasi elementlarining nominal kuchlanishi. Kuchlanishni rostdash tushunchasi.....	23
1.3. Har xil kuchlanishli elektr tarmoqlarining betaraf nuqtasini ish holati	32
1.4. Iste’molchilar yuklamasi, yuklamalar grafigi.....	38
1.5. Elektr tarmoqlariga qo‘yiladigan asosiy talablar.....	40
1.6. Elektr tarmog‘ini hisoblashning asosiy usullari.....	45
2. ELEKTR TARMOQLARI VA ELEKTR UZATISH LINIYALARINING TUZILISHI.....	47
2.1. Havodagi elektr uzatish liniyalarining konstruktiv elementlari.....	47
2.2. Havodagi elektr uzatish liniyalarining o‘tkazgichlari va troslari	48
2.3. Havodagi elektr uzatish liniyalarining tayanchlari.....	51
2.4. Havodagi elektr uzatish liniyalarining izolyatorlari.....	57
2.5. Havodagi elektr uzatish liniyalarining armaturalari	58
2.6. Kabel liniyalarining tuzilishi.....	61
3. ELEKTR TIZIMI ELEMENTLARINING XARAKTERISTIKASI VA PARAMETRLARI.....	64
3.1. Elektr uzatish liniyalarining asosiy parametrlari va almashtirish sxemalari	64
3.2. Kabelli elektr uzatish liniyalarining parametrlari.....	69
3.3. Ikki va uch chulg‘amli transformatorlarning parametrlari va almashtirish sxemalari.....	73
3.4. Avtotransformatorlar parametrlari.....	77
4. ELEKTR TARMOQLARIDAN ENERGIYA UZATISH NAZARIYASINING ELEMENTLARI	89
4.1. Elektr tarmog‘i ish holatining tahlili	89
4.2. Elektr uzatish liniyalarida quvvat isrofi.....	89
4.3.Transformator va avtotransformatorlarda quvvat isrofi.....	93
4.4. Liniya va transformatorlarda elektr energiya isrofi.....	97
4.5. Elektr uzatish liniyasi holatini yuklama toki berilganda hisoblash.....	107
4.6. Elektr uzatish liniyasi holatini yuklama quvvati berilganda hisoblash.....	109
4.7. Elektr uzatish liniyasida kuchlanish pasayishi va kuchlanish isrofi.....	113
4.8. Katta uzunlikka ega bo‘lgan liniyalarni hisoblash.....	116
5. OCHIQ, ODDIY VA MURAKKAB YOPIQ ELEKTR	118

TARMOQLARINI HISOBLASH.....	
5.1. Kuchlanishi 35 kV va undan past bo‘lgan taqsimlovchi elektr tarmoqlarni hisoblashda qabul qilinuvchi soddalashtirishlar.....	118
5.2. Ochiq taqsimlovchi elektr tarmoqlarda kuchlanish isrofining eng katta qiymatini aniqlash.....	121
5.3. Oddiy yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlari va kuchlanishning taqsimlanishi	125
5.4. Murakkab yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlarining taqsimlanishini hisoblash	133
6. TARMOG‘INING ISH HOLATLARI VA ULARNI BOSHKARISH.....	140
6.1. Elektr tarmoqlarda quvvat isrofining turlari va ularni kamaytirish tadbirlari	140
6.2. Reaktiv quvvat manbalari	143
6.3. Reaktiv quvvat balansi va uning buzilishi oqibatlarini	146
6.4. Sistemada aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishini optimallashtirish	147
7. ELEKTR ENERGIYANING SIFATI.....	150
7.1. Elektr energiya sifati ko‘rsatkichlari	150
7.2. Kuchlanishni qarama-qarshi rostlash	154
7.3. Elektr stansiyalarida kuchlanishni rostlash	156
7.4. Pasaytiruvchi podstantsiyalarda kuchlanishni rostlash.....	158
7.5. Yuklama ostida rostlanmaydigan transformatorlar.....	160
8. ELEKTR TARMOQLARINI LOYIXALASH ELEMENTLARI...	167
8.1. Texnik-iqtisodiy xisoblash asoslari	167
8.2. Asosiy texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlar	170
8.3. Elektr tarmoq variantlarini solishtirish	172
8.4. Nominal kuchlanishni tanlash.	176
8.5. Liniya o‘tkazgichlarining kesim yuzalarini tokning iqtisodiy zichligi bo‘yicha tanlash	178
8.6. Liniya o‘tkazgichining kesim yuzasini kuchlanishning ruxsatlangan isrofi bo‘yicha tanlash	186
8.7. Liniya o‘tkazgichlarining kesim yuzalarini qizish darajasi bo‘yicha tanlash	190
8.8. Liniya kesim yuzasini tojlanish sharoiti va qisqa tutashuv toklarini qizdirishi bo‘yicha tekshirish	194
8.9. Po‘lat o‘tkazgichlardan tayyorlangan liniyalarni hisoblash	197
9. ELEKTRLASHGAN TEMIR YO‘LLAR TORTUVCHI YUKLAMALARNING ELEKTR TA‘MINOTI	200
9.1. O‘zgarmas va o‘zgaruvchan toklarda elektr tortishni ta‘minlash xususiyatlari.....	202
9.2. Yuqori kuchlanish bo‘ylama liniyasining tortuvchi Yuklamasi.....	205
9.3. Bo‘ylama elektr ta‘minoti liniyalarini elektr hisoblash.....	213

9.4. Kuchlanishi 25 kV o‘zgaruvchan tok tortuvchi tarmoqlarning ish rejimlari.....	225
9.5. Kuchlanishi 110 yoki 220 kV bo‘ylama liniya bo‘yicha quvvat uzatishning 25 kV kuchlanishli o‘zgaruvchan tok tortuvchi tarmoqlar ishiga ta’siri.....	229
10. TEMIR YO‘LNING TORTUVCHI BO‘LMAGAN ISTEMOLCHILARINI ELEKTR ENERGIYA BILAN TA’MINLASH UCHUN UZATISH LINIYALARI.....	237
10.1. Tortuvchi bo‘lmagan istemolchilarning yuklamalari.....	237
10.2. «Ikki sim - rels» tizimi parametrlari	238
10.3. ISR liniyalarini elektr hisoblash.....	244
10.4. Avtoajratkich qurilmalarini ta’minlovchi uzatish liniyalari	249
Фойдаланилган адабиётлар	254
Иловалар	255

Оглавление	
Введение	..10
1. Общие сведения об электрических системах и сетях.....	...14
1.1. Структура электрических сетей и систем.	
Основные понятия и определения.....	...14
1.2. Номинальное напряжение элементов электрической системы. Понятие регулирования напряжения.....	20
1.3. Режимы работы нейтрали электрических сетей различных напряжений.....	..27
1.4. Нагрузка потребителей, графики нагрузки.....	33
1.5. Основные требования, предъявляемые электрическим сетям.	.35
1.6. Основные методы расчета электрических сетей.....	39
2. Устройство линий электрических передач сетей.....	41
2.1. Устройство элементов воздушных линий.....	41
2.2. Проводники и тросы воздушных линий.....	42
2.3. Опоры линий передач электрической энергии....	45
2.4. Изоляторы ЛЭП.....	49
2.5. Линейные арматуры ЛЭП.....	50
2.6. Устройство кабельных линий.....	53
3. Характеристики и параметры элементов электрических систем.....	55
3.1. Основные параметры линий электропередачи. Схемы замещения ЛЭП.....	..55
3.2. Параметры кабельных линий электропередачи.....	60
3.3. Параметры и схемы замещения двух и трех обмоточных трансформаторов.....	63
3.4. Параметры автотрансформаторов.....	67
4. Элементы теории передачи энергии по электрическим сетям.....	73
4.1. Анализ режимов работы электрических сетей.....	73
4.2. Потери мощности в линиях электропередач.....	74
4.3. Потери мощности в трансформаторах и автотрансформаторах.....	77
4.4. Потери энергии ЛЭП и трансформаторах.....	80
4.5. Расчет ЛЭП при заданном токе нагрузки.....	..88
4.6. Расчет ЛЭП при заданной мощности нагрузки.....	90
4.7. Понижение и потери напряжения ЛЭП.....	92
4.8. Расчет длинных ЛЭП.....	..95

5. Расчет разомкнутых и сложно-замкнутых электрических сетей.....	..97
5.1. Упрощения принятые при расчете	
распределительных электрических сетей напряжением $U \leq 35 \text{ кВ}$	97
5.2. Определение максимальное значение потери	
напряжения разомкнутых распределительных электрических сетей.....	99
5.3. Распределение потоков мощности и напряжения в	
простых замкнутых электрических сетях.....	102
5.4. Расчет распределение потоков мощностей в	
сложно-замкнутых электрических сетях.....	109
6. Режимы работы электрических сетей и их управление.....	115
6.1. Виды потери мощности.....	115
6.2. Источники реактивных мощностей.....	117
6.3. Баланс реактивных мощностей.....	120
6.4. Оптимизация распределения активной и реактивной .	
мощности в системе.....	121
7. Качество электро энергии.....	123
7.1. Показатели качества электро энергии.....	123
7.2. Встречное регулирование напряжения.....	127
7.3. Регулирование напряжения на электрической станции.....	128
7.4. Регулирование напряжения на понижающих	
подстанциях.....	130
7.5. Нерегулируемые трансформаторы под нагрузкой.....	131
8. Элементы проектирования электрических сетей.....	137
8.1. Основы технико-экономических расчетов.....	137
8.2. Основные технико-экономические показатели.....	139
8.3. Сравнение вариантов электрических сетей.....	142
8.4. Выбор номинального напряжения.....	145
8.5. Выбор сечения проводников линий по экономической	
плотности тока.....	147
8.6. Выбор сечение проводников линий по допустимым	
потерям напряжения.....	154
8.7. Выбор сечение проводников линий по нагреву.....	157
8.8. Выбор сечение проводников по нагреву токов	
короткого замыкания.....	161
8.9. Расчет ЛЭП, изготовленных из стальных проводов.....	163

9. Электроснабжение тяговых потребителей электрифицированной железной дороги.....	165
9.1. Особенности обеспечение электрической тяги на постоянном и переменным токах.....	..165
9.2. Тяговая нагрузка высоковольтной продолной линии.....	170
9.3. Расчет линии продолного электроснабжения.....	180
9.4. Режимы работы тяговых сетей переменного тока напряжением 25 кВ.....	187
9.5. Влияния линии передачи мощности напряжениями 110 и 220 кВ на работу тяговых сетей переменного тока напряжением 25 кВ.....	191
10. Линии передачи для электроснабжения нетяговых потребителей железной дороги.....	...197
10.1. Нагрузки нетяговых потребителей.....	197
10.2. Параметры системы «два провода - релс».....	198
10.3. Электрический расчет линий ДПР.....	203
10.4. Линии передачи, обеспечивающие автоблокировки.....	208
Список литературы.....	254
Приложение.....	255

Contents

Introduction.....	10
1. General information about electric system and set.....	14
1.1. The Structure of the electric networks and systems.	
The Main notions and determinations.....	14
1.2. The Nominal voltage electric system element. The Notion regulation voltages.....	20
1.3. The Standard schemes of the electric networks and systems.....	27
1.4. The Load of the consumers, graphs of the load.....	33
1.5. The Main requirements presented electric networks.....	35
1.6. The Main types of the calculation of the electric networks.....	39
2. The transmission line device of the electric systems.....	41
2.1. The Device element air line.....	41
2.2. The Conductors and walking stick air line.....	42
2.3. The Full tilts line carrying electric energy.....	45
2.4. The Insulators communication link.....	49
2.5. Linear armature communication link.	50
2.6. The Device cable line.....	53
3. The features and parameters element electric systems.....	55
3.1. The Main parameters line electrotransmission. The puttees communication link.....	55
3.2. The Parameters cable line electrotransmission.....	60
3.3. The Parameters and schemes mixed up two and three puttees transformer.....	63
3.4. The Parameters autotransformer.....	67
4. The elements to theories of the transmission to energy on electric networks.....	73
4.1. The Analysis state of working electric networks.....	73
4.2. The Losses to powers in line electrotransmission.....	74
4.3. Losses powers in transformer and autotransformer.....	77
4.4. The Losses to energy communication link and transformer.....	80
4.5. The Calculation communication link under given current of the load.....	88
4.6. The Calculation communication link under given powers of the load.....	90
4.7. Reduction and loss of the voltage communication link.....	92
4.8. The Calculation long communication link.....	95
5. The calculation opened and in a complicated way-zamknutyh electric etworks.....	97
5.1. The Simplifications taken at calculation of the distributing electric networks by voltage $U \leq 35$ sq	97
5.2. The Determination maximum importance loss of the voltage	

opened distributing of the electric networks.....	99
5.3. Distribution flow to powers and voltages in simple lock-in electric set.....	102
5.4. The Calculation distribution flow of the powers in in a complicated way- electric se lock-in.....	109
6. The state of working electric networks and their control.....	115
6.1. View loss to powers.....	115
6.2. The Sources of the reactive powers.....	117
6.3. The Balance of the reactive powers.....	120
6.4. The Optimization of the distribution active and reactive power in system.....	121
7. The quality to electro energy.....	123
7.1. The Factors quality to electro energy.....	123
7.2. The Counter regulation of the voltage.....	127
7.3. The Regulation of the voltage on electric station.....	128
7.4. The Regulation of the voltage on lowering substation.....	130
7.5. The Unadjusted transformers under load.....	131
8. The elements of the designing the electric networks.....	137
8.1. The Bases technical-econmic calculation.....	137
8.2. The Main technical-econmic factors.....	139
8.3. The Comparison variant electric networks.....	142
8.4. The Choice of the nominal voltage.....	145
8.5. The Choice of the section conductor line on economic density of the current.....	147
8.6. The Choice section conductor line on possible loss of the voltage.....	154
8.7. The Choice section conductor line on heating.....	157
8.8. The Choice section conductor on heating current short circuit.....	161
8.9. The Calculation communication link, made from steel wire.....	163
Supply of the tractive consumers of the electrified railway.....	165
9.1. The Particularities ensuring the electric pulling on constant and alternating current.....	165
9.2. The Tractive load to high-tension longitudinal line.....	170
9.3. Calculation to lines of longitudinal supply.....	180
9.4. The State of working tractive networks of alternating current by voltage 25 sq.....	187
9.5. The Influences to lines of the transmission to powers by voltages 110 and 220 sq on functioning(working) the tractive networks of alternating current of the voltage 25 sq.....	191

10. The lines of the transmission for supply netyagovyh consumers of the railway.....	197
10.1. The Loads no burden consumers.....	197
10.2. The Parameters of the system "two wires - a rail"	198
10.3. The Electric calculation line DPR.....	203
10.4. The Lines of the transmission, providing device avtoblocking.....	208

KIRISH

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

XX asrda sodir bo‘lgan ilmiy-texnika revolyusiyasining ikki muhim yo‘nalishini ko‘rsatish mumkin.

Bu – odamning jismoniy energiyasini energiyaning boshqa turlari (asosan elektr energiyasi) bilan to‘la almashtirish va jarayonlarni avtomatlashtirish yordamida odamlarni andazalangan operatsiyalardan (jismoniy va aqliy mehnatlardan) ozod qilish. Shuning uchun, vatanimiz xalq xo‘jaligining barcha sohalaridagi ilmiy-texnikaviy taraqqiyot energetika va avtomatika bilan aniqlanadi.

Energetikaning rivojlanishi elektr energiyasini ishlab chiqarishni uzluksiz ko‘paytirish bilan bog‘liqdir. Elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va undan foydalanish qulay bo‘lganligi sababli hozirgi davrda u insonlar tomonidan eng ko‘p foydalaniluvchi asosiy energiya turidir.

Bir odamning muskul (mushak) quvvati taxminan 50 Vt ga teng bo‘lib, u bir yil davomida taxminan 100 kVt·soat elektr energiyaga teng bo‘lgan ish bajarishi mumkin. Hozirgi davrda O‘zbekiston Respublikasida bir yil davomida ishlab chiqariluvchi elektr energiyaning bir odam uchun to‘g‘ri keluvchi miqdori taxminan 2000-2500 kVt·soatni tashkil etadi. Har bir mamlakatda xalq xo‘jaligining rivojlanganlik va kishilarning farovon yashash darajasi unda qanchalik ko‘p miqdorda elektr energiya ishlab chiqarilayotganligi va undan qanchalik darajada samarali foydalanilayotganligi bilan belgilanadi. Buni AQSH, Shvetsiya, Norvegiya, Olmoniya va boshqa rivojlangan mamlakatlar misolida ko‘rish mumkin.

1 kVt·soat energiya miqdorining ma’nosini tushunish uchun uning yordamida qancha miqdorda ish bajarish mumkinligi bilan tanishib o‘tamiz. Uning yordamida 1,5 kg po‘latni eritish, 30 kg ko‘mir qazib olish, 36 kg non

yopish, 30 ta jo‘ja chiqarish mumkin.

O‘zbekiston energetikasining rivojlanish tarixi. 1914 yilda Turkiston energetika xo‘jaligining quvvati 20 ming o.k.(ot kuchi) dan ortiqroq bo‘lib, mavjud 51 ta elektr stansiyalardagi umumiy elektr motorlarining soni 500 tadan oshmas edi.

1917 yilga kelib hozirgi O‘zbekiston hududidagi elektr stansiyalarning umumiy quvvati 3 ming kVt ni tashkil qilib, bir yilda 3,3 mln. kVt.soat elektr energiyasi ishlab chiqarilgan edi.

O‘zbekiston energetikasi taraqqiyotida Turkiston o‘lkasini elektrlashtirish rejasining tuzilishi qatta ahamiyat kasb etdi. 1923 yil Toshkent chekkasidagi Bo‘zsuv kanalida gidroelektr stansiyasi (GES) qurilishi boshlandi. 1926 yil O‘zbekiston energetikasida birinchi – o‘sha vaqtda O‘rta Osiyoda eng katta bo‘lgan 2 ming kVt quvvatli Bo‘zsuv GESining birinchi navbati ishga tushirildi.

O‘zbekiston energetika tizimi tuzilgan paytda (1934 y.) Respublikada elektr energiyasi quvvatining o‘sishi asosan Chirchiq-Bo‘zsuv yo‘nalshidagi umumiy quvvati 180 ming kVt bo‘lgan ketma-ket qurilgan gidroelektr stansiyalari hisobiga to‘g‘ri keldi.

1939 yilda Qizilqiya ko‘mir havzasi negizida Quvasoy Davlat rayon elektr stansiyasi (DRES) ning 12 MVt quvvatli kondensatsion turbina agregati va Toshkent to‘qimachilik kombinati issiqlik elektr stansiyasining 6 MVt quvvatli ikkita turbinasi ishga tushirildi.

Elektr stansiyalarining qurilishi va sanoat korxonalarining rivojlanishi magistral elektr tarmoqlarini qurish zaruratini keltirib chiqardi. Qodir GES ining ishga tushirilishi bilan bir vaqtning o‘zida Respublikada birinchi bo‘lib undan Toshkentga elektr energiyasini uzatuvchi 35 kV kuchlanishli ikki zanjirli liniya foydalanishga topshirildi.

1939-1940 yillarda 110 kV kuchlanishli havo liniyalari Quvasoy DRESini Andijon shaxri bilan, Tavoqsoy GESini Chirchiq shaxri bilan bog‘ladi.

Vatan urushi yillarida Toshkent atrofini bog‘lovchi 35 kV kuchlanishli

halqasimon havo liniyasi qurib bitkazildi, shimoliy sanoat rayonini elektr energiya bilan ta'minlash uchun katta quvvatli "Shimoliy" nimstansiyasi qurildi.

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

Angren ko'mir havzasini o'zlashtirilishi ikkita issiqlik elektr stansiyasi – 600 ming kVt quvvatli Angren DRES va Olmaliq issiqlik elektr markazi (IEM)ni qurishga asos bo'ldi.

1972 yil Sirdaryo DRESida O'rta Osiyoda birinchi eng katta kritik parametrlarda (par bosimi 240 atm., temperaturasi 545⁰C) ishlovchi 300 MVt quvvatli energetika bloki ishga tushirildi. Hozirgi paytda Sirdaryo DRES ining 10 ta shunday quvvatli bloklari ishlamoqda.

Hozirgi paytga kelib o'rnatilgan uskunar quvvatlarining yig'indisi 11,0 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 (8.0 mln. kVt), Toshkent (1.86 mln. kVt), Yangi-Angren (1,8 mln. kVt) va Navoiy (1,25 mln. kVt) issiqlik elektr stansiyalari tashkil etadi. Ushbu elektr stansiyalarda birlik quvvati 150 dan 300 ming kVt bo'lgan 30 dan ortiq zamonaviy energetika bloklari o'rnatilgan. Loyiha quvvati 3,2 mln. kVt va energetika blokining birlik quvvati 800 ming kVt li bo'lgan Markaziy Osiyoda eng katta Tolimarjon issiqlik elektr stansiyasini ishga tushirildi.

Hozirgi paytda Tolimarjon issiqlik elektr stansiyasining 3 ta quvvatli bloklari ishlamoqda.

Gidroelektr energetikasi O'zbekiston Respublikasi energetika vazirligi tizimidagi bir nechta unchalik katta bo'lmagan quvvatli GES kaskadlari bilan belgilanadi. Bulardan O'rta-Chirchiq GESlar kaskadi tarkibiga kirib, suv omborlariga ega bo'lgan 600 ming kVt quvvatli Chorvoq va 165 ming kVt

quvvatli Xojikent GESlari asosan quvvat balansini rostlovchi stansiya sifatida faoliyat ko'rsatadi. Qolgan GESlarning ish holatlari esa havzadan oqib o'tuvchi suv miqdori bilan belgilanadi.

O'zbekiston energetika tizimi Turkmaniston, Tojikiston, Qirgiziston va Janubiy Qozog'iston energetika tizimilari bilan tutashgan bo'lib, Markaziy Osiyo xalqaro Birlashgan energetika tizimining tarkibiy qismi hisoblanadi.

Ko'p miqdorda ishlab chiqariluvchi elektr energiyani masofaga samarali uzatish va iste'molchilarga taqsimlash turli kuchlanishdagi elektr uzatish liniyalaridan foydalanishni taqazo etadi. Hozirgi davrda O'zbekiston Respublikasidagi barcha nominal kuchlanishli elektr uzatish liniyalarining umumiy uzunligi taxminan 220 ming km bo'lib, 500 kV kuchlanishli liniyalar 1,6 ming km, 220 kV kuchlanishli liniyalar 4,6 ming km va 0,4-10 kV kuchlanishli liniyalar 170 ming km ni tashkil etadi.

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

Elektr va issiqlik energiyani ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va ularni iste'mol qilishni samarali tashkil etish uchun energetika tizimini hosil qilish maqsadga muvofiqdir. Energetika tizimi quyidagi bir qator afzalliklarga ega.

Yuqori ishonchlilik. Tizimning biror elementi (generator, transformator, liniya va x.k.) shikastlansa, uning vazifasini boshqa – ishdan chiqmagan elementlar bajarishi natijasida iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi uzluksizlik saqlab qolinadi. Shuningdek, mu'ayyan hududda elektr energiya tanqisligi kuzatilgan holatda talab etiluvchi qo'shimcha quvvat alohida hududlardagi tizimlarni tutashtiruvchi uzatish liniyasi orqali etkazib beriladi.

Yuklama maksimumlarining bir xil vaqtga to'g'ri kelmaganligidan foydalanish. Birlashgan energetika tizimining faoliyat ko'rsatish masshtabi katta bo'lgan hollarda turli hududlardagi iste'molchi yoki energetika tizimlari

yuklamalarining maksimal qiymatga erishish vaqtlari turlicha bo'lishi mumkin. Bunday hollarda birlashgan energetika tizimining umumiy yuklama grafigi nisbatan tekislanishi natijasida qo'shimcha samaraga erishiladi.

Quvvat zahirasini kamaytirish. Quvvatni alohida hududlardagi energetika tizimlarini tutashtiruvchi liniyalar orqali bir energetika tizimidan boshqasiga uzatish mumkinligi sababli alohida energetika tizimlaridagi zahira quvvatlarini minimumgacha kamaytirish imkoniyati paydo bo'ladi.

Energetika tizimi holatini optimallashtirish imkoniyatlarining kengayishi. Energetika tizimi yuklamasini ko'plab turli tavsiflarga ega bo'lgan elektr stansiyalari o'rtasida samarali taqsimlash, tizim elementlarining samarali yuklanishlarini ta'minlash imkoniyatlari ortadi.

Mohirona foydalanish mumkinligi. Elektr tarmoq elementlarini tez ulash yoki uzish va ularni ta'mirlash imkoniyatlari paydo bo'ladi.

Yirik agregatlardan foydalanish mumkinligi. Energetika tizimida o'rnatiluvchi agregatlarning maqsadga muvofiq bo'lgan eng katta quvvati tizimning umumiy yuklamasi bilan belgilanadi. Shu sababli kichik tizimlarda foydalaniluvchi agregatlarning quvvatlari ham nisbatan kichikdir. Tizimning kattalashishi bilan unda foydalaniluvchi agregatlarning quvvatlarini oshirish imkoniyati paydo bo'ladi. Boshqa tomondan, katta quvvatli bitta agregatni qurish va undan foydalanish harajatlari umumiy quvvati unga teng bo'lgan bir nechta agregatlarni qurish va foydalanish harajatlariga nisbatan kichikdir.

Elektr energetika tizimlari va ularning elementlarini loyihalash, montaj qilish va foydalanish ishlari bilan shug'ullanuvchi yosh mutaxassislar quyidagilarni bilishlari lozim:

- elektr tarmoq elementlarining almashtirish sxemalarini qurish va hisob parametrlarini topish;
- elektr tarmoqlari holatlarini hisoblash;
- elektr energiyani ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va iste'mol qilish jarayonida yuz beruvchi hodisalarning fizik ma'nosi;

- elektr energetika tizimlari holatlari va parametrlarini boshqarish va rostdash;
- elektr tarmoqlarini loyihalash.

1. Elektr tizim va tarmoqlari to'g'risida umumiy ma'lumotlar

1.1 Elektr tarmog'i va tizimlarining tuzilmasi. Asosiy tushuncha va ta'riflar

Elektr energetika (yoki elektr) tizimi – elektr tarmoqlari yordamida o'zaro tutashib, umumiy ish holatiga ega bo'lgan elektr stansiyalari, nimstansiyalari va iste'molchilari majmuyidir.

Elektr tarmoqlari elektr tizimining bir qismi bo'lib, elektr energiyasini manbadan iste'molchilarga uzatish hamda ular orasida taqsimlash uchun xizmat qiladi. Ular elektr uzatish liniyalari, nimstansiyalar va taqsimlash punktlaridan tashkil topgan.

Elektr energetika tizimi bajaruvchi vazifasi bo'yicha ikki hil – o'zgartiruvchi va uzatuvchi elementlardan iborat. O'zgartiruvchi elementlar yordamida energiya bir turdan ikkinchi turga o'zgartirilsa, uzatuvchi elementlar (havo va kabel liniyalari) yordamida esa masofalarga uzatiladi.

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

Ko'p miqdordagi elektr energiyasini nisbatan uzoq masofalarga faqat yuqori kuchlanishli liniyalar orqali uzatish iqtisodiy jihatdan samaralidir. Kuchlanishni oshirish va kamaytirish uchun o'zgartiruvchi kuch transformatorlari xizmat qiladi¹.

Nimstansiya (NS) - elektr energiyasini o'zgartirish va taqsimlashga muljallangan elektr ob'ekti bo'lib, u transformatorlar, taqsimlovchi uskunalar, boshqarish uskunalari va yordamchi qurilmalardan iboratdir.

NSlar kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi bo'lishi mumkin. Kuchaytiruvchi

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008. 1-2pp.

NSda elektr energiya past kuchlanishdan yuqori kuchlanishga o'zgartirilsa, pasaytiruvchi NSda buning aksi – u yuqori kuchlanishdan past kuchlanishga o'zgartiriladi. Elektr energiyasini qabul qilish va uning kuchlanishini uzgarmasdan taqsimlashga muljallangan nimstansiyalar taqsimlovchi punktlar (TP) deb yuritiladi.

Elektr tarmoqlari bajaruvchi vazifasi, nominal kuchlanishi, sxemasi, iste'molchilarning harakteri bo'yicha turlarga ajratiladi.

Bajaruvchi vazifasi bo'yicha elektr tarmoqlari taqsimlovchi, ta'minlovchi va tizimni hosil qiluvchi tarmoqlarga bo'linali.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlari elektr istemolchilarini ta'minlovchi tarmoqlarning nimstansiyalari bilan tutashtirib, asosan 35 kV gacha nominal kuchlanishda ishlaydi.

Ta'minlovchi elektr tarmoqlari taqsimlovchi elektr tarmoqlarni (ayrim hollarda, bevosita iste'molchilarni) elektr stansiyalari yoki tizimni hosil qiluvchi tarmoqlar bilan tutashtirib, asosan 110 kV va undan yuqori kuchlanishda ishlaydi.

Tizimni hosil qiluvchi elektr tarmoqlari alohida hududlardagi elektr energetika tizimlarini o'zaro tutashtirib, birlashgan tizimni vujudga keltirish uchun xizmat qiladi. Ular asosan 330 kV va undan yuqori kuchlanishda ishlaydi.

Nominal kuchlanishi bo'yicha elektr tarmoqlari 1 kV kuchlanishdagi past, 1 kV– 220 kV kuchlanishdagi yuqori va 330 kV va undan yuqori kuchlanishdagi o'ta yuqori kuchlanishli tarmoqlarga bo'linadi.

Sxemasi bo'yicha elektr tarmoqlari ochiq va yopiq (berk) elektr tarmoqlarga bo'linadi².

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

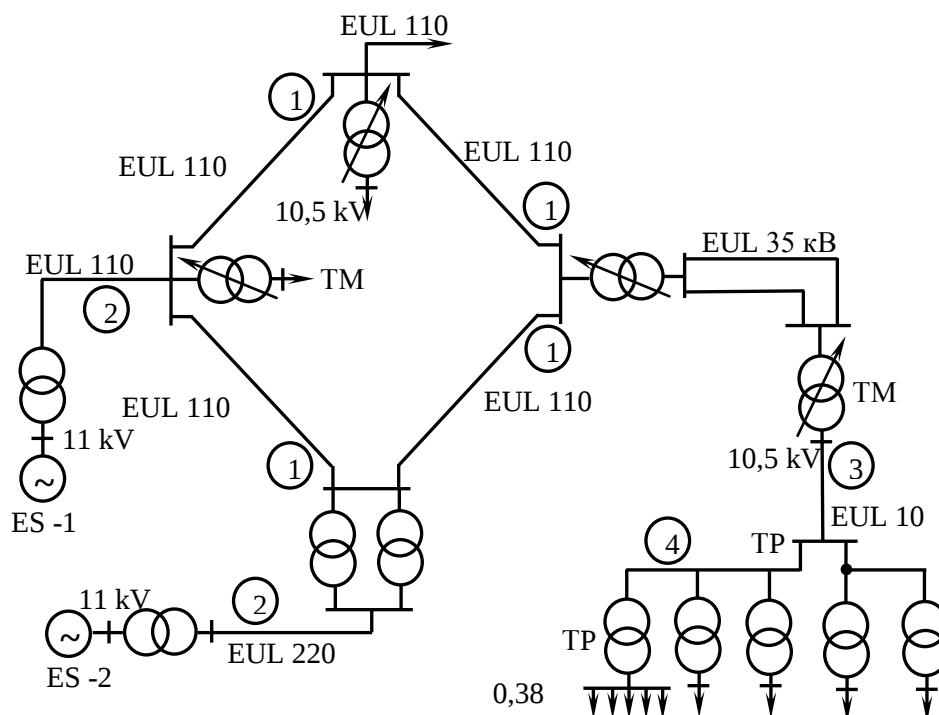
Konturga ega bo'lgan yoki konturga ega bo'lmasda ikki va undan ortiq

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008. 2-3pp.

tomondan ta'minlanuvchi tugunga ega bo'lgan elektr tarmog'i yopiq elektr tarmog'i deyiladi.

Iste'molchilarining harakteri bo'yicha elektr tarmoqlari shahar, qishloq xo'jaligi, sanoat elektr tarmoqlariga bo'linadi.

1.1- rasmda harakterli elektr energetika tizimining elektr tarmoqlari sxemasi keltirilgan.



1.1-rasm. Energetika tizim elektr tarmog'ining shartli sxemasi

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

tarmoqning ta'minlash markazi (TM) sifatida xizmat qiladi³. Ta'minlash markazidan elektr energiyasi taqsimlash punktlariga uzatiladi va shu kuchlanishda elektr uskunalari orasida taqsimlanadi yoki transformator podstansiyalariga uzatiladi. Ko'rilayotgan holatda uzatilgan elektr energiya transformatorlarda past kuchlanishga o'zgartirilib, alohida iste'molchilar o'rtasida taqsimlanadi.

Uzunligi davomida elektr energiyani, TM dan TP ga yoki to'g'ridan to'g'ri podstansiyaga uzatuvchi EUL 3 ta'minlovchi, uzunligi davomida bir necha transformator podstansiyalari, yoki iste'molchi uskunalari ulangan EUL 4 taqsimlovchi EUL hisoblanadi.

Iste'molchilarni ta'minlash sxemasi energiya manbaining uzoqligi, berilgan hududning elektr bilan ta'minlanish sxemasi, iste'molchilar joylashgan hudud, ularning quvvati, elektr energiya bilan ta'minlashning ishonchliligi va boshqa bir nechta qo'yilgan talablarga bog'liq holda tanlanadi.

Tarmoqning tuzilmasi va sxemasini qabul qilish juda murakkab ish bo'lib, u ishonchlilik, tejamkorlik, ishlatishdagi qulaylik, xavfsizlik va keyinchalik rivojlantirish imkoniyati talablariga javob berish shartidan kelib chiqib amalga oshiriladi.

Tarmoqning tuzilmasi elementlarning (ES, NS, liniyalar) o'zaro joylashuvi, tarmoq sxemasi esa – uning asosiy qurish rejasi, iste'molchilarning elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi ishonchlilik darajasi bo'yicha toifalari bilan aniqlanadi.

Elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi ishonchlilik darajasi bo'yicha iste'molchilar uchta toifaga bo'linadi.

1- toifali iste'molchilar elektr energiyasi bilan ikkita bir-biri bilan bog'lanmagan ta'minlash manbalaridan alohida liniyalar orqali ta'minlanishi lozim. Elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi uzilishga ruxsat etiladigan

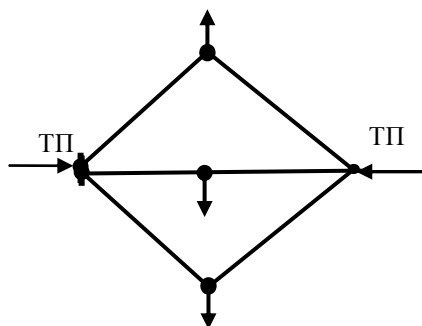
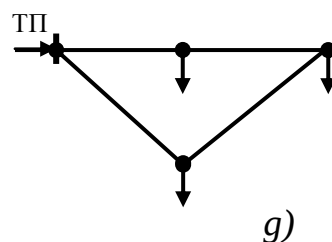
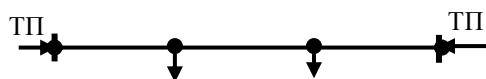
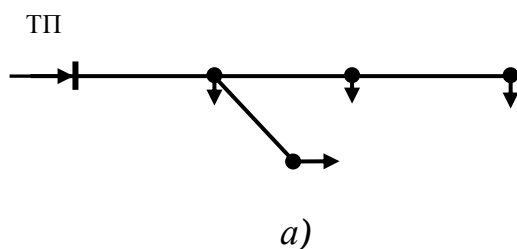
¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008. 4-5pp.

maksimal vaqt davomiyligi faqat zahiralangan ta'minotni avtomatik ulash vaqtiga tengdir. Ko'pgina hollarda ikki zanjirli bitta liniya talab etilgan ishonchlilikni ta'minlay olmaydi, chunki liniyaning muz bilan qoplanganligi, shamol va shunga o'xshash tabiiy hodisalar ta'sirida tayanchning shikastlanishi energiya ta'minotining butunlay uzilib qolishiga olib kelishi mumkin.

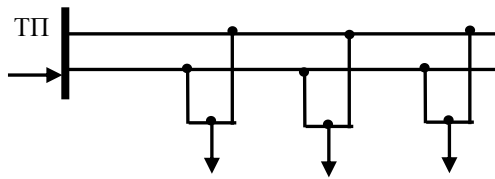
2- toifa iste'molchilarini ko'pgina hollarda ikkita alohida liniyalar yoki ikki zanjirli liniyalar orqali ta'minlash nazarda tutiladi. Bunday elektr iste'molchilari uchun elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi uzilishga ruxsat etiladigan maksimal vaqt davomiyligi bir sutka davomida ikki soatni tashkil etadi. Shu sababli liniyaning shikastlanishini ta'mirlashni uzoq vaqtga cho'zmasdan amalga oshirish mumkin bo'lgan hollarda 2- toifa iste'molchilarini bitta bir zanjirli liniya orqali ta'minlashga ham ruxsat etiladi.

3- toifa iste'molchilari uchun energiya ta'minotini bitta liniya orqali amalga oshirish yetarli hisoblanadi. Bunday elektr iste'molchilari uchun elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi uzilishga ruxsat etiladigan maksimal vaqt davomiyligi 24 soatga teng.

Zahira sifatida qo'shimcha liniya yoki transformator podstantsiyalariga ega bo'lgan elektr tarmog'i zahiralangan, ega bo'lmagan elektr tarmog'i esa zahiralanmagan elektr tarmog'i deb yuritiladi. 1 va 2- toifa iste'molchilarini ta'minlash bo'yicha yuqoridagi talablarga javob beruvchi sxema zahiralangan, 3- toifa iste'molchilarini ta'minlash bo'yicha ko'rsatilgan talablarga javob beruvchi sxema esa zahiralanmagan elektr tarmog'i hisoblanadi.



b)



d)

v)

1.2-rasm. Elektr tarmoqlarning harakterli bir chiziqli sxemalari (TP – transformatorli podstansiya): a) - ikki tomondan ta'minlanuvchi elektr tarmog'i, b) - ikki zanjirli magistral elektr uzatish liniyasi, v) - sodda yopiq (xalqasimon) elektr tarmog'i, g) - murakkab yopiq elektr tarmog'i, d) - bir chiziqli sxemalari

Har bir hududda elektr iste'molchilarining toifalariga va elektr tarmoqning vazifasiga bog'liq holda uning sxemasi turlicha bo'ladi. 1.2- rasmدا elektr tarmoqlarning harakterli bir chiziqli sxemalari, ya'ni ochiq elektr tarmog'i (1.2,a- rasm), ikki tomondan ta'minlanuvchi elektr tarmog'i (1.2,b- rasm), ikki zanjirli magistral elektr uzatish liniyasi (1.2,v- rasm), sodda yopiq (xalqasimon) elektr tarmog'i (1.2,g- rasm) va murakkab yopiq elektr tarmog'ining (1.2,d- rasm) bir chiziqli sxemalari tasvirlangan⁴.

Elektr tarmoqlarini bu kabi tasvirlashda qulaylik uchun ularning bir chiziqli sxemalaridan foydalanilsada, ular uch fazali elektr tarmoqlari ekanligini nazarda tutish lozim.

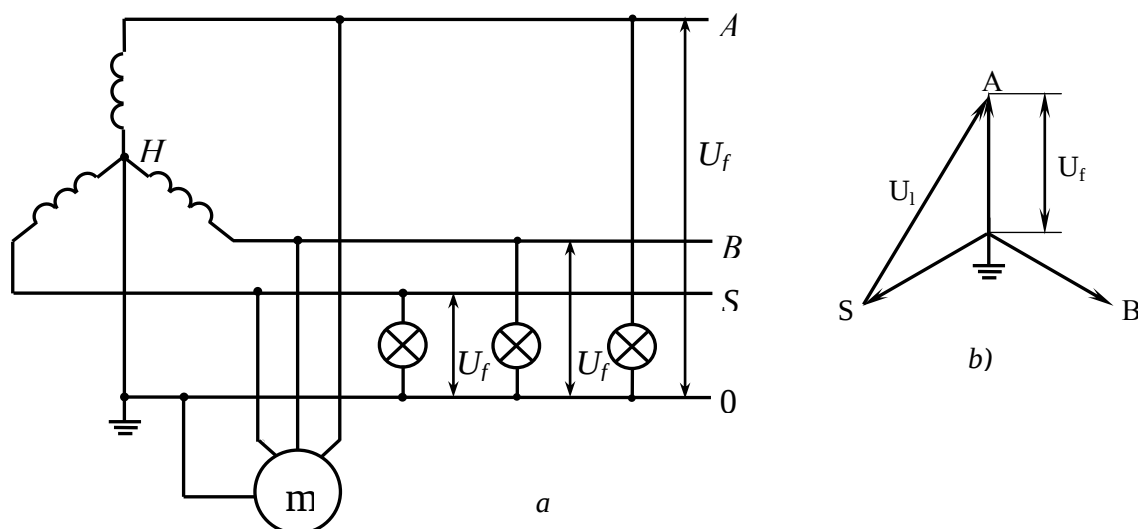
Uch fazali elektr tizimlari bizga ma'lum bo'lgan bir qator afzalliklarga ega bo'lganligi sababli elektr energiyani ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va iste'mol qilishda ulardan keng foydalaniladi.

Ko'p hollarda past kuchlanishli uskunalarni elektr energiyasi bilan ta'minlash uch fazali to'rt simli tizimlar yordamida amalga oshiriladi. Bunda nol simi deb yuritiluvchi to'rtinchi o'tkazgich va uch fazali tizimning betaraf nuqtasi (N) yerga bevosita ulanadi (1.3- rasm)⁵.

Nol o'tkazgichi faza kuchlanishlarida ishlovchi iste'molchilarni, jumladan keltirilgan sxemadagi kabi elektr yoritkichlarni, faza kuchlanishiga ulash va

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

fazalar bir xil yuklanmaganida paydo bo'ladigan nosimmetriya toklarini tenglashtirish uchun ishlatiladi. Hamma fazalar bir xil yuklanganda nol o'tkazgichi orqali tok oqmaydi.



1.3-rasm. Betaraf nuqtasi yerga bevosita ulangan uch fazali to'rt simli o'zgaruvchan tok tizimining sxemasi, b)- vektor diagrammasi

1.3-rasmdagi sxemani 380/220 V nominal kuchlanishda ishlatish maqsadga muvofiq, chunki bunda bir vaqtning o'zida liniya va faza kuchlanishlardan foydalanish qulaydir.

Betaraf nuqtasi yerga bevosita ulanmagan uch fazali uch o'tkazgichli sxema asosan sanoatda, kuch yuklamalarini ta'minlash uchun 660/380 V nominal kuchlanishda qo'llaniladi.

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

Texnika havfsizligi shartlariga asosan hozirgi davrda 220 V dan yuqori kuchlanishda ishlovchi yoritish asboblari ishlab chiqarilmaydi⁶.

Faza kuchlanishlarida ishlovchi elektr iste'molchilari bevosita ulanmaydigan yuqori kuchlanishli tarmoqlarda nol o'tkazgichi kerak bo'lmaydi va shu sababli ular uch o'tkazgichli qilib quriladi.

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

1.2. Elektr sistemasi elementlarining nominal kuchlanishi. Kuchlanishni rostlash 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 (1.1- jadval), o'tkazgich va kabellarning kesim yuzasi, transformatorlarni quvvati, generatorlar va hokazo. Har qanday uskunalarni tanlashda ko'p hollarda kattaroq o'lchamlarga ega bo'lgan standart uskunar tanlanadi. Lekin ba'zan shunday hollar bo'ladiki (ko'pincha iqtisodiy tushunchalar bo'yicha), qachonki kattasini emas, balki yaqin qiymatni tanlash maqsadga muvofiqdir. Masalan, hisoblar bo'yicha kabelni kesim yuzasi 105 mm^2 bo'ldi. Qanday 95 mm^2 yoki 120 mm^2 , kesim yuzasini tanlash kerak. Iqtisodiy hisoblar ko'rsatadiki, 95 mm^2 kesim yuzali kabelni tavsiya etmoq to'g'ri bo'ladi.

1.1- 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.

1.1- jadval

Tarmoqni va iste'molchilarni nominal kuchlanishi		Nominal liniya kuchlanishi			Elektr uskanalarni eng kata ish kuchlanishi
		Generator kuchlanishi	Transformator kuchlanishi		
			Birlamchi chulg'am	Ikkilamchi chulg'am	
Voltda					
220	127	220	220	220	242
330	220	400	380	400	418
660	480	660	660	690	726
Kilovoltida					
3	-	(3,15)	(3) va (3,15)	(3,15) va (3,3)	(3,6)
6	-	6,3	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)	(153) va (165)	(172)
220	-	-	220 va 230	230 va 240	252
330	-	-	330	330 va 247	362
500	-	-	500	525	525
750	-	-	750	737	787
1150	-	-	1150	-	1200

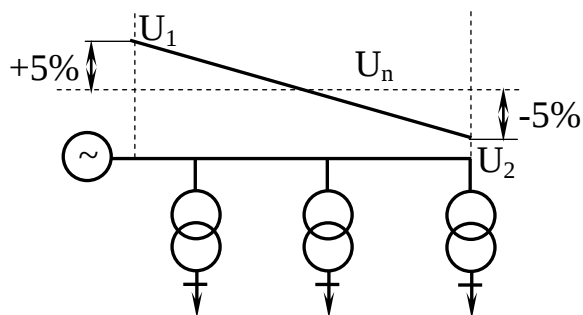
Nominal kuchlanish. Elektr sistemasining uskunalari (generatorlar, transformatorlar, liniyalar va boshqalar) mo'ljallangan nominal kuchlanish bilan harakterlanadi.

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

Iste'molchilarning yuklamalari har doim o'zgarib turganligi tufayli tarmoqning kuchlanshi 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 Gs li uch fazali tok sistemasi kuchlanishi nominal qiymatidan og'ishi (GOST 721-77) $\pm 5\%$ dan katta bo'lmasligi kerak (GOST 13109-87). Bu shuni bildiradiki, uzunligi davomida yuklama taqsimlangan tarmoqning boshidagi kuchlanishi U_1 (1.4 – rasm) nominal kuchlanish U dan 5% ga ortiq oshmasligi, U_2 – liniya ohiradagi kuchlanish esa U dan 5% pastga kamaymasligi kerak⁷.



1.4-rasm. Tarmoq kuchlanishini o'zgartirish grafigi

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

Tarmoqning nominal kuchlanishi deb, uning oʻrtacha kuchlanishi qabul qilinadi.

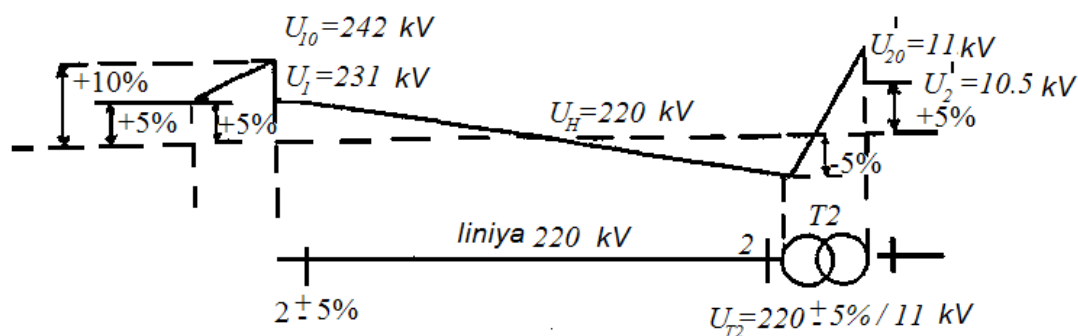
$$U_n = \frac{U_1 + U_2}{2}$$

Shunday qilib, tarmoqni nominal kuchlanishi elektr isteʼmolchilarini nominal kuchlanishiga tengdir.

Generatorlarni nominal kuchlanishi tarmoqda boʻladigan kuchlanish yoʻqotilishini hisobga olib tarmoq kuchlanishidan 5% ga yuqori qilib olinadi.

Transformatorlarni nominal kuchlanishi salt yurish holatida ularni birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlari uchun olinadi. Transformatorni birlamchi chulgʻami elektr energiyani qabul qiladi va shuning uchun kuchaytiruvchi transformatorlarda nominal kuchlanish generatorning nominal kuchlanishiga (1.5-rasm), pasaytiruvchida esa tarmoqning nominal kuchlanishiga teng. U yoki bu kuchlanishli tarmoqni taʼminlovchi ikkilamchi choʻlgamning kuchlanishi yuklama vaqtida, tarmoq kuchlanishidan 5% ga yuqori boʻlishi kerak.

Ammo, yuklama ostida transformatorning oʻzida ham kuchlanish yoʻqolishi boʻlganligi sababli ikkilamchi chulgʻamning nominal kuchlanishi (yaʼni salt ishlash kuchlanishi) tarmoq kuchlanishidan 10% ga yuqori holda olinadi. Bu quvvati 630 kVA va undan kichik transformatorlardan tashqari hamma transformatorlarga tegishlidir. Bunday transformatorlar uchun esa taʼminlovchi tarmoqning kuchlanishi tarmoqning nominal kuchlanishidan 5% ga yuqori holda olinadi.



1.5-rasm. Tarmoq ayrim nuktalarida kuchlanishning oʻzgarishi

Buni tushuntirmoq uchun 1.5-rasmda ikki, 220 kV va 10 kV kuchlanishli tarmoq berilgan va uni uchastkalaridagi haqiqiy kuchlanishini grafik tasviri kattaroq aniqlik uchun bir bazis kuchlanishi U_b masshtabida keltirilgan.

Kuchlanishni bir bazis kuchlanishi U_b ga keltirish uchun keltirilmoqchi bo'lgan kuchlanish U_b/U_n ga teng bo'lgan transformatsiya koeffitsientiga ko'paytiriladi. Punktir bilan o'tkazilgan gorizontal liniya butun tarmoqni U_b ga keltirilgan nominal kuchlanishni tasvirlaydi⁸.

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 $U_1=231$ kV. Bu esa tarmoq uchun uning nominal kuchlanishidan yuqori kuchlanishni ta'minlaydi. Pasaytiruvchi transformatorni 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 $U_2'=11$ kV. Shunday qilib, transformator T-2 ni birlamchi chulg'amiga 220 kV kuchlanish berilganda, uning ikkilamchi chulg'amini qisqichlaridagi kuchlanish yuklama ta'sirida $U_2'=10,5$ kV ga teng, ya'ni transformatorga ulangan 10 kV li tarmoqning nominal kuchlanishidan 5%. ga yuqori bo'ladi.

Ammo, 1.5- rasmdan ko'rinadiki, T-2 ning birlamchi chulg'amiga uzatib berilgan kuchlanish $U_2 = 209$ kV ga teng, ya'ni tarmoqlardagi kuchlanish yo'qotilishi 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'molchilarni qisqichlaridagi kuchlanishni mumkin bo'lgan qiymatlaridan og'ishi tarmoqning ko'rsatkichlari pasayishiga olib keladi. Energetika sistemasidagi elektr tarmoqlarining energiya

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

o'tkazuv qobiliyati, iqtisodiyligi va iste'molchilarga yetkazib berilayotgan energiya sifati shu tarmoqlar kuchlanishining qiymatiga bog'liqdir.

Elektr iste'molchilarini kerakli kuchlanish bilan transformatsiya koefitsientini o'zgartirish, tarmoq elementlaridan oqayotgan reaktiv quvvat qiymatini, ayrim elementlar qarshiliklarini o'zgartirish kuchlanishning qiymati hisobiga ta'minlanishi mumkin⁹.

Generatorlar yordamida kuchlanishni rostlash, generator imkoniyatiga ega bo'lgan kuchlanishni rostlash diapazoni oraligida avtomatik qo'zg'atish rostlagichlari (AQR) yordamida amalga oshiriladi. Rostlash qonuniyatini eng afzal kuchlanishining qiymatiga 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)ga kuchlanishni rostlash transformatsiya koefitsientini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi, buning uchun transformatorlar (avtotransformatorlar) ga o'ramlar sonini o'zgartirishga imkon beruvchi maxsus moslama o'rnatiladi. Bu uskunalarga bog'liq holda rostlashni yuklama ostida (yuklama ostida rostlash yu.o.r.), shuningdek yuklamani uzib ham (ko'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 quvvatni kompensatsiya qilib, manbadan iste'molchilarga oqayotgan reaktiv quvvatni kamaytiradi va buning hisobiga esa tarmoqdagi kuchlanish yo'qotilishi kamayadi.

Sinxron dvigatellar avtomatik qo'zg'atish rostlovchi (AQR) bilan ta'minlangan bo'lsa kuchlanishni rostlash uchun qo'shimcha vosita sifatida ishlatilsa bo'ladi. AQRni narxi (qimmat bo'lganligi uchun kichik quvvatlik

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

dvigatellarni kuchlanishni avtomatik rostlashda qo'llash, maqsadga muvofiq emas. Qoidaga asosan, bunday dvigatellarni reaktiv quvvatni o'zgarmas miqdorda generatsiya qilishda ishlatish iqtisodiy foydalidir.

Statik kondensatorlar qo'ndalangiga ulangan rostlovchi kompensatsiya uskunalarida reaktiv quvvatni kompensatsiyalashdan tashqari mahalliy tarmoqqa kuchlanish rostlashini ham ta'minlaydi. Ular sinxron kompensatorlarga qaraganda kapital harajatlar bo'yicha, hamda ishlatish harajatlari buyicha iqtisodiydir¹⁰.

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

Har qanday elektr tarmog'i, uning uskunalari (generator, transformator, liniya va boshqalar) mo'ljallangan nominal kuchlanish (U_n) bilan ifodalanadi. Nominal kuchlanish iste'molchilarning normal ishlashini ta'minlashi va eng yuqori iqtisodiy samara berishi lozim.

Iste'molchilar yuklamasi vaqt bo'yicha o'zgarishi sababli, tarmoqning har qanday nuqtasidagi kuchlanish nominal qiymatdan og'adi (1.6-rasm). Bu og'ish V energiya sifatini pasaytiradi, natijada ziyon keltiradi.

Ko'pincha, liniya boshidagi kuchlanish U_1 oxiridagi kuchlanishdan U_2 yuqori, chunki liniya orqali oqayotgan tok kuchlanish yo'qotilishini $\Delta U = U_1 - U_2$ hosil qiladi. Shuning uchun iste'molchidagi kuchlanishni U_2 tarmoq kuchlanishining nominal qiymatiga U_{nt} yaqinlashtirish va liniya oxirida energiya sifatini ta'minlash uchun generator kuchlanishi U_{ng} tarmoq kuchlanishiga U_{nt} nisbatan 5% ga yuqori, transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi nominal kuchlanish esa

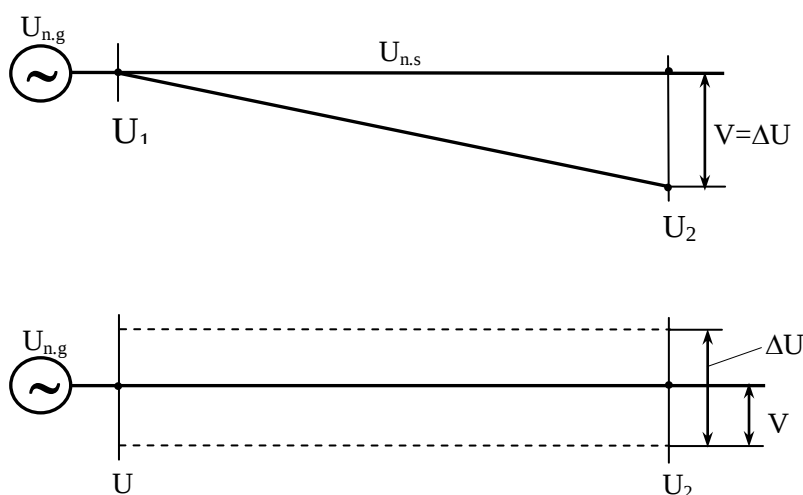
¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

$$U_{n.s.} = \frac{U_1 + U_2}{2}$$

U_{nt} ga nisbatan 5-10% ga yuqori (transformatorning o'zida taxminan 5% yo'qotiladi) olinadi.

$$U_{n.t.} = \frac{U_1 + U_2}{2}$$

Demak, tarmoq va iste'molchilarning nominal kuchlanishlari: 6, 10, 35, 110, 220, 500, 750 kV (O'zbekistonda 750 kV dan tashqari, hammasi ishlatiladi).



1.6.-rasm. Kuchlanish og'ishi va uni rostlash

Generator va sinxron kompensatorlarning nominal kuchlanishlari: 6,3; 10,5; 22 kV. Transformatorlarning ikkilamchi chulg'aming nominal kuchlanishlari: 6,3 va 6,6; 10,5 va 11; 22; 38,5; 115 va 121; 230 va 242 kV.

Past kuchlanishli (1000 V gacha) tarmoqlarda fazalar orasidagi (surati) va fazali (maxraji) nominal kuchlanishlar quyidagicha qabul qilingan:

-tarmoq va iste'molchilar uchun - 220/127; 380/220; 660/380 V

-manbalar uchun - 230/133; 400/230; 690/400 V

220/127 va 230/133 kuchlanishlar iqtisodiy nuqtai nazaridan tavsiya qilinmaydi.

Elektr iste'molchilarning qisqichlaridagi tugunlaridagi kuchlanishni

mumkin bo'lgan qiymatlaridan og'ishi tarmoq ko'rsatkichlarini pasayishiga olib keladi. Energetika sistemasidagi elektr tarmoqlari kuchlanishining darajasiga shu tarmoqlarning energiya o'tkazuv qobiliyati, iqtisodiyligi va iste'molchilarga etkazib berilayotgan energiyani sifati bog'liqdir.

Elektr iste'molchilarini kerakli kuchlanish bilan ta'minlash generator kuchlanishini rostdash, transformatorlarning transformatsiyalash koefitsientini o'zgartirish, tarmoq elementlaridan oqayotgan reaktiv quvvat qiymatini va ayrim elementlar qarshiliklarini o'zgartirish hisobiga amalga oshirilishi mumkin.

Generatorlar yordamida kuchlanishni rostdash, generator imkoniyatiga ega bo'lgan kuchlanishni rostdash diapazoni oralig'ida avtomatik qo'zg'atish rostdagichlari (AQR) yordamida amalga oshiriladi.

Transformatorlar (avtotransformatorlar)da kuchlanishni rostdash transformatsiya koefitsientini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi, buning uchun ularga o'ramlar sonini o'zgartirishga imkon beruvchi maxsus moslama o'rnatiladi. Bu transformatorni o'chirib yoqish Yu.O.R. (yuklama ostida rostdash) uskunasi yordamida amalga oshirilishi mumkin.

Yu.O.R. li transformatorlar Q.Q.U. lilarga nisbatan ancha qimmat bo'lgani uchun, ular asosan yuqori kuchlanishli taqsimlovchi tarmoqlarni ta'minlaydigan qabul qiluvchi podstantsiyalarda qo'llaniladi¹¹.

Sinxron kompensatorlar asosan qo'shimcha reaktiv quvvat manbai sifatida ishlatishga mo'ljallangan, lekin ularni kuchlanishni rostdash uchun ham qo'llash mumkin. Bu vazifani sinxron dvigatellar va statik kondensatorlar bajarishi mumkin. Bunda, ular ko'ndalangiga reaktiv quvvatni kompensatsiya qilib, manbadan iste'molchilarga oqayotgan reaktiv quvvatni kamaytiradi va buning hisobiga esa liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi kamayadi. Statik kondensatorlar sinxron kompensatorlarga qaraganda kapital harajatlar hamda ishlatish harajatlari bo'yicha arzonidir.

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

Statik kondensatorlarni liniyaga bevosita ulash (ya'ni bo'ylama ulash) tarmoqning reaktiv qarshiligini, demak liniyada kuchlanish yo'qotilishini kamaytirishga imkon beradi.

1.3. Har xil kuchlanishli elektr tarmoqlarining betaraf nuqtasini ish holati

Chulg'amlariga elektr tarmoqlari ulangan uch fazali transformatorlarning betaraf nuqtasi yerga ulangan (bevosita yoki sig'imiga moslashtirilgan induktiv qarshilik orqali yoki transformatorlari orqali) yoki betaraf nuqtasi yerdan ajratilgan bo'ladi.

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

Betaraf nuqta 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 betaraf nuqta yerdan izolyasiya qilingan nuqta deyiladi. Shu holatda ishlagan tarmoqlar esa betaraf nuqtasi yerdan izolyasiya qilingan tarmoqlarga tegishlidir¹².

Betaraf nuqta yerga tarmoqning sig'im toklarini kompensatsiya qiluvchi moslamalar orqali ulangan bo'lsa, bunday tarmoq betaraf nuqtasi kompensatsiyalangan tarmoq deyiladi.

Bir fazali yerga tutashuvda elektr tizimlarining simmetriyali holati buziladi; yerga nisbatan fazalar kuchlanishi o'zgarib, yerga ulanish toki hosil

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

bo‘ladi va tarmoqlarda kuchlanishni o‘zgarish holati paydo bo‘ladi. Simmetriyaning o‘zgarish darajasi betaraf nuqtaning holatiga, ya’ni uning yerga ulanish usuliga bog‘liq.

1000 V kuchlanishgacha bo‘lgan elektr tarmoqlarida betaraf nuqtaning holati elektr tarmoqlarida xizmat qiluvchi xodimlarning havfsizligini ta’minlash bilan, yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlarida esa, uzluksiz elektr bilan ta’minlash, elektr qurilmalarining ishonchli va tejamkorligi bilan asoslanadi.

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

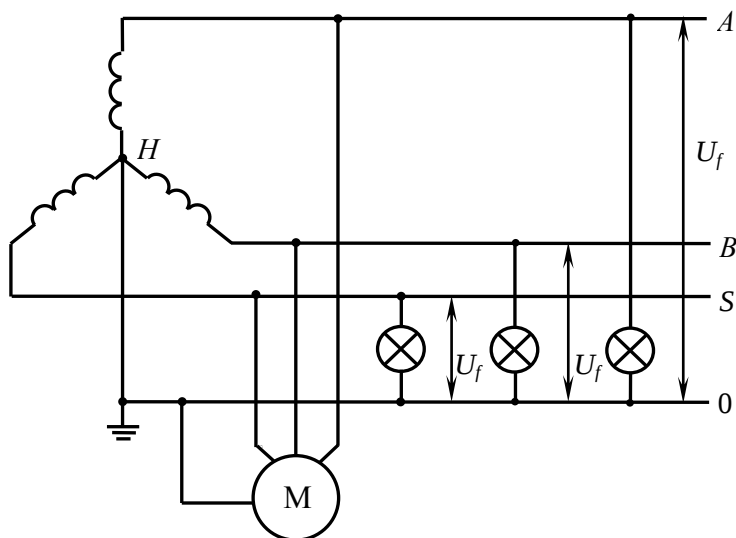
1000 V kuchlanishgacha bo‘lgan elektr tarmoqlari. “Elektr uskunalarininig tuzilishi qoidolari” (EUTQ)ga ko‘ra, 1000 V kuchlanishgacha bo‘lgan elektr tarmoqlarida betaraf nuqtasi to‘g‘ridan to‘g‘ri yerga ulangan yoki ulanmagan (yerdan izolyasiya qilingan) bo‘ladi¹³.

Shuning uchun bu tarmoqlar betaraf nuqtasi bevosita yerga ulangan (to‘rt o‘tkazgichli) yoki yerdan ajratilgan (uch o‘tkazgichli) qilib bajarilgan bo‘ladi. To‘rt o‘tkazgichli elektr tarmoqlarida kuchlanish 380/220 yoki 220/127 V (1.7-rasm) qilib belgilanadi, bunda surat liniya kuchlanishiga (elektr motorlarni ulash uchun), mahraj esa faza kuchlanishiga (yoritgich yuklamalari uchun) taalluqlidir.

Elektr xavfsizligi uchun motorning korpusi va boshqa metall qismlar yerga ulanadi. Har bir fazani yerga ulanishi qisqa tutashuvga olib keladi, shu fazadagi saqlagich kuyadi va tarmoqni shikastlanishdan saqlaydi.

Nol o‘tkazgichsiz, uch fazali 220 V kuchlanishli elektr tarmoqlari ham bor. Bu tarmoqlarda betaraf nuqta yerdan izolyasiya qilingan bo‘lib, faza o‘tkazgichini yerga tegishi qisqa tutashuvga olib kelmaydi va iste’molchilarni elektr energiya bilan ta’minlanishi uzilmaydi.

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.



1.7-rasm. Betaraf nuqtasi yerga bevosita ulangan uch fazali to'rt simli sxemasi

Bunday tarmoqlarda biror faza yer bilan ulanib qolsa, unda boshqa fazalardagi kuchlanish yerga nisbatan $\sqrt{3}$ marta oshadi (1.8-rasm). Bu esa ishlayotgan odamlar uchun havf keltiradi. Shuning uchun betaraf nuqtasi yerdan ajratilgan elektr tarmoqlarda izolyasiyaning holatini doimo kuzatib turish va shikastlangan fazani tezda tuzatish yoki avtomatik ravishda uzish kerak.

Yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlari. Yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlarida (1000 V dan yuqori) betaraf nuqta yerga ulangan, yerdan izolyasiya qilingan, yoki kompensiyalangan bo'ladi.

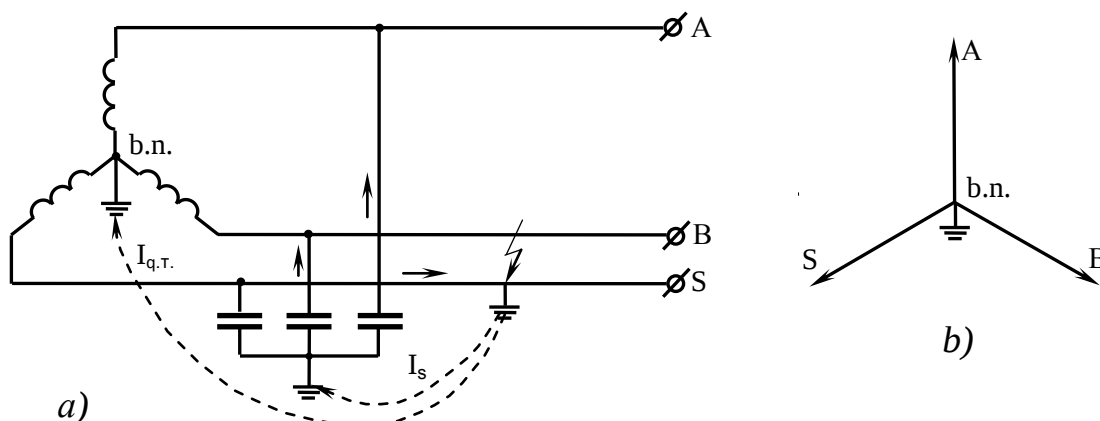
Betaraf nuqtasi bevosita yerga ulangan elektr tarmoqlari yerga tutashuv toki (faza o'tkazgichi yerga tegib qolgan joydagi tok) juda kata bo'lgan ($I_{k.t.} > 500$ A) tarmoqlarga tegishli (1.8-rasm).

Haqiqatdan ham, normal holatda tarmoqda yuklanish toklaridan tashqari uch fazali o'tkazgichlar orasida sig'im toklari I_s ham oqadi. Uch fazali sistema simmetriyali bo'lganda, $I_{s=0}$ va betaraf nuqta orqali tok oqmaydi¹⁴.

Agarda bironta faza yerga ulanib qolsa (qo'pincha uchraydigan holat), masalan faza S, tok yerga ulangan joydan betaraf nuqtaga oqadi (shtrixlangan liniya). $I_{q.t.}$ juda katta, chunki yerning tok oqishiga bo'lgan qarshiligi kichik.

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

Shuning uchun faza o'tkazgichini yerga, ulanib qolishi (tegib qolishi) betaraf nuqtasi bevosita



1.8-rasm. Betaraf nuqtasi yerga bilan ulangan tarmoq cxemasi (a) va uning vector diagrammasi (b)

yerga ulangan tarmoqlarida qisqa tutashuvga olib keladi va elektr tarmog'i saqlagich orqali uziladi. Bunda bir tarafdin ta'minlanayotgan avtomatik qayta ulash (AQU.) uskunasi ishlaguncha yoki shikastlangan joy tuzatilguncha elektr energiya bilan ta'minlanmaydi. Sig'imning qarshiligi juda katta bo'lgani sababli shikastlangan sig'imga oqayotgan tok I_s qisqa tutashuv toki $I_{q,t}$ ga nisbatan juda kichik va iste'molchilarga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatmaydi¹⁵.

Betaraf nuqtasi yerdan izolyasiya qilingan elektr tarmoqlari yerga ulanish toki kichik bo'lgan elektr tarmoqlarga tegishli.

Biror faza yerga ulanib qolsa, masalan faza S, tok faza yer bilan tutashgan joydan shikastlanmagan fazalar sig'imiga va keyin tarmoqlardan betaraf nuqta orqali shikastlangan joyga oqadi (1.9,a -rasm).

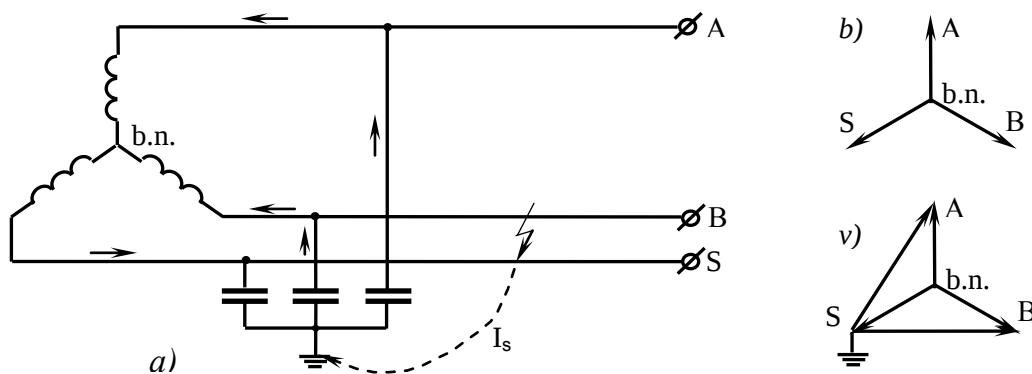
Bu toklar katta emas. Biror fazaning yer bilan tutashuvi qisqa tutashuv bo'lmay, odatda liniya uzilmaydi, iste'molchi ish holatida qolib, uni zahiralangan ta'minotga o'tkazguncha, bir necha soat ishlab turishi mumkin.

1.9,b-rasmda normal turg'un holat uchun vektor diagrammasi ko'rsatilgan. Iste'molchi liniya kuchlanishga ulangan betaraf nuqta va yer

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

potensiallari simmetriyali sistemada barobar bo‘ladi. Izolyasiyaga ta’sir ko‘rsatadigan kuchlanish - bu faza va yer orasidagi kuchlanishdir.

Masalan, S fazasi yer bilan tutashdi. Iste’molchining kuchlanishi o‘zgarmaydi, u liniya kuchlanishida qoladi. Biroq fazadagi kuchlanish oshadi. Haqiqatdan, agarda normal holatda



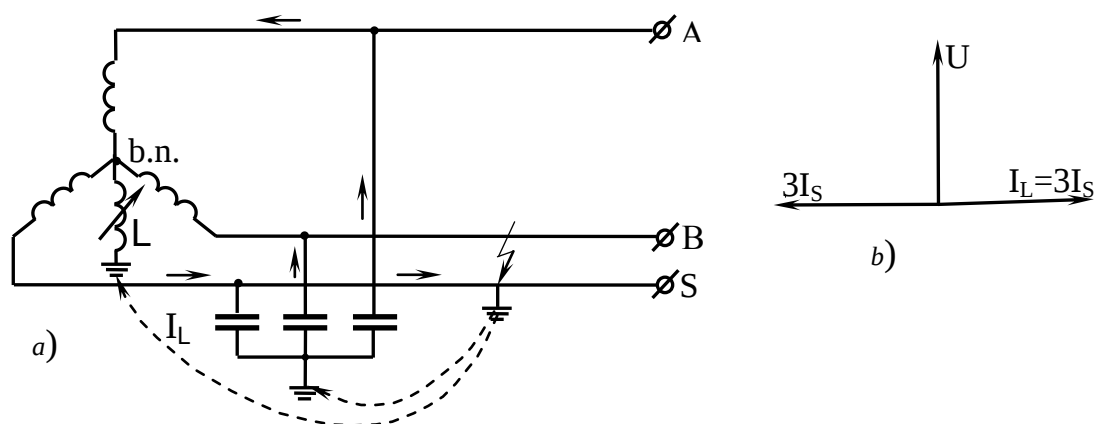
1.9- rasm. Betaraf nuqtasi yerdan izolyatsiya qilingan tarmoqning sxemasi (a), normal holatdagi vektor dajagrammasi (b) va bir faza yer bilan tutashgan holatdagi vektor diagrammasi (v)

izolyasiya faza kuchlanishi ta’sirida bo‘lsa (faza va yer orasi), faza S yer bilan tutashganda "yer" S nuqtaga suriladi (1.9,v-rasm) va masalan, A faza va yer orasidagi kuchlanish liniya kuchlanishiga teng bo‘ladi, ya’ni $\sqrt{3}$ marta oshadi $(\sqrt{3}U_f)^{16}$.

Shunday qilib, betaraf nuqtasi yerdan izolyasiya qilingan sistemada biror fazani yer bilan tutashuvi iste’molchini o‘chirilishiga olib kelmaydi. Lekin izolyasiya $\sqrt{3}$ marta kattaroq kuchlanishni ko‘tarishga mo‘ljallangan bo‘lishi kerak. Betaraf nuqtasi kompensatsiyalangan elektr tarmoqlari yerga ulanish toki kam bo‘lgan elektr tarmoqlariga tegishlidir. Bunday elektr tarmoqlarining betaraf nuqtasiga yer bilan tutashgan yoy so‘ndiruvchi sig‘im toklarini kompensatsiyalaydigan (qarama-qarshi yo‘nalgan) elektr g‘altagi joylashtiriladi (1.10,a-rasm). Simmetrik sistemada betaraf nuqta va yer potentsiali bir xil bo‘lgani uchun g‘altakka tok oqmaydi. U faqat faza sig‘imlari orasida oqadi

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

(ba'zan sig'imlarning bir xil emasligi tufayli $I_s \neq 0$ bo'ladi va uncha katta bo'lmagan tok g'altak orqali oqishi mumkin).



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

qilingan elektr tarmoqlaridagi kabi qolgan ikki shikastlanmagan fazaning yerga nisbatan kuchlanishi $\sqrt{3}$ marta oshadi, betaraf nuqta bilan yer orasidagi kuchlanish esa faza kuchlanishga teng bo'lib qoladi. Bu kuchlanishlar orasidagi farq tufayli tok shikastlangan joydan g'altakka va bir vaqtning o'zida shikastlanmagan faza sig'imlarida (I_s) oqadi¹⁷. Faza o'tkazgichi yer bilan tutashgan joydagi tok I_L va I_s toklari yig'indisidan iborat bo'ladi. I_L -induktiv, I_s - sig'im harakteriga egadir, bu toklar bir biriga qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib, bir birini kompensatsiya qiladi (1.10-rasm). Shikastlangan joyda hosil bo'lgan elektr yoyi ancha kamayadi va so'nadi, chunki g'altak induktivlikdan tashqari aktiv qarshilikka ham egadir. Shuning uchun, vektor diagrammadan ko'ringanidek I_s 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 tokining 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 izolyasiya shikastlanishi mumkin.

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

Betaraf nuqtani 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 kuchlanishlarining oshish ehtimoli juda kamdir. Bunday tarmoqlarda bir fazaning yerga tutashuv toki 50 A dan oshmaydi.

Betaraf nuqtasi yer bilan bevosita ulangan elektr tarmoqlari O‘zbekistonda 110 kV va undan yuqori kuchlanishda ishlatiladi (110 kV li elektr tarmoqlarida faqat bir qism transformatorlarni betaraf nuqtasi yer bilan ulanadi; 220, 330 kV va undan yuqori kuchlanishda hamma transformatorlarning betaraf nuqtasi yer bilan ulanadi).

Betaraf nuqtasi yerdan ajratilgan elektr tarmoqlari 35 kV kuchlanishgacha ishlatiladi. Betaraf nuqtasi kompensatsiyalangan (yerga tutashuv toki kichik bo‘lgan kabel va havo tarmoqlari) elektr tarmoqari ham 35 kV gacha bo‘lgan kuchlanishda ishlaydi.

1.4. Iste’molchilar yuklamasi, yuklamalar grafigi

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

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

Iste’molchilar yuklamasi o‘zgarmas qiymatga ega bo‘lmay, balki u vaqt, oy, yil davomida 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 televizorlarning o‘zi 1940 inchi yillarda bo‘lgan mamlakatdagi hamma elektr stansiyalarning quvvatiga teng quvvatni iste’mol qiladi.

Elektr energiyaning iste’mol qilish tartibi energetika uskunalari, ES, EUL

va transformator podstantsiyalarining ishlash tartibiga bog'liqdir.

Elektr yuklamalari grafigi deb, absissa o'qida vaqt va ordinata o'qida esa yuklama o'lchamida, tokda yoki yuklama maksimumiga nisbatan foizda qo'yilgan grafikga aytiladi va bu qandaydir bir keltirilgan vaqt davomida elektr energiyani qabul qilingan miqdori haqida ma'lumot beradi.

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

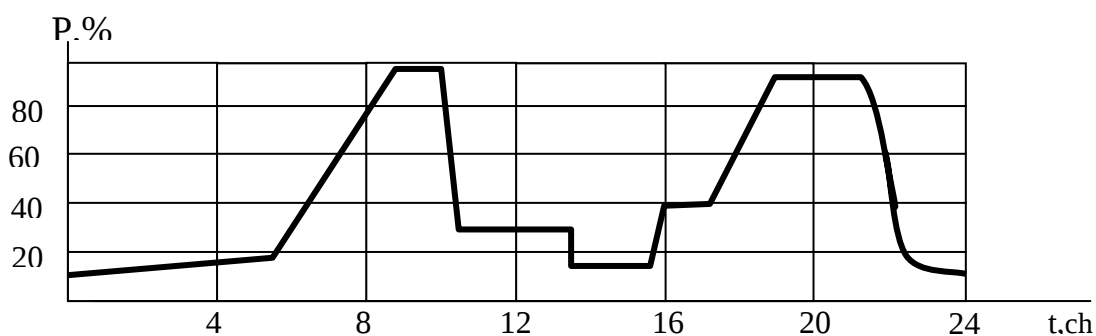
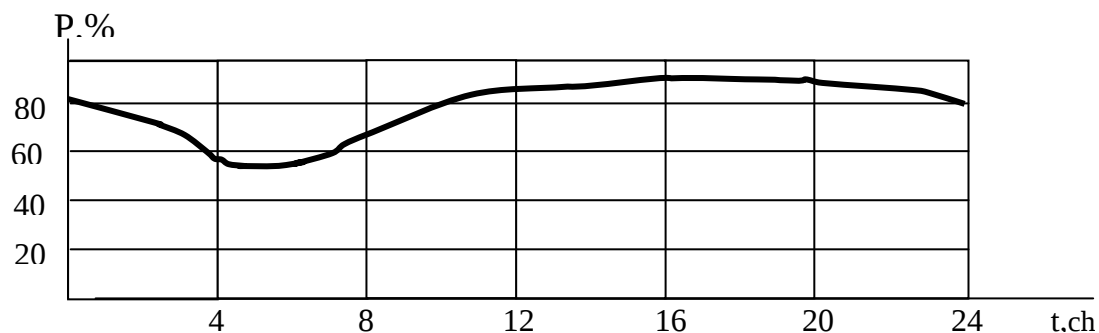
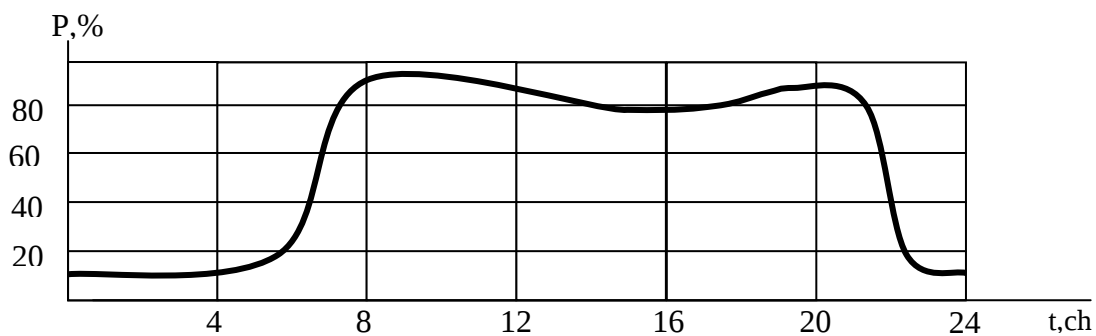
Sanoat iste'molchilari yuklamalar grafigining turlari ishlab chiqarishdagi texnologiya jarayonlarining xususiyatlariga bog'liq. Kommunal-maishiy korxonalarning yuklamalar grafigi yorituv uskunalari tufayli o'ziga xos to'satdan o'zgaruvchan harakterga egadir.

Masalan 1.11,a,b,v-rasmlarda mashinasozlik zavodining (a), kimyoviy ishlab chiqarishning (b), maktab yoki institutning (v) grafiklari keltirilgan.

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

Kimyoviy ishlab chiqarishda, yuklama sutka davomida maksimal qiymatga yaqindir, maktabda esa ertalab 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 rayonlarni elektr ta'minot grafigi va umuman energetika sistemalarining grafigi tuziladi¹⁸. Yuklamalar grafigi tarmoqlarni hisoblashda dastlabki zarur ma'lumot hisoblanadi. Energiya iste'molchisining tuzilishi (xususiyatlari) va elektr yuklamalarining qiymatlari ehtimollik harakteriga egadir, shuning uchun hisoblangan (oldindan rejalangan) grafiklar haqiqiy grafiklardan ko'pincha farq qiladi.

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.



1.11-rasm. Iste'molchilarning har xil shakllardagi yuklamalari grafigi

1.5. Elektr tarmoqlariga qo'yiladigan asosiy talablar

Elektr tarmoqlari elektr energiyani ishlab chiqariladigan joydan elektr iste'molchilari joylashgan joyga uzatishga va elektr iste'molchilari o'rtasidagi taqsimlashga xizmat qiladi. Bunda elektr tarmoqlariga quyidagi beshta asosiy talablar qo'yiladi: ishdagi ishonchliligi, sifati, tejamkorlik (iqtisodiylik), xavfsizlik va ishlatish qulayligi, keyinchalik kengaytirish imkoniyati mavjudligi.

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

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

Birinchi kategoriyaga shunday elektr iste'molchilar kiradiki, agarda ularning elektr ta'minoti uzilib qolsa, odamlar hayotiga xavf tug'ilishi, xalq xo'jaligiga katta zarar etkazilishi, texnika uskunalarini shikastlanishi, ommaviy ravishda yaroqsiz maxsulot ishlab chiqarilishi, murakkab texnologiya jarayonlari ishdan chiqishi va shahar xo'jaligining muhim elementlari buzilishi mumkin¹⁹.

Ikkinchi kategoriyaga shunday iste'molchilar kiradiki ularning elektr ta'minoti uzilishi korxonalarining maxsulotini 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 olishi kerak. Mustaqil deb boshqa manbalarda kuchlanish yo'qotilganda ham o'zida shunday kuchlanishni saqlab qoluvchi manbaga aytiladi.

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

Birinchi kategoriyali iste'molchilar uchun elektr ta'minotida 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'minoti to'xtab qolsa, odamlar hayoti xavf ostida qolishi, uskunalar ishdan chiqishi va portlash sodir

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

bo'lishi mumkin. Bunday iste'molchilar uchun albatta quvvati o'chirib bo'lmaydigan iste'molchilar quvvatiga teng uchinchi manba (avariyaga oid) kerak. Ikkinchi kategoriyali iste'molchilar uchun elektr ta'minotini mumkin bo'lgan uzilib qolish qisqa vaqtni, navbatchi xodim orqali yoki harakatdagi brigada yordamida zaxiralangan manbani ulash vaqtiga teng. Havo liniyalarini yuqori ishonchlili 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'minotining ishonchliligi zaxira qo'yishdan tashqari rele himoyasi va avtomatik uskunalarning ishlashiga bog'liq.

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'ining shakli bilan belgilanadi²⁰.

Kuchlanishning qiymati. Kuchlanishni kerak bo'lgan qiymatdan kamayishi yoki oshishi maqsadga muvofiq emas. Kuchlanishning 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 kuchlanishning kamayishi yorug'likning kamayishiga va boshqa noxush holatlarga olib keladi. Kuchlanishni oshishi lampaning xizmat muddatini kamaytiradi. Shunday qilib, kuchlanishning oshishi ham, kamayishi ham iqtisodiy chiqimga olib keladi. Eng kam iqtisodiy yo'qotish eng maqbul kuchlanishda bo'ladi. Uskunalar shunday

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

tuzilgan bo'lishi kerakki nominal kuchlanish maqbul kuchlanishga teng bo'lsin.

Buni asinxron motorlar misolida ham ko'rish mumkin.

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

Chastota qiymati. Chastotani o'z qiymatidan og'ishi motorlarning va ular bog'langan qurilmalarning aylanish tezligini o'zgarishiga olib keladi. Bu esa texnologik jarayonlarning buzilishiga olib kelishi mumkin, shuning uchun, hozirgi vaqtda chastotani mumkin bo'lgan og'ish darajasi faqatgina 0,1 Gs qilib qabul qilinadi²¹.

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. Simmetriyaning buzilishi bir fazali teng bo'lmagan yuklamalar mavjudligi, fazalardagi parametrlarni nosimmetrik bo'lishi sababli kelib chiqadi.

Simmetriyani buzilishi teskari va nol ketma-ketlikni yoki ularning ikkalasini ham bir vaqtning o'zida paydo bo'lishiga olib keladi. Kuchlanishning teskari ketma-ketligi tokning teskari ketma-ketligini keltirib chiqaradi. Bu esa, o'z navbatida, uch fazali motorlar harakatiga qarshilik (tormoz) qiladi, quvvat isrofini ko'paytiradi, generator rotorlarining hosil qilgan teskari magnit maydoni ketma-ketligi orqali qo'shimcha qizdiradi.

Kuchlanishning nol ketma-ketligi ham quvvat isrofini oshiradi, qo'shni aloqa liniyalariga zararli ta'sir etadi. Nol ketma-ketlik toklari esa, yerda oqaturib yer ostidagi inshootlarni korroziyaga (chirishga) olib keladi. Bundan tashqari normal hollarda tok va kuchlanishlarning nol ketma-ketliklarining bo'lishi rele himoyasini nosimmetrik qisqa tutashuv paytida tanlab ishlash

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

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‘ining sinusoidadan og‘ishi generatorlarni elektr yurituvchi kuchlari sinusoidal bo‘lmagani, sistemada noxiziqli elementlarning mavjudligi sababli (masalan, to‘yingan po‘lat o‘zaklari, yarim o‘tkazgichlik tok o‘zgartuvchi uskunalar va hokazo) kelib chiqadi²².

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

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

Shunday variant optimal hisoblanadiki, bunda “kumulyativ harajat” eng kam bo‘lishi kerak.

Xavfsizlik va ishlatish qulayligi. Ishchi xodimlarni va boshqa odamlarni 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 o‘tkazgichlarini kuchlanishiga qarab

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

yerdan belgilangan balandlikda tayanchlarda tortiladi.

Havfsizlikdan 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 uskunalari, avariya transporti va boshqalar ko'zda tutiladi²³.

Keyinchalik kengaytirish, "rivojlanish" imkoniyati mavjudligi. Elektr tarmoqlarida yuklamalarning o'zgarishi va ketma-ket yangi iste'molchilarning 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 yil 5-6% yangi elektr tarmoqlari ishga tushiriladi. Sistemalarni shunday loyihalash kerakki, ular mavjud stansiyalar, podstansiyalar, tarmoqlar va boshqa qurilmalardan to'la foydalanilgan taqdirda uzoq vaqt rivojlanish imkoniyatini ta'minlab tursin.

1.6. Elektr tarmog'ini hisoblashning asosiy turlari

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

Tarmoqlar ish rejimini hisoblash. Bu hisoblash ma'lum bir vaqt oralig'ida tugun nuqtalaridagi kuchlanishlar, liniyalar va transformatorlardagi tok va quvvatlarni hisoblashdir. Loyiha hisoblari va uskunalarni ishlatishga tegishli hisoblar hususan berilgan ma'lumotlarning aniqligi, ayniqsa yuklamalarning aniqligi bilan ajralib turadi. Loyihalash hisoblarida bu ma'lumotlarni aniqligi kamroq bo'ladi. Shuning uchun bu hisoblar natijalarini aniqlash bo'yicha qo'yilgan talablar ma'lum darajada kam bo'ladi. Mavjud elektr tarmoqlarini ish holatlarini qulaylashtirish uchun juda ham aniq hisoblar talab qilinadi.

Tarmoqlarni ish tartibi normal, shikastlangan va shikastlangandan keyingi

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

(shikast sabablari tugatilgandan keyingi) holatlar bilan farq qiladi.

Energetika tizimlarining barqaror ish rejimlari, 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 qo'rib chiqiladi.

Parametrlarni tanlashga doir hisoblash. Bu hisoblashga kuchlanish, liniya parametrlari, transformatorlar, kompensatsiyalaydigan va boshqa uskunalarni har xil holatlar uchun tanlash kiradi²⁴.

Loyihalash uchun zarur bo'lgan hisoblashning bir qismi bo'lgan mexanik mustahkamlik va yashinga qarshi hisoblar 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 parametrlari (o'tkazgichlarni ko'ndalang kesim yuzasi, quvvat va boshqalar) ni o'zgartirishga qaraganda tejamli bo'ladi. Ayniqsa, bu mumkin bo'lgan kuchlanish yo'qotilishi va og'ishi bo'yicha hisoblarga va qisqa tutashuv paytida qizishga bardosh berish bo'yicha hisoblarga tegishlidir. Birinchi holat uchun kuchlanishni rostlash uskunasi qo'llanilishi mumkin, ikkinchisida tezkor himoya vositalari qo'llaniladi.

Tarmoqlarning tanlanayotgan hamma parametrlarini hisoblash chog'ida ular qandaydir vaqt oraligida o'zgarmas deb olinadi. Ammo yuklamalarning o'sishida bu parametrlarni (kuchlanish, o'tkazgichlarni 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.

Holatlarni hisoblashda quyidagi usullar ko'proq qo'llaniladi:

1. Bevosita hisoblash usuli, qachonki natija bir tadbirda topiladi, masalan

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

tenglamalar sistemasini to'g'ridan to'g'ri yechish. Bu usul sxemasi ancha sodda tarmoqlar uchun qo'llaniladi.

2. Iteratsiya usuli (ketma-ket yaqinlashish), qachonki qidirilayotgan qiymatga ko'p tadbirlar natijasida, ya'ni asta-sekin hiyla tahminiydan juda aniq javoblarga kelish. Birinchi yaqinlashish nol iteratsiya mumkin bo'lgan tahminiy axborotga asosan olingan bo'lishi mumkin.

3. Dinamik programmalashtirish usuli yordamida eng maqbul yechimni topish mumkin²⁵.

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 tadbiq 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 ikkinchi usul etarlidir.

2. Elektr tarmoqlari va elektr uzatish liniyalarining tuzilishi

2.1. Havo elektr uzatish liniyalarining konstruktiv elementlari

Havo elektr uzatish liniyalari (HL) elektr energiyasini o'tkazgichlar yordamida masofaga uzatish uchun xizmat qiladi. HLning asosiy konstruktiv elementlari bo'lib o'tkazgichlar, troslar, tayanchlar, izolyatorlar va uzatish liniyasi armaturalari hisoblanadi. O'tkazgichlar elektr energiyani uzatish uchun xizmat qiladi. Tayanchlarning yuqori qismida HL ni atmosfera o'ta kuchlanishlaridan himoyalash uchun *troslar* o'rnatiladi.

Tayanchlar o'tkazgichlar va troslarni yer va suv sathidan ma'lum balandlikda tutib turadi. Izolyatorlar o'tkazgichlarni tayanchdan izolyasiyalaydi. Uzatish liniyasi armaturalari yordamida o'tkazgichlar izolyatorlarga, izolyatorlar esa tayanchlarga mahkamlanadi. Ayrim hollarda o'tkazgichlar izolyatorlar va

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

uzatish liniyasi armaturalari yordamida muhandislik inshootlarining kronshteynlariga mahkamlanadi.

Bir va ikki zanjirli HL amalda keng qo'llaniladi. Uch fazali HL ning bitta zanjiri har uchta faza o'tkazgichlaridan tashkil topadi. HL da ikkita zanjir bitta tayanchda joylashgan bo'lishi mumkin²⁶.

HL konstruktiv qismlarining ishlashiga o'tkazgichlar va troslarning o'z og'irliklaridan, ularda hosil bo'luvchi muz qatlamlaridan, shamol bosimidan, shuningdek havo temperaturasining o'zgarishidan mexanik ta'sir ko'rsatiladi. Bundan tashqari, shamol ta'sirida o'tkazgichlarning titrashi (yuqori chastota va kichik amplitudada tebranishi) va silkinishi (kichik chastota va katta amplitudada tebranishi) yuz berishi mumkin. Ushbu omillar ta'sirida yuzaga keluvchi mexanik yuklanish, silkinish va titrashlar o'tkazgichlarning uzilishi yoki chalkashib qolishiga, tayanchlarning sinishiga, izolyasiya oraliqlarining kamayishi natijasida ularning teshilishi yoki izolyasiya ustida yoy paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin.

2.2. Havo elektr uzatish liniyalarining o'tkazgichlari va troslari

HL da izolyasiyalanmagan, ya'ni izolyasion qobiqsiz o'tkazgichlar foydalaniladi. HL o'tkazgichlariga qo'yiluvchi asosiy talablar bo'lib yuqori darajadagi mexanik mustahkamlik va elektr o'tkazuvchanlik hisoblanadi. Bundan tashqari HL o'tkazgichlari korroziyaga qarshi chidamli materialdan tayyorlangan bo'lishi lozim. Ushbu talablar va iqtisodiy jihatdan samaradorlik shartlaridan kelib chiqqan holda hozirgi davrda HL larda alyuminiy va po'lat alyuminiy o'tkazgichlardan foydalanish keng tarqalgan. Mis o'tkazgichlar hozirgi davrda maxsus texnik-iqtisodiy hisoblashlar bilan asoslanmasdan HL larda foydalanilmaydi. Po'lat o'tkazgichlardan HLda foydalanish ularning qarshiliklari katta bo'lganligi sababli odatda tavsiya etilmaydi.

Atmosfera o'ta kuchlanishlaridan himoyalovchi troslar, qoidaga muvofiq,

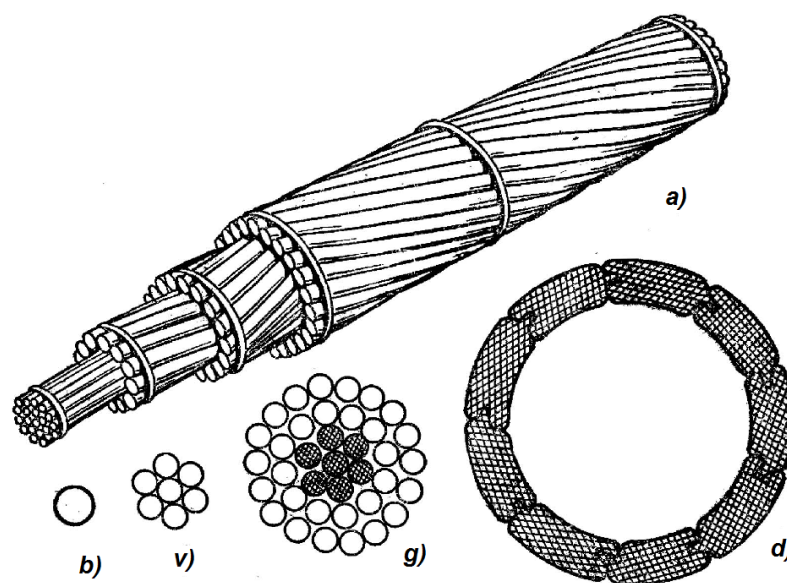
¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

po‘latdan tayyorlanadi. So‘nggi yillarda troslardan yuqori chastotali aloqa kanallarni tashkil etish uchun ham foydalaniladi. Bunday hollarda ular po‘lat-alyuminiydan tayyorlanadi.

Izolyasiyalanmagan o‘tkazgichlarning tuzilishi va umumiy ko‘rinishi 2.1,a-rasmda keltirilgan. Bir simli o‘tkazgich (2.1,b-rasm) bitta dumaloq o‘tkazgichdan tashkil topgan. Bunday o‘tkazgichlar ko‘p simli o‘tkazgichlarga nisbatan arzonroqdir, biroq ular kam egiluvchan va kam mexanik mustahkamlikka ega. Bir metallardan tayyorlangan ko‘p simli o‘tkazgichlar (2.1,v-rasm) bir-biri bilan o‘zaro o‘ralgan simlardan tashkil topgan. Simlar sonining ortishi bilan kesim yuzasi ortadi. Ikki metallardan tayyorlangan ko‘p simli – po‘lat-alyuminiy o‘tkazgichlarda (2.1,g-rasm) – ichki simlar (o‘tkazgichning o‘zagi) po‘latdan, tashqi simlar alyuminiydan tayyorlanadi²⁷.

Po‘lat o‘zak mexanik mustahkamlikni oshirsa, alyuminiy – o‘tkazgichning tok o‘tkazuvchi qismi hisoblanadi. G‘ovak o‘tkazgichlar (2.1,d-rasm) bir-biri bilan mexanik mustahkamlikni ta‘minlovchi pazlar orqali tutashtirilgan yassi simlardan tayyorlanadi. Bunday o‘tkazgichlarning tashqi diametri katta bo‘lganligidan tojlanuvchi razryadni hosil qiluvchi kuchlanishning qiymati ortadi va tojlanish tufayli isrof bo‘luvchi quvvat ancha kamayadi. HLlarida g‘ovak o‘tkazgichlar juda kam qo‘llaniladi. Ular asosan 330 kV va undan yuqori kuchlanishdagi nimstansiyalarini shinalashda qo‘llaniladi. 330 kV va undan yuqori nominal kuchlanishdagi HLning har bir fazasi bir nechta o‘tkazgichlarga *parchalanadi*.

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.



2.1-rasm. HL o'tkazgichlarining tuzilishi

a)-ko'p simli o'tkazgichning umumiy qurinishi; b)-bir simli o'tkazgichning ko'ndalang kesimi; v,g)-bir va ikki xil metallardan tashkil topgan ko'p simli o'tkazgichlarning ko'ndalang kesimi; d)-g'ovak o'tkazgichning ko'ndalang kesimi. Bunday holatda hozirgi davrda 330 kV kuchlanishli HLning bitta fazasida ikkita, 500 kVda – uchta, 750 kVda – to'rt-beshta, 1150 kVda – sakkiz-o'n ikkita o'tkazgich foydalaniladi²⁸.

O'tkazgichlarning materiallari yuqori elektr o'tkazuvchanlikka va imkoni boricha yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo'lishi lozim. O'tkazuvchanlik bo'yicha birinchi o'rinda mis, so'ngra alyuminiy turadi. Po'lat esa ancha kam o'tkazuvchanlikka ega. Mexanik mustahkamlik bo'yicha birinchi o'rinda po'lat, so'ngra mis turadi. Bu jihatlarni, ularning tabiatda tarqalganlik darajasini hamda bundan kelib chiqib nisbiy narxlarini e'tiborga olib, HL larida alyuminiy va po'lat-alyuminiy o'tkazgichlardan foydalaniladi. Hozirgi paytda bir simli alyuminiy o'tkazgichlarning mexanik mustahkamligi juda kichikligi sababli ular

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

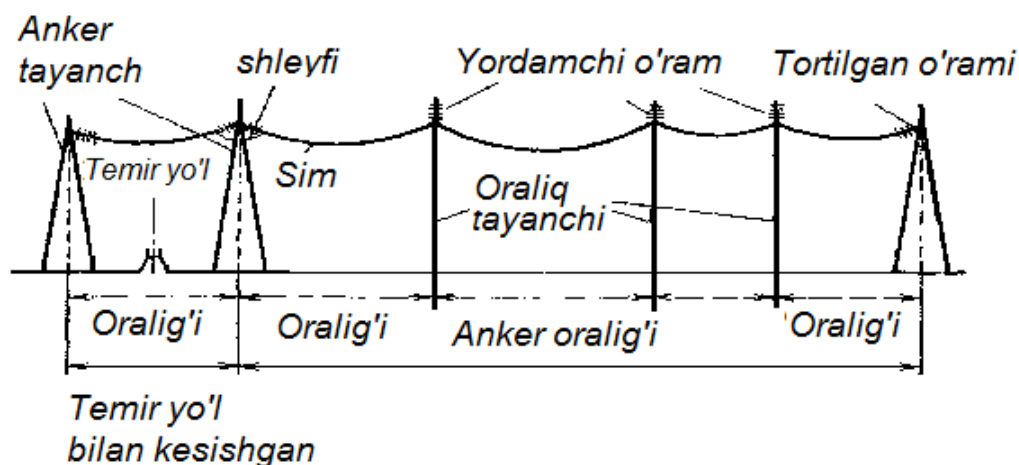
mutlaqo ishlab chiqarilmaydi. Ko‘p simli alyuminiy o‘tkazgichlar faqat 35 kV gacha kuchlanishli liniyalarda qo‘llaniladi. Undan yuqori kuchlanishli liniyalarda esa po‘lat-alyuminiy o‘tkazgichlardan foydalaniladi. Hozirgi davrda Davlat Standarti (Dav.Stan.)ga muvofiq A va AKP markali alyuminiy o‘tkazgichlar ishlab chiqariladi. A marka o‘tkazgichlar 7 tadan 61 tagacha bir xil diametrli alyuminiy simlardan tashkil topadi. AKP markali o‘tkazgichlar ham tuzilishi bo‘yicha A markali o‘tkazgichlar bilan bir xil bo‘lib, faqat ularda simlar oralaridagi bo‘shliqlar korroziyalanishga qarshi ta’sir etuvchi issiqlikka chidamli neytral moy bilan to‘ldiriladi. Bunday o‘tkazgichlar dengiz qirg‘oqlari, tuzli ko‘l va ximiya korxonolari yaqinidagi HL larda qo‘llaniladi.

Po‘lat-alyuminiy o‘tkazgichlar HL larda eng ko‘p qullaniluvchi o‘tkazgich turidir. Ulardagi po‘lat o‘zakning o‘tkazuvchanligi e’tiborga olinmaydi va o‘tkazgichning elektr qarshiligini aniqlashda faqat alyuminiy qismining qarshiligi hisobga olinadi. Hozirgi davrda Davlat Standartiga muvofiq AS, ASKS, ASKP, ASK markali po‘lat-alyuminiy o‘tkazgichlar ishlab chiqariladi. AS markali o‘tkazgich po‘lat o‘zak va alyuminiy simlardan tashkil topadi. Bunday o‘tkazgichlar tarkibida zararli kimyoviy birikmalar mavjud bo‘lmagan quruq havoli hududlardagi HL larda foydalaniladi. ASKS, ASKP, ASK markali o‘tkazgichlar dengiz, tuzli ko‘llar qirg‘oqlari va havosi ifloslangan sanoat tumanlaridagi HL larda qo‘llaniladi. ASKS va ASKP markali o‘tkazgichlarda AS markali o‘tkazgichlardan farqli holda po‘lat o‘zakning yoki butun o‘tkazgichning simlari oralaridagi bo‘shliqlar issiqlikka chidamli neytral moy bilan to‘ldiriladi. ASK markali o‘tkazgichda ASKS markali o‘tkazgichdan farqli holda po‘lat o‘zak ikkita polietilen plenka tasmalar bilan izolyasiyalanadi.

2.3. Havo elektr uzatish liniylarining tayanchlari

HL ning tayanchlari *oraliq* va *anker* tayanchlariga bo‘linadi. Bu ikki asosiy guruh tayanchlari o‘tkazgichlarni ularga osish usuli bo‘yicha farqlanadi.

Oraliq tayanchlariga o'tkazgichlar tutib turuvchi izolyatorlar shodasi yordamida osiladi (2.2-rasm). Anker tipidagi tayanchlar o'tkazgichlarni taranglab tortish uchun xizmat qiladi. Bunday tayanchlarda o'tkazgichlar osma shodalar yordamida osiladi. Oraliq tayanchlari oralig'idagi masofa *osilish oralig'i* (*oraliq*), anker tayanchlari oralaridagi masofa esa *anker oralig'i* deb ataladi.



2.2-rasm. HL ning Anker va temir yo'l bilan kesishish oralig'i

Anker tayanchlari HL ning muhim nuqtalarida o'tkazgichlarni qattiq mahkamlash uchun xizmat qiladi. Ular, masalan, temir yo'l, 330-500 kV kuchlanishli HL, eni 15 metrdan kam bo'lmagan avtomobil yo'llari kabi muhandislik inshootlarini kesib o'tish, HL ning tugallangan joylarida o'rnatiladi²⁹. HL ning tug'ri chiziqli qismida Anker tayanchi normal sharoitda uning ikki tomonidan o'tkazgichning tortib turuvchi kuchi bir xil bo'lgan hollarda oraliq tayanchi bajaruvchi vazifani bajaradi. Biroq bunday anker tayanchlari oraliqda o'tkazgichlar yoki troslar uzilgan taqdirda paydo bo'luvchi mexanik kuchlarga mo'ljallab o'rnatiladi. Anker tayanchlari oraliq tayanchlariga nisbatan ancha murakkab va mos ravishda qimmatdir, shu sababli ular har bir HL da imkoni boricha kam bo'lishi lozim.

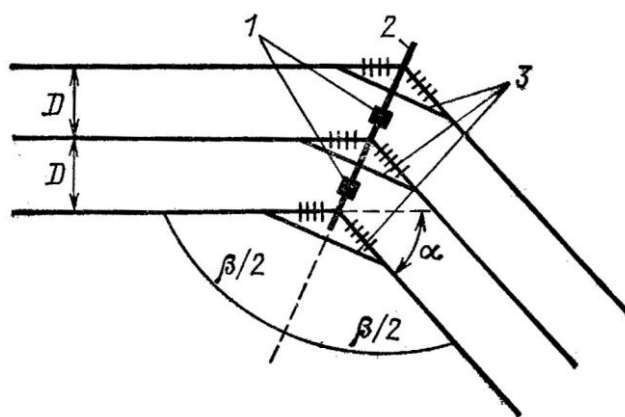
Oraliq tayanchlari HL ning to'g'ri chiziqli qismlarida o'rnatiladi. Ular tuzilishi bo'yicha anker tayanchlariga nisbatan sodda va shunga mos holda

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

arzondir. Chunki, normal sharoitda ularning har ikkala tomonida o'tkazgichlarning tortish kuchlari bir xil bo'lganligi sababli liniya bo'ylab yo'nalgan kuch ta'sir etmaydi. HL larda tayanchlarning 80-90% ni oraliq tayanchlari tashkil etadi.

Burchak tayanchlari HL ning burilish joylarida o'rnatiladi. HL ning burilish burchagi α deb uning burilishida paydo bo'luvchi ichki β burchakni 180° ga to'ldiruvchi burchakka aytiladi (2.2-rasm). Burchak tayanchining tirsagi β burchagining bessiktrisasi bo'yicha o'rnatiladi³⁰.

Burchak tayanchlari anker va oraliq tipida bo'lishi mumkin. Bunday tayanchlarga HL ning to'g'ri chiziqli uchastkalarida o'rnatiluvchi oraliq tayanchlariga ta'sir etuvchi yuklardan tashqari o'tkazgichlar va troslar tortish kuchlarining ko'ndalang tashkil etuvchilari ham ta'sir etadi. Burilish burchagi 20° gacha bo'lgan hollarda burilish tayanchi sifatida asosan oraliq tayanchlaridan foydalaniladi.

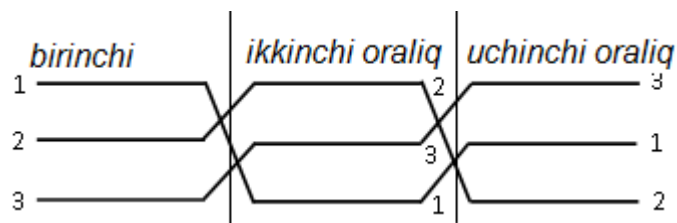


2.3-rasm. HL ning burilish burchagi 1-tayanch oyog'i; 2-tirsak; 3-sirtmoq

Shuningdek, HLda quyidagi tipdagi maxsus tayanchlardan ham foydalaniladi: tayanchlarda o'tkazgichlarni joylashuv tartibini o'zgartirish uchun xizmat qiluvchi – *transpozitsiyalovchi tayanchlar*; HL ni tarmoqlash uchun xizmat qiluvchi – *tarmoqlovchi tayanchlar*; HL ni daryolar, daralar kabilar ustidan kesib o'tish uchun xizmat qiluvchi – *o'tkazuvchi tayanchlar*.

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

Transpozitsiya 110 kV dan yuqori kuchlanishli 100 km dan uzun HL larda barcha uchala fazalarning sig‘im va induktivliklarini bir xil qilish maqsadida qo‘llaniladi. Bunda tayanchlarda o‘tkazgichlarning o‘zaro joylashuvi ketma-ket ravishda almashtiriladi (2.4-rasm).

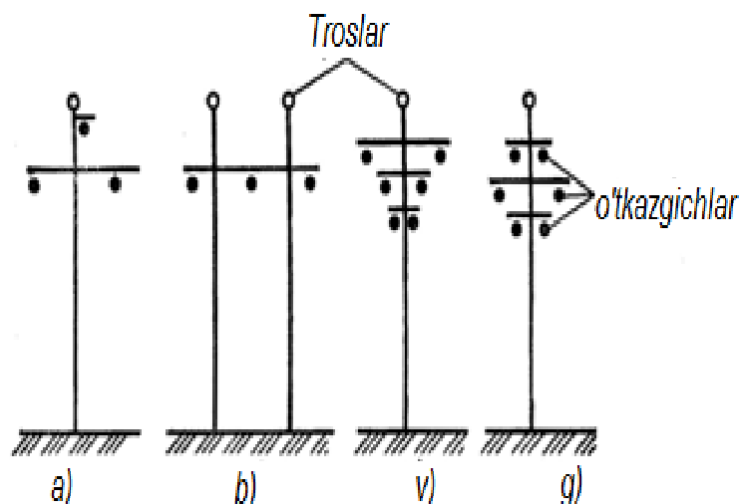


2.4-rasm. Bir zanjirli elektr uzatish liniyasi o‘tkazgichlarini transpozitsiyalash sikli

Tayanchlarda o‘tkazgichlarning keng foydalaniluvchi joylashuv usullari 2.5-rasmda tasvirlangan. *Uchburchak* ko‘rinishida joylashuv (2.5,a-rasm) 20 kV gacha hamda 35-330 kV kuchlanishli bir zanjirli metall va temirbeton tayanchli HL larda foydalaniladi. O‘tkazgichlarning *gorizontal* joylashuvi (2.5,b-rasm) 35-220 kV kuchlanishli yog‘och tayanchli va 330 kV kuchlanishli HL larda foydalaniladi. Bu usulda joylashuv tayanchlarni nisbatan pastroq qurish imkonini beradi va muz qatlamlari paydo bo‘lganda hamda o‘tkazgichlar silkinganda ularni chalkashish ehtimolini kamaytiradi³¹.

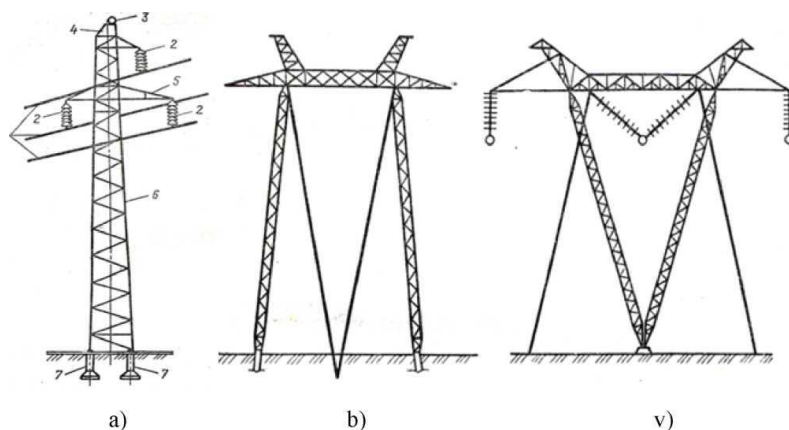
Ikki zanjirli HL larda o‘tkazgichlarning *teskari archa* usulida joylashuvi montaj qilish sharoitlari bo‘yicha qulaydir (2.5,v-rasm). Biroq bunda ikkita tros osishga to‘g‘ri keladi va shu sababli tayanchlarning og‘irligi ortadi. Ikki zanjirli HL larda o‘tkazgichlarning *bochka* usulida joylashuvi eng iqtisodiy bo‘lib, keng qo‘llaniladi (2.5,g-rasm).

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.



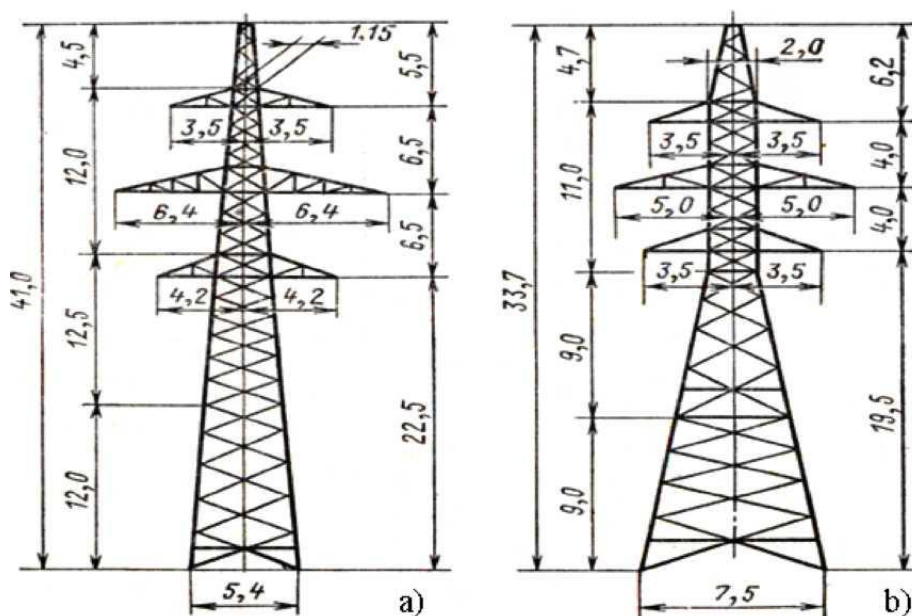
2.5-rasm. O'tkazgichlar va troslarning tayanchlarda joylashuvi
a)-uchburchak uchlarida joylashuv; b)-gorizontal joylashuv; v)-teskari archa usulida joylashuv; g)-bochka usulida joylashuv

Mamlakatimizda *yog'och tayanchlar* 110 kV gacha kuchlanishli HL larida foydalaniladi. Ularning afzalliklari – arzonlik va tayyorlashning soddaligi, kamchiligi – chirish xususiyatining mavjudligi (xususan yerga tegib turish joylarida). 35 kV va undan yuqori kuchlanishli HL larda foydalaniluvchi *metall tayanchlar* uchun ko'pgina miqdorda metall talab etiladi va ularni korroziyadan himoyalash uchun bo'yab turish lozim. Metall tayanchlar temir beton fundametlarga o'rnatiladi. Bunday tayanchlar konstruktiv tayyorlanishi bo'yicha – *minorali yoki bir ustunli* (2.6,a-rasm) va *portal* (2.6,b-rasm), fundamentga mahkamlanish usuli bo'yicha esa – *erkin joylashgan* (2.6,a-rasm) va *tortmali* (2.6,v-rasm) tayanchlarga bo'linadi.

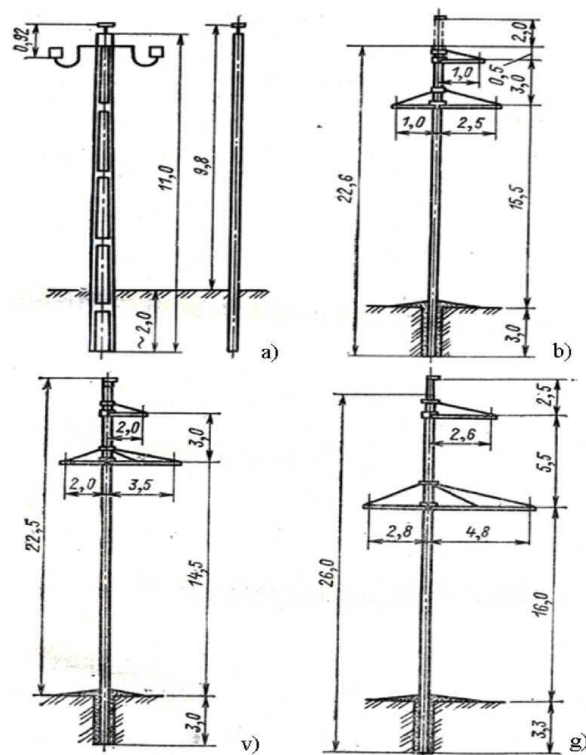


2.6-rasm. Tayanchlar konstruktiv tayyorlanishi: a- *minorali yoki bir ustunli*, b- *portal*,

v- tortmali



2.7-rasm. 500 kV kuchlanishli HL: a)-yerkin, b)- tortmali



2.8-rasm. Erkin joylashuvchi temirbeton oraliq tayanchlar
a)- 6-10 kV (shtirli izolyatorlar bilan) kuchlanishli HL tayanchi; b)- 35 kV kuchlanishli HL tayanchi; v)- 110 kV kuchlanishli HL tayanchi; g)- 220 kV kuchlanishli HL tayanchi

Anker tipdagi metall tayanchlar oraliq tayanchlardan mustahkamligi va tirsaklarining uzunligi bilan farq qiladi. 2.7,a-rasmda 220 kV kuchlanishli HL

da foydalaniluvchi oraliq va 2.7,b-rasmda 110 kV kuchlanishli HL da foydalaniluvchi anker tayanchlari tasvirlangan. 500 kV kuchlanishli HL larda odatda o'tkazgichlarning gorizonta joylashuvidan foydalaniladi. 500 kV kuchlanishli HL larning oraliq tayanchlari erkin joylashuvchi yoki tortmali bo'lishi mumkin (2.7,a,b-rasmlar)³².

Temirbeton tayanchlar yog'och tayanchlarga nisbatan mustahkam va chidamli, metall tayanchlarga nisbatan xizmat ko'rsatish uchun soddadir. Shu sababli ular 500 kV gacha kuchlanishli HL larida keng qo'llaniladi. 2.8-rasmda turli kuchlanishli HL larida foydalaniluvchi oraliq temir beton tayanchlari tasvirlangan.

2.4. Havo elektr uzatish liniyalarining izolyatorlari

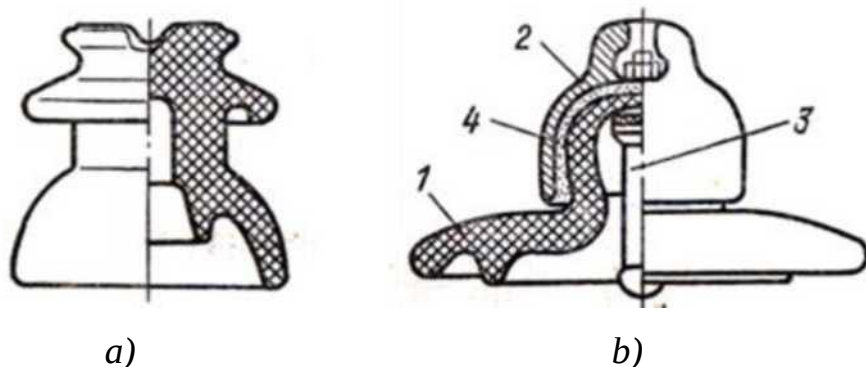
Izolyatorlar HL hamda elektr stansiyalari va nimstansiyalari taqsimlovchi qurilmalarini izolyasiyalash va mahkamlash uchun xizmat qiladi. Ular chinni yoki toblangan shishadan yasaladi. Tuzilishi bo'yicha izolyatorlar *shtirli* va *osma* izolyatorlarga bo'linadi.

Shtirli izolyatorlar hozirgi paytda 35 kV gacha kuchlanishli HL larda foydalaniladi (2.9,a-rasm). Izolyatorlarni shartli belgilanishidagi harflar va sonlar quyidagilarni bildiradi: Sh – shtirli; F – chinidan yasalgan; S – shishadan yasalgan; son – nominal kuchlanish, kV; so'nggi harf (A, B, V) – izolyatorning tuzilish sinfi.

Likopsimon osma izolyatorlar 35 kV va undan yuqori kuchlanishli HL larda keng qo'llaniladi. Osma izolyator (2.9,b-rasm) chinni yoki shishadan yasaluvchi izolyasiyalovchi qism 1 va metall detallar – shapka 2 va sterjen 3 hamda izolyasiyalovchi qism bilan tutashtiruvchi sement tutashmasidan tashkil topgan. Bu tipdagi izolyatorning shartli belgilanishidagi harf va sonlar quyidagilarni bildiradi: P – osma; F (S) – chinni yoki shishadan tayyorlangan; G

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

– ifloslangan tumanlar uchun; son – izolyator sinfi – shikastlanishiga olib keluvchi elektromexanik yuklama, kN; A, B, V – izolyatorning tuzilish sinfi.



2.9-rasm. Shtirli va osma izolyatorlar a) 6-10 kV uchun mo'ljallangan shtirli izolyator; b) Likopchasimon osma izolyator

Osma izolyatorlar oraliq tayanchlarda tutib turuvchi va anker tayanchlarda tortib turuvchi shodalarga yig'ilgan ko'rinishda foydalaniladi. Shodadagi izolyatorlar soni HL ning kuchlanishiga bog'liq holda aniqlanadi. Masalan, metall va temirbeton tayanchli HL larining tutib turuvchi shodalarida 35 kV uchun 3 ta; 110 kV uchun – 6-8 ta; 220 kV uchun – 10-14 ta va h.k. izolyatorlar o'rnatiladi³³.

2.5. Havo elektr uzatish liniyalarining armaturalari

HL larda o'tkazgichlarni izolyatorlarga va izolyatorlarni tayanchlarga maxkamlash uchun xizmat qiluvchi armaturalar quyidagi asosiy turlarga bo'linadi: o'tkazgichlarni osma izolyatorlar shodasiga mahkamlash uchun xizmat qiluvchi qisqichlar; izolyatorlar shodalarini tayanchlarga va ularni o'zaro ketma-ket osish uchun xizmat qiluvchi ulovchi armaturalar; osilish oraliqlarida o'tkazgichlar va troslarni ulash uchun xizmat qiluvchi tutashtirgichlar.

Ulovchi armatura skoba, sirg'a va quloqchalardan tashkil topgan. Skoba shodalarni tirsaklarga yoki tirsaklarning mahkamlovchi detallariga tutashtirish uchun xizmat qiladi. Tutib turuvchi izolyatorlar shodasi (2.10,a-rasm) oraliq tayanch tirsagiga sirg'a 1 yordamida mahkamlanadi. Sirg'a bir tomondan skoba

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

yoki tirsak detaliga, ikkinchi tomondan yuqoridagi izolyator shapkasi 2 ga tutashtiriladi. Pastki izolyatorga quloqcha 3 orqali tutib turuvchi qisqich 4 mahkamlanadi. Qisqich 4 ning ichiga o'tkazgich 5 joylashtiriladi.

Shodalarda o'tkazgich va troslarni mahkamlash uchun xizmat qiluvchi qisqichlar ikkiga – oraliq tayanchlarida o'rnatiladigan tutib turuvchi va anker tayanchlarida o'rnatiladigan tortib turuvchi qisqichlarga bo'linadi. O'tkazgichni mahkamlash mustahkamligi bo'yicha tutib turuvchi qisqichlar o'ta mustahkam va cheklangan mustahkamlikdagi qisqichlarga bo'linadi. O'ta mustahkam qisqichda (2.10,v-rasm) siquvchi bolt 1 plashcha 2 yordamida o'tkazgichni qisqich korpusi 3 ga («qayiqcha»ga) siqadi va uni bir tomonlama tortish ta'sir etganda qo'zg'almas holda tutib turadi. O'ta mustahkamlikdagi qisqichlar hozirgi davrda 35-500 kV kuchlanishli HL larda foydalaniluvchi asosiy qisqichlardir³⁴.

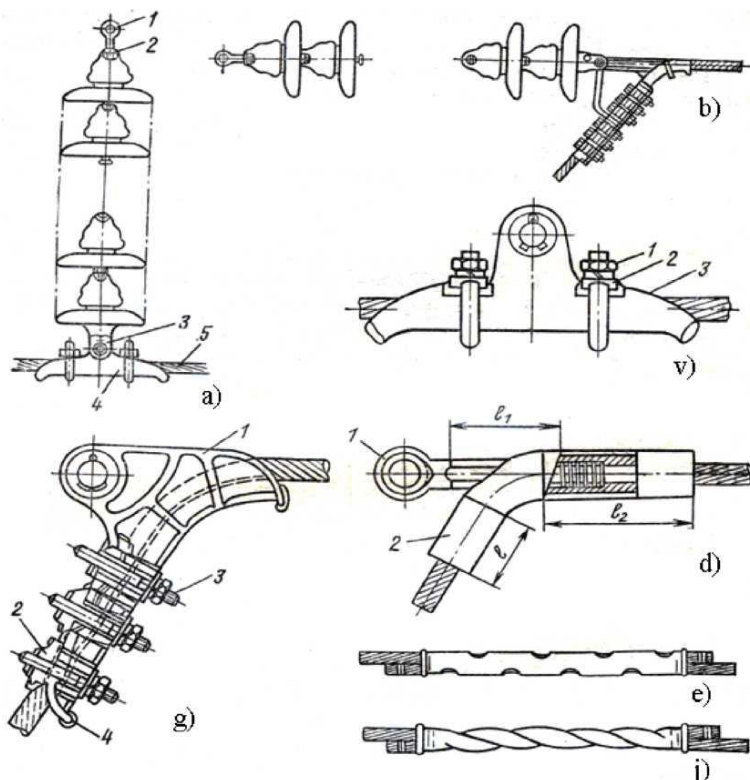
Cheklangan mustahkamlikdagi qisqichlar 500 kV kuchlanishli HL larda foydalaniladi. O'tkazgich uzilganda u qisqich orqali ikkinchi tomonga sirpanib o'tadi va natijada oraliq tayanchiga ta'sir etuvchi yonlama kuch kamayadi.

Anker tayanchlarida o'tkazgichlar tortib turuvchi qisqichlar yordamida butunlay mahkamlab qo'yiladi. Bunda bir osilish oralig'idagi o'tkazgich boshqa oraliqdagi o'tkazgichga sirtmoq yoki shleyf orqali ulanadi. Tortib turuvchi qisqichlarning bir nechta – 35-500 mm² ko'ndalang kesimli o'tkazgichlarni tutashtirishda qo'llaniluvchi – *boltli*, 300 mm² va undan yuqori ko'ndalang kesimli o'tkazgichlarni tutashtirishda qo'llaniluvchi - *presslanuvchi*, po'lat troslarni mahkamlash uchun qo'llaniluvchi - *tirsakli* turlari mavjud.

Boltli qisqichlar (2.10,g-rasm) korpus 1, plashcha 2, gayka bilan siquvchi boltlar 3 va alyuminiydan yasaluvchi prokladka 4 lardan iborat. Siqiluvchi qisqichlar (2.10,d-rasm) po'lat anker 1 va alyuminiy korpus 2 dan tashkil topgan. Po'lat ankerda o'tkazgichning l_1 uzunlikdagi po'lat o'zagi va alyuminiy

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

korpusga o'tkazgichning l_2 uzunlikdagi alyuminiy qismi hamda shleyfning l uzunlikdagi qismi presslanadi. Sanoatda o'tkazgichlar ma'lum uzunlikdagi bo'laklar ko'rinishida ishlab chiqariladi. HLlarda ularni ulash uchun tutashtirgichlar qo'llaniladi. Ular oval va presslanuvchi tutashtirgichlarga bo'linadi.



2.10-rasm. Tutib turuvchi va taranglab turuvchi izolyatorlar shodalari va armaturalar
 a)-qattiq qisqichli tutib turuvchi izolyatorlar shodasi; b)-bolt qisqichli taranglab turuvchi izolyatorlar shodasi; v)-qattiq tutib turuvchi qisqich; g)-boltli taranglab turuvchi qisqich; d)-presslanuvchi taranglab turuvchi qisqich; e,j)-siqiluvchi va buraluvchi oval ulagichlar

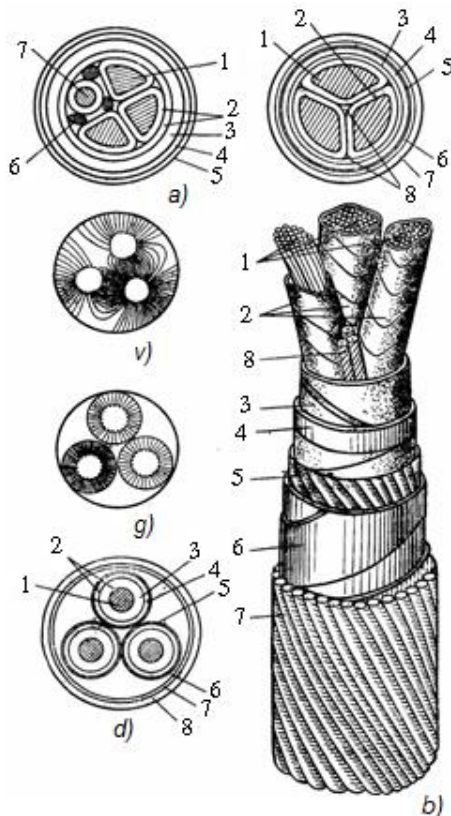
Oval tutashtirgichlar (2.10,e,j- rasm) 185 mm^2 va undan kichik ko'ndalang kesim yuzali o'tkazgichlarni tutashtirishda qo'llaniladi. Ularda o'tkazgichlarning uchlari chalkashtirib qo'yiladi va tutashtirgich maxsus qisqich yordamida siqiladi (2.10,e- rasm). Kundalang kesim yuzasi 95 mm^2 gacha bo'lgan po'lat-alyuminiy o'tkazgichlar tutashtirgichlarda eshish usulida mahkamlanadi (2.10,j- rasm).

Presslanuvchi tutashtirgichlardan ko'ndalang kesim yuzasi 240 mm^2 va

undan katta bo'lgan o'tkazgichlar va troslarni tutashtirishda foydalaniladi³⁵.

2.6. Kabel liniyalarining tuzilishi

Kabel deb, germetik qobiq ichida joylashib, ustida, zaruriy hollarda, himoya qoplamasi mavjud bo'lgan bir yoki bir necha izolyasiya qilingan tok o'tkazuvchi tomirlar majmuasiga aytiladi.



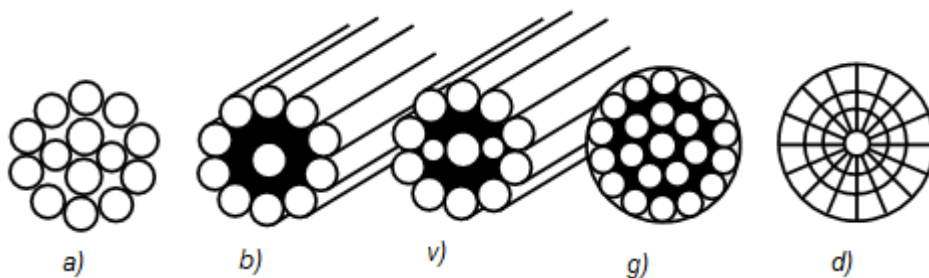
2.11- rasm. Kabel ko'ndalang kesim yuzasining ko'rinishilari

Kabellar kuch va nazorat kabellariga bo'linadi. Nazorat kabellari elektr signallarini uzatish, o'lchash va boshqarish maqsadlarida ishlatiladi. Kuch kabellari kuchlanishi, kesim yuzasi, tomirlarining soni va qobig'ining materiali (alyumin, qo'rg'oshin va h.k.) bilan farq qiladi.

Kabelning asosiy elementlari bo'lib tok o'tkazuvchi tomir 1, tomir izolyasiyasi 2, o'ralgan jgut tolasi 3, belbog' izolyasiyasi 4, qobiq 5, to'qima qatlami 6, zirx 7, bitumli qoplama 8 (2.11,b- rasm) hisoblanadi.

Kabel tomiri deb bir yoki bir necha simlardan iborat bo'lib, o'zaro eshilgan, ustiga faza izolyasiyasi o'ralgan o'tkazgichlar (tolalar)ga aytiladi. Tok o'tkazuchi tomirlar mis va alyuminiydan tayyorlanadi. Kabel tomirlarining kesim yuzalari to'garaksimon (2.12,a- rasm), segmentli bo'lib, bunda tomir tig'izlanmagan (2.12,g- rasm) va tig'izlangan (2.12,d- rasm) bo'lishi mumkin. Kabellar ulardagi tomirning soniga qarab bir, ikki, uch va to'rt tomirli kabellarga bo'linadi.

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

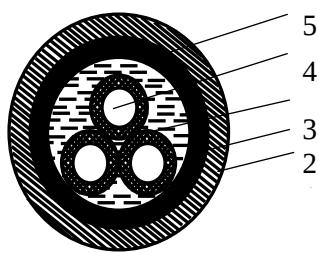


Bir tomirli kabellar o'zgaras tok kabel liniyalarida (KL) va 110 kV va undan yuqori kuchlanishli uch fazali o'zgaruvchan tok KLLarda, ikki tomirlisi – faqat o'zgaras tok KLLarda, uch tomirlisi – 1 kV dan yuqori bo'lgan uch fazali o'zgaruvchan tok KLLarda, to'rt tomirlisi esa 1 kV dan past kuchlanishli KLLarda qo'llaniladi³⁶.

Kabellarda izolyasiya materiallari sifatida rezina, kabel qog'ozi va plastmassalar ishlatiladi.

Tuzilishi jihatidan 110 kV va undan yuqori kuchlanishli kabellar markaziy moy o'tkazish kanali bo'lgan bir tomirli yoki po'lat quvurda moy ichida joylashuvchi uch tomirli bo'lishi mumkin. Bunday kabellarda moyning bosimini me'yorida tutib turish uchun maxsus ta'minlash punktlaridan foydalaniladi.

Past moy bosimli kabellar 110 kV kuchlanishli tarmoqlarda juda keng



tarqalgan. Ular bir tomirli, markaziy moy o'tkazish kanaliga ega bo'lgan kabellardir. 220-500 kVli kabel liniyalarida qurish uchun yuqori bosimli moy bilan to'ldirilgan kabellar ishlatiladi. Bunday kabellar (2.13- rasm) 1,6 MPa bosim ostida moy bilan to'ldirilgan po'lat quvurlar (1) ichida joylashgan uchta bir fazali kabellardan (4) tashkil topgan. Kabelning 2.12- rasmdagi tasvirida 3- qog'oz izolyasiya, 2- sirt ekrani, 5- latun tasma.

Kabel inshootlari deb kabellar, kabel muftalari, moy bilan ta'minlovchi

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

apparatlar va boshqa kabel liniyalarining normal ishlashini ta'minlaydigan uskunalarni joylashtirish uchun maxsus mo'ljallangan inshootlarga aytiladi.

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

Kabel tunneli deb, kabel va kabel muftalari uchun kerak bo'lgan tayanch konstruksiyalari joylashgan, o'tkazilgan kabel va kabel liniyalarini ta'mirlash va nazorat qilish uchun mo'ljallangan, odamlar 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 yerto'laga aytiladi. Bu kanalda odamlar yurishi mumkin bo'lmay, kabellarni joylashtirish, ta'mirlash va nazorat qilish ishlari faqat kabelning ustini ochish orqali amalga oshiriladi³⁷.

Ko'p holatlarda maxsus inshootlar qo'llanilmasdan 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 yopilib, handak tuproq bilan to'ldiriladi.

Moy bilan to'ldirilgan kabellarda yer usti yoki ostida qurilgan moy bilan ta'minlovchi punktlar tegishli uskunalar (ta'mirlash bloki va agregatlari, bosim baklari va boshqalar) bilan jihozlanadi.

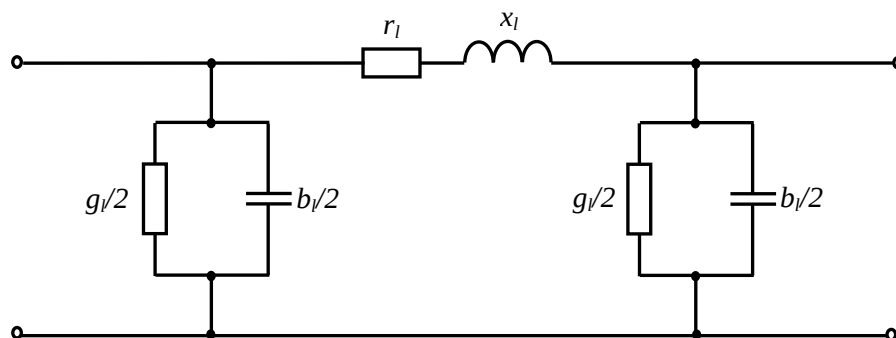
¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

3. Elektr tizimi elementlarining harakteristikasi va parametrlari

3.1. Elektr uzatish liniyalarining asosiy parametrlari va almashtirish sxemalari

Ko'pgina hollarda elektr uzatish liniyalarining parametrlari (aktiv va reaktiv qarshiliklar, aktiv va sig'im o'tkazuvchanliklar) uning uzunligi bo'ylab bir tekis taqsimlangan deb qarash mumkin. Nisbatan katta bo'lmagan uzunlikdagi elektr uzatish liniyalari uchun parametrlarning taqsimlanganligini e'tiborga olmaslik va jamlangan parametrlar – liniyaning aktiv va reaktiv qarshiliklari r_l va x_l , aktiv va reaktiv o'tkazuvchanliklari g_l va b_l lardan foydalanish mumkin³⁸.

Uzunligi 300-400 km dan oshmagan 110 kV va undan yuqori kuchlanishda ishlovchi havodagi elektr uzatish liniyasining almashtirish sxemasi odatda II-simon ko'rinishda tasvirlanadi (3.1-rasm).



3.1-rasm. Havodagi elektr uzatish liniyasining P-simon almashtirish sxemasi

Aktiv qarshilik quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$r_l = r_0 l, \quad (3.1)$$

bu yerda r_0 - o'tkazgichning solishtirma aktiv qarshiligi (temperaturasi $+20^{\circ}\text{C}$ bo'lgan holatdagi); l - liniyaning uzunligi, km.

Simlar va kabellarning aktiv qarshiliklari 50 Gs chastotada tahminan omik qarshilikka (ya'ni o'zgarmas tokdagi qarshiligiga) tengdir. Shu tufayli yuza

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

effekti hodisasi e'tiborga olinmaydi. r_0 ning qiymati po'lat-alyuminiy va boshqa rangli metallardan tayyorlangan o'tkazgichlar uchun ko'ndalang kesim yuzalariga bog'liq ravishda qo'llanmada jadvalidan aniqlanadi. Po'lat o'tkazgichlar uchun yuza effektini hisobga olmaslik mumkin emas. Ularda r_0 kesim yuzasi va oquvchi tokka bog'liq bo'lib, qiymatlari qo'llanma jadvalidan olinadi. O'tkazgichning temperaturasi 20°C dan farq qilganda r_0 mos formulalar bo'yicha topiladi.

Reaktiv qarshilik quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$x_l = x_0 l, \quad (3.2)$$

bu yerda x_0 - solishtirma reaktiv qarshilik, Om/km .

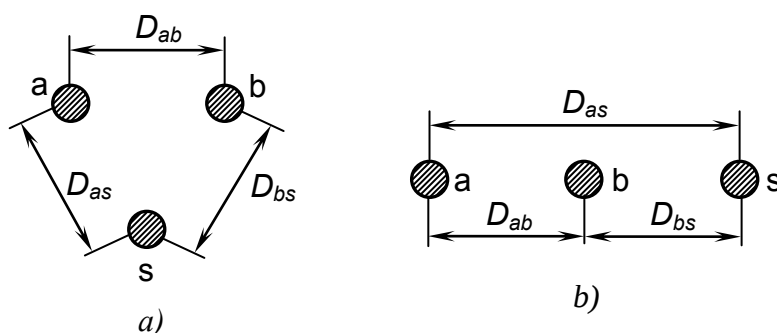
Elektr uzatish liniyasining alohida fazalaridagi reaktiv qarshiliklar umumiy holda turlicha. Simmetrik holatlarni hisoblashda x_0 ning quyidagi formula bo'yicha topiluvchi o'rtacha qiymatidan foydalaniladi:

$$x_0 = 0,144 \lg(D_{ur} / r_{ut}) + 0,0157, \quad (3.3)$$

bu yerda r_{ut} - o'tkazgichning radiusi; D_{ur} - faza o'tkazgichlari oralig'idagi o'rtacha geometrik masofa:

$$D_{ur} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{sa}}, \quad (3.4)$$

bu yerda D_{ab}, D_{bc}, D_{sa} - mos faza o'tkazgichlari oralaridagi masofa. Masalan, faza o'tkazgichlari tomoni D ga teng bo'lgan teng tomonli uchburchakning uchlarida joylashganda (3.2,a- rasm) o'rtacha geometrik masofa D ga, faza o'tkazgichlari gorizonttal joylashib (3.2,a- rasm), qo'shni o'tkazgichlar oralaridagi masofa D ga teng bo'lganda esa o'rtacha geometrik masofa $\sqrt[3]{2}D$ ga tengdir.



3.2- rasm. O'tkazgichlarning HL tayanchlarida uchburchakning uchlarida (a) va gorizonttal joylashuvi (b)

Ikki zanjirli tayanchlarda ikkita liniya parallel joylashganda har bir faza o'tkazgichini kesib o'tuvchi magnit oqimi liniyaning har ikkala zanjiri orqali oquvchi toklar bilan belgilanadi. Ikkinchi zanjirning ta'siri natijasida x_0 ning o'zgarishi birinchi navbatda zanjirlar orasidagi masofaga bog'liqdir. Bitta zanjir uchun x_0 ning ikkinchi zanjir hisobga olingan va olinmagan holatlardagi qiymatlari oralaridagi farq 5-6% dan oshmaydi va shu sababli ikkinchi zanjirning ta'siri amaliy hisoblashlarda e'tiborga olinmaydi³⁹.

Nominal kuchlanishi 330 kV va undan yuqori bo'lgan elektr uzatish liniyalarida faza o'tkazgichlari bir nechta o'tkazgichlarga parchalanadi. Bunday hollarda (3.3) formuladagi r_{ut} o'rniga quyidagi formula bo'yicha topiluvchi r_{ek} dan foydalaniladi:

$$r_{ek} = \sqrt[n_f]{r_{ut} a_{ur}^{n_f-1}}, \quad (3.5)$$

bu yerda r_{ek} - bitta fazadagi o'tkazgichlarning ekvivalent radiusi; a_{ur} - bitta fazadagi o'tkazgichlar oralaridagi o'rtacha geometrik masofa; n_f - bitta fazadagi o'tkazgichlar soni.

Parchalangan o'tkazgichli EULLar uchun (3.3) formuladagi so'nggi tashkil etuvchi $0.0157/n_f$ ko'rinishda bo'ladi. Shuningdek, bunday EULLar uchun solishtirma aktiv qarshilik quyidagicha topiladi:

$$r_0 = r_{out} / n_f,$$

bu yerda r_{out} - fazadagi bitta o'tkazgichning qo'llanma jadvalidan olinuvchi solishtirma aktiv qarshiligi.

Po'lat-alyuminiy o'tkazgichlar uchun x_0 kesim yuzasiga, po'lat o'tkazgichlar uchun esa kesim yuzasi va tokka bog'liq holda qo'llanma jadvalidan olinadi.

EULning aktiv o'tkazuvchanligi ikkita ko'rinishdagi aktiv quvvat isroflarini ifoda etadi: izolyatorlar orqali oquvchi daydi toklar tufayli yuz

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

beruvchi isroflar va tojlanish isroflari.

Izolyatorlardagi daydi toklar qiymati juda kam bo'lib, amaldagi hisoblashlarda ular tufayli yuz beruvchi isroflarni hisobga olmaslik mumkin. Tojlanish darajasi o'tkazgichdagi kuchlanish va uning radiusiga bog'liq bo'ladi. Shu sababli bu isrofning qiymatini ruxsat etilgan oraliqda tutish uchun tojlanish bo'yicha ruxsat etiluvchi eng kichik kesim yuzasi belgilangan. Unga muvofiq eng kichik kesim yuzasi 110 kV uchun 70 mm², 150 kV uchun 120 mm², 220 kV uchun 240 mm².

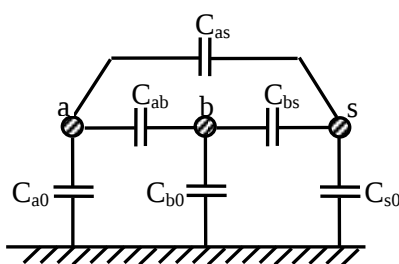
220 kV gacha kuchlanishli tarmoqlarning barqaror holatlarini hisoblashda aktiv o'tkazuvchanlik amalda e'tiborga olinmaydi. 330 kV va undan yuqori kuchlanishli tarmoqlarda quvvat isroflarini aniqlash va optimal holatlarni hisoblashda tojlanish isrofi hisobga olinishi lozim. Buning uchun odatda tojlanish isrofning kuchlanishga turli ko'rinishdagi bog'lanishlari hisobga olinadi.

Liniyaning sig'im o'tkazuvchanligi b_l alohida faza o'tkazgichlari oralaridagi va faza o'tkazgichlari bilan yer orasidagi sig'im ta'sirida (3.3- rasm) vujudga keladi va quyidagicha hisoblanadi:

$$b_l = b_0 l, \quad (3.6)$$

bu yerda b_0 - solishtirma sig'im o'tkazuvchanlik bo'lib, qo'llanma jadvalidan aniqlanishi yoki quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin:

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{ur}}{r_{ut}}} \cdot 10^{-6}. \quad (3.7)$$

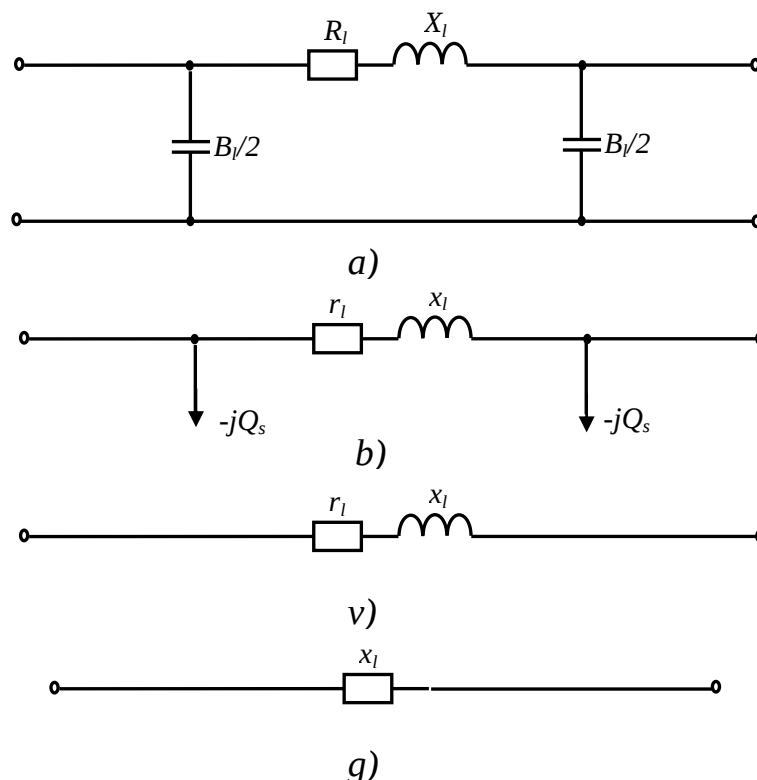


3.3-rasm. HL o'tkazgichlari va ular bilan yer orasida hosil bo'luvchi sig'implar

Aksariyat hollarda 110-220 kV kuchlanishli EULlarni hisoblashda ularning sxemalari yetarlicha sodda ko‘rinishda (3.4,b-rasm) ifodalanadi⁴⁰. Bu sxemada sig‘im o‘tkazuvchanlik o‘rniga u ta’sirida ishlab chiqariluvchi reaktiv quvvat hisobga olinadi (3.4,a-rasm). EUL sig‘im quvvatining yarmi quyidagicha topiladi:

$$Q_s = 3I_s U_{tm} = 3U_{tm}^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b_0 l = \frac{1}{2} U^2 b, \quad (3.8)$$

bu yerda U_{tm} va U - faza va fazalararo kuchlanishlar, kV; I_s - yerga tomon oquvchi sig‘im toki, $I_s = U_{tm} b_0 / 2 \cdot \dot{U}_2$



3.4-rasm. Elektr uzatish liniyasining almashtirish sxemasi
a,b)- 110-220 kV kuchlanishli havodagi uzatish liniyalari uchun; v)- 35 kV va undan past kuchlanishli havodagi uzatish liniyalari uchun; 10 kV va undan past kuchlanishli kabelli uzatish liniyalari uchun

(3.8) dan ko‘rinadiki, EULda ishlab chiqariluvchi Q_s reaktiv quvvat (zaryad

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

quvvati) kuchlanishning kvadratiga to'g'ri proporsionaldir. 35 kV va undan past kuchlanishli havodagi EULLarda b_s va bunga mos ravishda Q_s juda kichik bo'lganligi sababli e'tiborga olinmaydi (3.4,v-rasm). 330 kV va undan yuqori kuchlanishli 300-400 km dan uzun liniyalarning II-simon almashtirish sxemasi parametrlarini aniqlashda qarshilik va o'tkazuvchanliklarning liniya davomida bir tekis taqsimlanganligi hisobga olinadi.

3.2. Kabelli elektr uzatish liniyalarining parametrlari

Kabelli elektr uzatish liniyalarining almashtirish sxemalari ham umumiy hollarda havodagi liniyalardagi kabi II-simon ko'rinishda ifodalanadi (3.1-rasm). Ularda ham solishtirma aktiv va reaktiv qarshiliklar r_0 , x_0 havodagi liniyalardagi kabi qo'llanma jadvali bo'yicha aniqlanadi. (3.3), (3.7) formulalardan ko'rinib turibdiki, o'tkazgichlarning yaqinlashishi bilan x_0 kamayadi va b_0 ortadi. Kabelli EULLarda faza o'tkazgichlari oralaridagi masofalar kam bo'lganligi sababli x_0 havodagi EULLardagiga nisbatan juda kam bo'ladi. 10 kV va undan past kuchlanishdagi kabelli tarmoqlarning holatlarini hisoblashda faqat aktiv qarshilikni hisobga olish mumkin (3.4,g-rasm)⁴¹. Kabelli liniyalarda sig'im toki va mos ravishda Q_s havodagi liniyalardagiga nisbatan kattadir. Yuqori kuchlanishli kabel liniyalarida Q_s hisobga olinib (3.4,b-rasm), bunda solishtirma zaryad quvvati Q_{s0} qo'llanma jadvaldan aniqlanishi mumkin. g_l aktiv o'tkazuvchanlik 110 kV va undan yuqori kuchlanishli kabelli liniyalarda hisobga olinadi. Kabellar almashtirish sxemalarining qo'llanma jadvallarda berilgan solishtirma parametrlari r_0 , x_0 va Q_{s0} taxminiydir. Kabelning zavod harakteristikalarini bo'yicha ularni yanada aniqroq hisoblash mumkin.

3.1.- misol. Kesim yuzasi 10 mm^2 bo'lgan mis tomirli kabeldan tayyorlangan 5 km uzunlikdagi 6 kV nominal kuchlanishli liniyaning solishtirma

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

parametrlari va uning almashtirish sxemasi xisob parametrlarini topish talab etiladi.

Berilgan kesim yuzali va nominal kuchlanishli kabeldan tayyorlangan liniyaning solishtirma parametrlarini qo'llanma jadvallari bo'yicha aniqlaymiz:

$$r_0 = 1,84 \text{ } \Omega/\text{km}, \quad x_0 = 0,11 \text{ } \Omega/\text{km}, \quad b_0 = 63 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}/\text{km}.$$

Almashtirish sxemasining xisob parametrlarini topamiz:

$$r = 1,84 \cdot 5 = 9,2 \text{ } \Omega/\text{km};$$

$$x = 0,11 \cdot 5 = 0,55 \text{ } \Omega/\text{km};$$

$$b = 63 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 315 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}/\text{km}.$$

Almashtirish sxemasida sig'im o'tkazuvchanlikni hisobga olishning maqsadga muvofiqligini baholash uchun bu o'tkazuvchanlikda ishlab chiqariluvchi zaryad quvvatini hisoblaymiz:

$$Q_s = U^2 b = 6^2 \cdot 315 \cdot 10^{-6} = 11340 \cdot 10^{-6} \text{ M var} = 11,34 \text{ } \kappa \text{ var}.$$

Ko'rilayotgan kabel uchun qizish shartlari bo'yicha ruxsat etilgan tokni qo'llanma jadvallari bo'yicha aniqlash mumkin: 80 A. Bunday holatda

$$S_{maks} = \sqrt{3} U_{nom} I_{maks} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 80 = 830 \text{ } \kappa \text{ V} \cdot \text{A}.$$

Bunga mos ravishda,

$$\frac{Q_s}{S_{maks}} = \frac{11,34 \cdot 100}{830} = 1,4\%.$$

Zaryad quvvatining hosil bo'lgan qiymati almashtirish sxemasi asosida bajariluvchi hisoblash natijalarigi sezilarli ta'sir ko'rsata olmaydi. Shu sababli bu quvvatni e'tiborga olmaslik va almashtirish sxemasidan sig'im o'tkazuvchanlikni olib tashlash mumkin⁴².

Induktiv qarshilik uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{x}{r} = \frac{0,55 \cdot 100}{9,2} = 6\%$$

Bunday kichik nisbiy qiymatga ega bo'lganda induktiv qarshilikni ham almashtirish sxemasidan olib tashlash mumkin. Bunga mos holda ko'rilayotgan

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

masala uchun liniyaning almashtirish sxemasi faqat $r=9,2 \text{ Om}$ (3.4g- rasm) aktiv qarshilikdan iborat qilib tasvirlanishi lozim.

3.2-misol. O'tkazgichlari oralaridagi masofa $D_{AB}=D_{BS}=4 \text{ m}$ bo'lgan Π -simon tayanchlarda joylashgan, AS 150/24 markali o'tkazgichdan tayyorlangan 110 kV kuchlanishli bir zanjirli havo liniyasining solishtirma parametrlarini topish va uzunligi 50 km bo'lgan ikki zanjirli liniyaning almashtirish sxemasi parametrlarini hisoblash talab etiladi.

AS 150/24 markali o'tkazgichning solishtirma aktiv qarshiligi qiymati va diametrini qo'llanma jadvali bo'yicha aniqlaymiz: $r_0=0,198 \text{ Om/km}$, $d_{pr}=2r_{pr}=17,1 \text{ mm}$. Liniyaning o'tkazgichlari oralaridagi o'rtacha geometrik masofani topamiz:

$$D_{o'r} = \sqrt[3]{D_{AB}D_{BS}D_{AS}} = \sqrt[3]{4 \cdot 4 \cdot 8} = 5,04 \text{ m} = 5040 \text{ mm}.$$

Liniyaning solishtirma induktiv qarshiligi va solishtirma sig'im o'tkazuvchanligini hisoblaymiz:

$$x_0 = 0,144 \cdot \lg \frac{D_{ur}}{r_{ut}} + 0,157 = 0,144 \cdot \lg \frac{5040}{8,55} + 0,157 = 0,416 \text{ Om/km};$$

$$b_0 = 7,58 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\lg(5040/8,55)} = 2,74 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$$

AS 150/24 markali o'tkazgich uchun $D_{sr}=5040 \text{ mm}$ bo'lgan holatda qidirilayotgan parametrlarni qo'llanma jadvallari bo'yicha bevosita aniqlash mumkin: $x_0=0,42 \text{ Om/km}$, $b_0=2,7 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$. x_0 va b_0 larning qiymatlarini hisoblashga nisbatan qo'llanma jadvallaridan foydalanib aniqlash qulay va shu sababli ulardan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Ko'rilayotgan holatda solishtirma parametrlarning nisbati $\frac{r_0}{x_0} = \frac{0,198}{0,42} = 0,471$ ga teng, ya'ni $r_0 < x_0$.

Bunday nisbat $U_{nom}=110 \text{ kV}$ bo'lgan havo liniyasi uchun harakterlidir.

Uzunligi 50 km bo'lgan ikki zanjirli liniyaning almashtirish sxemasi parametrlarini topamiz:

$$r = 0,5 \cdot 0,198 \cdot 50 = 4,95 \text{ Om};$$

$$x = 0,5 \cdot 0,42 \cdot 50 = 10,5 \text{ Om};$$

$$b=2\cdot 2,7\cdot 10^{-6}\cdot 50=270\cdot 10^{-6} \text{ Sm}.$$

Liniyaning umumiy sig‘im o‘tkazuvchanligida ishlab chiqariluvchi zaryad quvvatining tahminiy qiymati:

$$Q_s=110^2\cdot 270\cdot 10^{-6}=3,27 \text{ Mvar}.$$

Bunday quvvat liniyaning holatini hisoblashda e‘tiborga olinishi shart.

Aktiv o‘tkazuvchanlikni e‘tiborga olmaslik mumkin, chunki AS 150/24 markali o‘tkazgichning diametri 17,1 mm bo‘lib, u tojlanish shartlari bo‘yicha minimal ruxsat etilgan diametrdan katta. Shu sababli ko‘rilayotgan liniyaning almashtirish sxemasida aktiv va induktiv qarshiliklar hamda sig‘im o‘tkazuvchanliklar mavjud bo‘lib, u 3.4,b- rasmdagi ko‘rinishda tasvirlanadi.

3.3- misol. II-simon tayanchlarda joylashib, 3xAS 500/64 parchalangan o‘tkazgichlardan tayyorlangan 500 kV kuchlanishli havo liniyasining solishtirma parametrlarini topish va uzunligi 200 km bo‘lgan liniyaning almashtirish sxemasi parametrlarini hisoblash talab etiladi.

O‘tkazgichlar gorizontall joylashib, qo‘shni fazalar oralaridagi masofa $D_{AB}=D_{BS}=12 \text{ m}$; bitta fazadagi o‘tkazgichlar oralaridagi masofa $a_{12}=a_{23}=a_{13}=40 \text{ sm}$. Tojlanish tufayli isrof bo‘luvchi yillik o‘rtacha quvvatning solishtirma qiymati $\Delta P_{toj,0}=7,5 \text{ kVt/km}$.

AS 500/64 markali bitta o‘tkazgich uchun $r_{rut}=0,06 \text{ Om/km}$; o‘tkazgichning diametri $d_{ut}=2\cdot r_{ut}=30,6 \text{ mm}$. Parchalangan o‘tkazgich uchun

$$r_0=\frac{1}{3}\cdot 0,06=0,02 \text{ Om/km}.$$

Bitta fazadagi o‘tkazgichlarning ekvivalent radiusi:

$$r_e=\sqrt[n]{r_{ut}\cdot a_{ur}^{n-1}}=\sqrt[3]{15,3\cdot 400^2}=134 \text{ mm}.$$

Faza o‘tkazgichlari oralaridagi o‘rtacha geometrik masofa:

$$D_{ur}=\sqrt[3]{D_{AB}D_{BS}D_{AS}}=\sqrt[3]{12\cdot 12\cdot 24}=15,1\text{m}=15100 \text{ mm}.$$

Solishitirma induktiv qarshilik, sig‘im va aktiv o‘tkazuvchanliklarni topamiz:

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{ur}}{r_e} + \frac{r_{0ut}}{n} = 0,144 \lg \frac{15100}{134} + \frac{0,0157}{3} = 0,295 + 0,0052 = 0,3 \text{ } Om / km;$$

$$b_0 = 7,58 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\lg \frac{D_{ur}}{r_e}} = 3,68 \cdot 10^{-6} \text{ } Sm / km.$$

$$g_0 = \frac{\Delta P_{toj,0}}{U_{nom}^2} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3}}{500^2} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ } Sm / km.$$

Yuqoridagi misollarda ko‘rib o‘tilgan holatlardagidan farqli ravishda 500 kV kuchlanishli elektr uzatish liniyasi uchun qo‘yidagi nisbat harakterlidir:

$$\frac{x_0}{r_0} = \frac{0,30}{0,02} = 15 \gg 1.$$

Uzunligi 200 km bo‘lgan liniyaning almashtirish sxemasi parametrlari:

$$r = r_0 l = 0,02 \cdot 200 = 4 \text{ } Om,$$

$$x = x_0 l = 0,3 \cdot 200 = 60 \text{ } Om,$$

$$b = b_0 l = 3,68 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 7,36 \cdot 10^{-4} \text{ } Sm,$$

$$g = g_0 l = 3 \cdot 10^{-8} \cdot 200 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ } Sm.$$

Liniyaning almashtirish sxemasi 3.1- rasmdagi ko‘rinishda bo‘ladi.

3.3. Ikki va uch chulg‘amli transformatorlarning parametrlari va almashtirish sxemalari

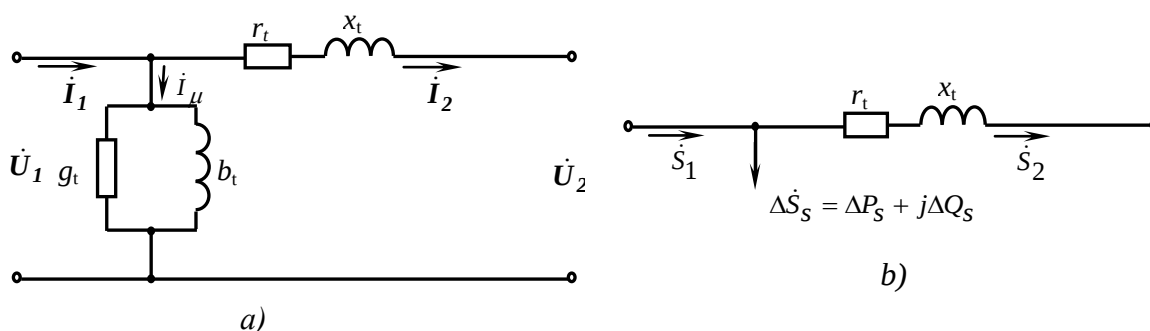
Ikki chulg‘amli transformatorning almashtirish sxemasini Γ -simon ko‘rinishda ifodalash mumkin (3.5-rasm)⁴³.

Almashtirish sxemasining bo‘ylama qismi transformatorning aktiv va reaktiv qarshiliklari $r_{t\varnothing}, x_{t\varnothing}$ ga ega. Bu qarshiliklar mos ravishda transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg‘amga keltirilgan ikkilamchi chulg‘amining aktiv va reaktiv qarshiliklari yig‘indisiga tengdir. Bunday sxemada transformatsiya, ya’ni ideal transformator mavjud bo‘lmasdan, ikkilamchi chulg‘amning qarshiliklari birlamchi chulg‘amga keltirilgan. Bunday keltirishda ikkilamchi chulg‘amning qarshiligi transformatsiyalash koeffitsientining kvadratiga

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

ko'paytiriladi. Agar transformator bilan bog'langan tarmoq birgalikda ko'rilsa va bunda tarmoq kuchlanishning bir xil darajasiga keltirilmasa, u holda transformatorning almashtirish sxemasida ideal transformator ko'rsatiladi.

Almashtirish sxemasidagi ko'ndalang shoxobcha (magnitlanish shoxobchasi) aktiv va reaktiv o'tkazuvchanliklar $g_{\bar{e}}$, $b_{\bar{e}}$ dan tashkil topgan. Aktiv o'tkazuvchanlik transformatorning po'latdan yasaluvchi o'zagida magnitlovchi tok I_{μ} orqali isrof bo'luvchi aktiv quvvat isroflarini ifodalaydi. Reaktiv o'tkazuvchanlik esa transformator chulg'amlaridagi o'zaro induksiya magnit oqimi bilan belgilanadi⁴⁴.



3.5-rasm. Ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi:

a) Γ -simon almashtirish sxemasi; b)- soddalashtirilgan almashlash

b) 220 kV va undan past kuchlanishni elektr tarmoqlarini hisoblashda transformatorlar soddalashtirilgan almashtirish sxemalari bilan tasvirlanadi (3.5,b-rasm). Bu sxemada magnitlanish shoxobchasining o'rniga transformator po'latida yoki salt ishlash holatida isrof bo'luvchi quvvat yuklama sifatida hisobga olinadi.

Har bir transformator uchun quyidagi parametrlar (katalog ma'lumotlari) ma'lumdir: S_n - transformatorning nominal quvvati, MVA; U_{yun}, U_{kn} - yuqori va quyi chulg'amlarining nominal kuchlanishlari, kV; ΔP_s - salt ishlash holatidagi aktiv isrof, kVt; I_s %- salt ishlash toki, I_n dan %; ΔP_k - qisqa tutashuv isrofi, kVt; u_k %- qisqa tutashuv kuchlanishi, U_n dan %. Bu ma'lumotlar bo'yicha

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

almashtirish sxemasining barcha parametrlarini (qarshiliklar va o'tkazuvchanliklarni), shuningdek ulardagi isroflarni topish mumkin.

Magnitlanish shoxobchasi o'tkazgichlari salt ishlash tajribasi natijalaridan foydalanib topiladi. Bu tajribada transformatorning ikkilamchi chulg'ami ochiq holatda bo'lib, birlamchi chulg'amga nominal kuchlanish beriladi. Bu holatda almashtirish sxemasining bo'ylama qismida tok nolga teng bo'lib, uning bo'ylama qismiga U_n kuchlanish qo'yilgan. Bunday holatda transformator faqat salt ishlash isroflariga teng bo'lgan quvvatni iste'mol qiladi. Bunda transformator faqat salt ishlash holatidagiga teng bo'lgan quvvat isrof qiladi:

$$\Delta \dot{S}_s = \Delta P_s + j\Delta Q_s.$$

Bundan kelib chiqib, o'tkazuvchanliklar quyidagi ifodalar bo'yicha topiladi:

$$g_t = \Delta P_s / U_n^2, \quad (3.9)$$

$$b_t = \Delta Q_s / U_n^2. \quad (3.10)$$

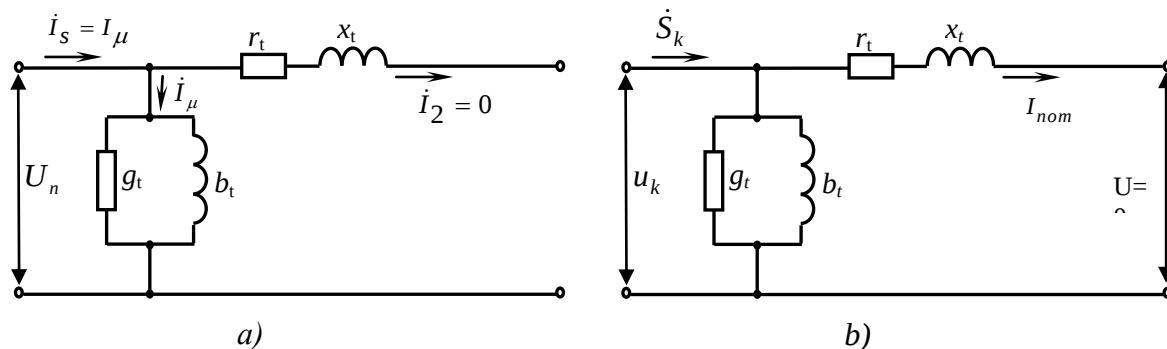
Transformatorning odatda po'latdan yasaluvchi o'zagida isrof bo'luvchi aktiv quvvat asosan kuchlanish bilan belgilanadi va u tahminan yuklamaning toki va quvvatiga (I_2 va S_2) bog'liq emas deb nazarda tutiladi. 3.4,b-rasmdagi sxemada ΔP_s o'zgarmas va katalog qiymatiga tengdir. Transformatorida magnitlash toki juda kichik aktiv tashkil etuvchiga ega, shu sababli

$$I_\mu = I_s \approx I_s'',$$

bu yerda $I_s'' - I_s$ ning reaktiv tashkil etuvchisi.

Yuqoridagidan quyidagilar kelib chiqadi:

$$\Delta Q_s = 3I_s''U_{f.n} \approx 3I_s U_{f.n} = 3 \cdot \frac{I_s \% I_s}{100} \cdot U_{f.n} = \frac{I_s \% S_n}{100}. \quad (3.11)$$



3.6- rasm. Salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalari sxemalari:
a)-salt ishlash tajribasi; b)-qisqa tutashuv tajribasi

Transformatorning salt ishlash holatidagi aktiv quvvati isrofi ΔP_s reaktiv quvvat isrofi ΔQ_s dan ancha kichik bo‘lib, salt ishlash holatidagi to‘la quvvati S_k tahminan magnitlovchi quvvat ΔQ_s ga teng.

(3.11) ni hisobga olib, b_t quyidagicha aniqlanadi:

$$b_t = \frac{I_s \% S_n}{100 U_n^2} \cdot \quad (3.12)$$

Transformatorlarning $r_{t\Box}$ va $x_{t\Box}$ qarshiliklari qisqa tutashuv (QT) tajribasi natijalaridan foydalanib topiladi. Bu tajribada transformatorning ikkilamchi chulg‘ami qisqa tutashtiriladi va birlamchi chulg‘amiga har ikkala chulg‘amlarda nominal toklar oqishini ta‘minlovchi kuchlanish beriladi. Bu kuchlanish qisqa tutashuv kuchlanishi u_k deb yuritiladi (3.6,b-rasm). Qisqa tutashuv holatida u_k U_n ga nisbatan juda kichik bo‘lganligi sababli magnitlanish shoxobchasida isrof bo‘luvchi quvvat ham juda kichik bo‘ladi va deyarli barcha quvvat chulg‘amda isrof bo‘ladi, ya’ni

$$\Delta P_k = 3 I_{n'}^2 r_{t\Box} = \frac{S_{n'}^2}{U_{n'}^2} r_{t\Box}, \quad (3.13)$$

va

$$r_{t\Box} = \frac{\Delta P_k U_{n'}^2}{S_{n'}^2}, \quad (3.14)$$

Zamonaviy katta quvvatli transformatorlarda $r_{t\Box} \ll x_{t\Box}$ va $u_k \approx u''_k$. Qisqa tutashuv tajribasidan (3.6,b-rasm)

$$u_k = \frac{u_k \% U_n}{100} \approx \sqrt{3} I_n x_t.$$

va

$$x_t = \frac{u_k \% U_n^2}{100 S_n}. \quad (3.15)$$

Transformator chulg'amidagi, ya'ni r_t qarshiliklari aktiv quvvat isrofi yuklama toki va quvvati I_2 va S_2 ga bog'liq bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta P_t = 3 I_2^2 r_t = \frac{S_2^2}{U_2^2} r_t.$$

Agar so'nggi ifodadagi r_t o'rniga uning (3.15) dagi ifodasini qo'ysak va $U_2^2 \approx U_n^2$ ekanligini hisobga olsak, u holda quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\Delta P_t = \frac{\Delta P_k S_2^2}{S_n^2}. \quad (3.16)$$

x_t dagi reaktiv quvvat isrofi ham (3.16) kabi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta Q_t = 3 I_2^2 x_t \frac{S_2^2}{U_n^2} x_t = \frac{u_k \% S_2^2}{100 S_n}. \quad (3.17)$$

Yuklama toki I_2 va quvvati S_2 oqib o'tib turgan transformatorlarda quvvat isrofi (3.11), (3.15) va (3.17) larni hisobga olib, quyidagicha topiladi:

$$\Delta P = \Delta P_s + \Delta P_t = \Delta P_s + \frac{\Delta P_k S_2^2}{S_n^2}, \quad (3.18)$$

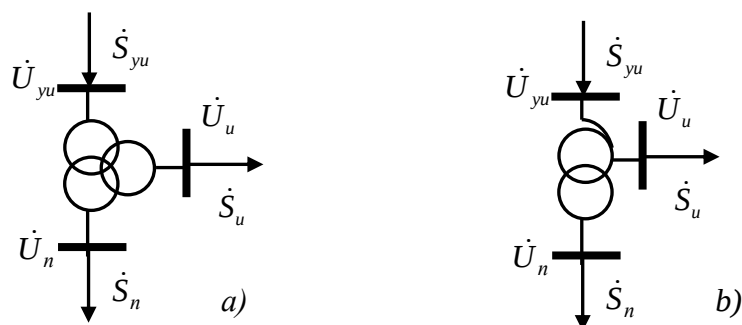
$$\Delta Q = \Delta Q_s + \Delta Q_t = \frac{I_s \% S_n}{100} + \frac{u_k \% S_2^2}{S_n^2}. \quad (3.19)$$

3.4. Avtotransformatorlar parametrlari

Ko'p hollarda nimstansiyada uchta nominal kuchlanish – yuqori U_{yu} , o'rta U_u va past U_p kuchlanishlar talab etiladi⁴⁵. Buning uchun ikkita ikki chulg'amli transformatorlardan foydalanish mumkin. Biroq ularga nisbatan bitta uch

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

chulg'amli transformator yoki uch chulg'amli avtotransformatordan foydalanish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir. Uch chulg'amli transformatorning chulg'amlari o'zaro magnitik bog'lanishda bo'ladi (3.7,a-rasm). Avtotransformator chulg'amlarining tutashish sxemasi 3.7,b-rasmda tasvirlangan bo'lib, unda pastki chulg'ami qolgan ikkala chulg'amlar bilan magnitik bog'lanishda, ketma-ket (P) va umumiy (O) chulg'amlari esa bir-biri bilan o'zaro elektrik va magnitik bog'lanishda bo'ladi (3.8,b-rasm). Ketma-ket chulg'am bo'ylab I_{yu} , umumiy chulg'am bo'ylab esa $I_{yu} - I_u$ tok oqadi.



3.7-rasm. Uchta nominal kuchlanishli nimstansiyaning sxemalari:
a)- uch chulg'amli transformator; b)- uch chulg'amli avtotransformator

Avtotransformatorning nominal quvvati deb uning nominal ish sharoitlarida yuqori kuchlanish tarmog'idan olishi yoki unga uzatishi mumkin bo'lgan eng katta quvvatga aytiladi:

$$S_n = \sqrt{3} U_{yun} I_{yun}. \quad (3.19)$$

Bu quvvat, shuningdek, *o'tish quvvati* deb ham yuritiladi⁴⁶. Bu quvvat avtotransformatorning quyi chulg'amida yuklama bo'lmagan holda yuqori kuchlanish tarmog'idan o'rta kuchlanish tarmog'iga yoki teskari yo'nalishda uzatishi mumkin bo'lgan eng katta quvvatdir.

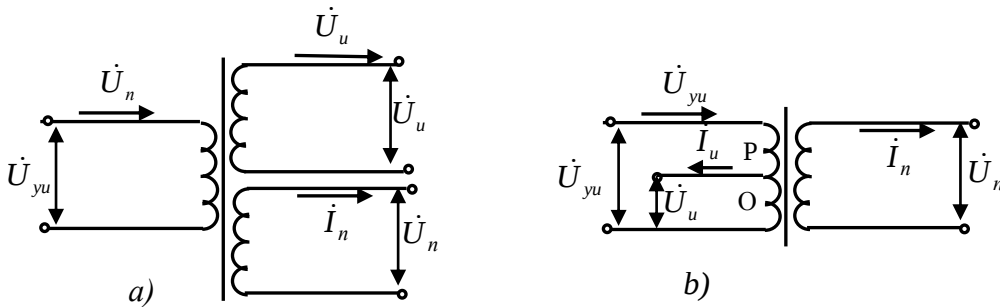
Avtotransformatorning ketma-ket chulg'ami P tip quvvatga mo'ljallab

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

quriladi (3.8,b-rasm):

$$S_{tip} = \sqrt{3}(U_{yun} - U_{un})I_{yun} = \sqrt{3}U_{yun}I_{yun}\left(1 - \frac{U_{un}}{U_{yun}}\right) = \alpha S_n, \quad (3.20)$$

bu yerda $\alpha = 1 - U_{un}/U_{yun}$ - S_{tip} ning S_n ga nisbatan necha marta kichik ekanligini ko'rsatib, u afzallik koeffitsienti deb yuritiladi.



3.8-rasm. Uch chulg'amli transformator va avtotransformator chulg'amlarining tutashish sxemasi: a)- uch chulg'amli transformator chulg'amlarining tutashish sxemasi; b)- uch chulg'amli avtotransformator chulg'amlarining tutashish sxemasi;

Umumiy chulg'amda kuchlanish U_{yun} ga, tok esa $I_{yu} - I_u$ ga teng, shu sababli uning quvvati S_n ga nisbatan kichikdir. Umumiy chulg'amning quvvati ham P tip quvvatiga teng ekanligini ko'rsatish mumkin. Past kuchlanish chulg'ami ham S_{tip} ga yoki undan kichik quvvatga mo'ljallab quriladi. Uning nominal quvvati avtotransformatorning nominal quvvati orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$S_{pn} = \alpha_{pn} S_n, \quad (3.21)$$

bu yerda $U_{yun} \leq 330$ kV uchun $\alpha_{pn} = 0,25; 0,4; 0,5$.

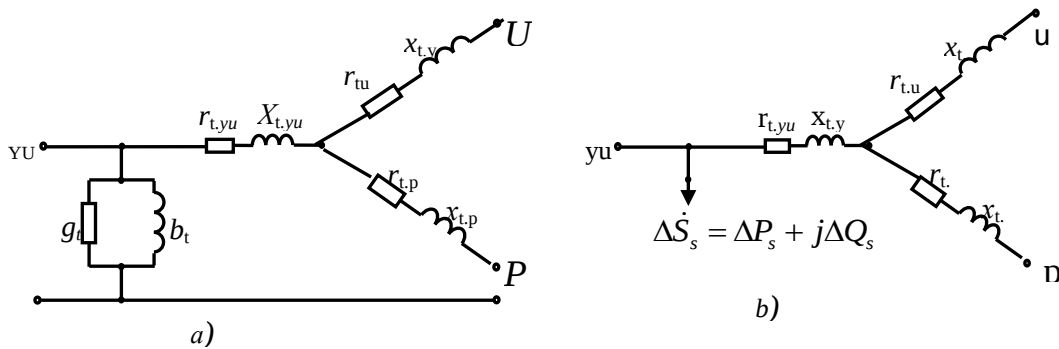
$U_n > 220$ kV bo'lgan holat uchun uch chulg'amli transformator va avtotransformatorning almashtirish sxemasi 3.9,a-rasmda, $U_n \leq 220$ kV bo'lgan holat uchun esa 3.9,b-rasmda tasvirlangan. Ushbu holatda ham salt ishlash isroflari ΔP_s va ΔQ_s ikki chulg'amli transformatorlardagidek hisoblanadi. Uch chulg'amli transformator va avtotransformatorelar uchun qisqa tutashuv isroflari va kuchlanishlari uchala chulg'amlar juftliklari uchun, ya'ni $\Delta P_{k(yu-u)}, \Delta P_{k(yu-n)}, \Delta P_{k(u-n)}$ va $u_{k(yu-u)}\%, u_{k(yu-n)}\%, u_{k(u-n)}\%$ ko'rinishida beriladi. Har bir

ΔP_k va $u_k\%$ mumkin bo'lgan uchta tajribaning biriga taalluqlidir. Masalan, $\Delta P_{k(yu-n)}$ va $u_{k(yu-n)}$ larning qiymatlari quyi chulg'am qisqa tutashtirilgan, o'rta chulg'am ochiq holda bo'lgan, yuqori chulg'amga quyi chulg'am orqali nominal tok oqishini ta'minlovchi $u_{k(yu-n)}$ kuchlanish berilgan holatda aniqlanadi. Bunday holda huddi ikki chulg'amli transformatorlardagidek

$$r_{tyu} + r_{tp} = \Delta P_{k(yu-p)} U_n^2 / S_n^2, \quad (3.22)$$

$$r_{tyu} + r_{tu} = \Delta P_{k(yu-u)} U_n^2 / S_n^2, \quad (3.23)$$

$$r_{tu} + r_{tp} = \Delta P_{k(u-p)} U_n^2 / S_n^2. \quad (3.24)$$



3.9-rasm. Avtotransportning almashtirish sxemalari:

a)- Γ -simon almashtirish sxemasi; b)- soddalashtirilgan almashtirish sxemasi

(3.22)-(3.24) tenglamalarda uchta noma'lum aktiv qarshiliklar mavjud. Ularni birgalikda yechish asosida alohida chulg'amlarning qarshiliklari uchun ifodalarga ega bo'lamiz:

$$r_{tyu} = \frac{\Delta P_{k,yu} U_n^2}{S_n^2}, \quad (3.25)$$

$$r_{tu} = \frac{\Delta P_{k,u} U_n^2}{S_n^2}, \quad (3.26)$$

$$r_{tp} = \frac{\Delta P_{k,p} U_n^2}{S_n^2}. \quad (3.27)$$

Bu yerda $\Delta P_{k,yu}, \Delta P_{k,u}, \Delta P_{k,p}$ lar quyidagi formulalar bo'yicha topiladi:

$$\Delta P_{k,yu} = 0,5(\Delta P_{k,(yu-u)} + \Delta P_{k,(yu-p)} - \Delta P_{k,(u-p)}), \quad (3.28)$$

$$\Delta P_{k,u} = 0,5(\Delta P_{k,(yu-u)} + \Delta P_{k,(u-p)} - \Delta P_{k,(yu-p)}), \quad (3.29)$$

$$\Delta P_{k,\Pi} = 0,5(\Delta P_{k,(yu-p)} + \Delta P_{k,(u-p)} - \Delta P_{k,(yu-u)}) . \quad (3.30)$$

Huddi shunga o'xshash tartibda $u_{k,yu} \%$, $u_{k,u} \%$, $u_{k,p} \%$ lar hisoblanadi:

$$u_{k,yu} \% = 0,5(u_{k,(yu-u)} \% + u_{k,(yu-p)} \% - u_{k,(u-p)} \%), \quad (3.31)$$

$$u_{k,u} \% = 0,5(u_{k,(yu-u)} \% + u_{k,(u-p)} \% - u_{k,(yu-p)} \%), \quad (3.32)$$

$$u_{k,p} \% = 0,5(u_{k,(yu-p)} \% + u_{k,(u-p)} \% - u_{k,(yu-u)} \%). \quad (3.33)$$

$u_{k,yu} \%$, $u_{k,u} \%$, $u_{k,p} \%$ larning topilgan qiymatlaridan foydalanib, quyidagi formulalar bo'yicha alohida chulg'amlarning reaktiv qarshiliklari aniqlanadi:

$$x_{tyu} = \frac{u_{k,yu} \% \cdot U_n^2}{100S_n}, \quad (3.34)$$

$$x_{t,u} = \frac{u_{k,u} \% \cdot U_n^2}{100S_n}, \quad (3.35)$$

$$x_{t,p} = \frac{u_{k,p} \% \cdot U_n^2}{100S_n}. \quad (3.36)$$

Barcha zamonaviy uch chulg'amli transformatorlar chulg'amlarining nominal quvvatlari bir xil qilib ishlab chiqariladi. Chulg'amlarining nominal quvvatlari turlicha bo'lgan ilgari ishlab chiqarilgan transformatorlarda juft chulg'amlar uchun katalog ma'lumotlari $u_k \%$, ΔP_k lar bitta quvvatga (odatda, yuqori chulg'amning quvvatiga) keltirilishi shart. $u_k \%$ ni keltirish chulg'amlarning quvvatlari nisbatiga proporsional, ΔP_k ni keltirish esa bu nisbatning kvadratiga proporsional tarzda amalga oshiriladi⁴⁷.

Avtotransformatorlar uchun qo'shimcha tartibda past chulg'amining nominal quvvati ham avtotransformatorning nominal quvvatiga nisbatan foizlarda ($\alpha_{p,n}$) ko'rsatiladi. Juft chulg'amlar uchun $u_k \%$ ning qiymati yuqori chulg'am kuchlanishi va avtotransformatorning nominal quvvatiga keltirilgan. $\Delta P_{k(yu-u)}$ ning qiymati avtotransformatorning nominal quvvati S_n ga, $\Delta P_{k(yu-p)}^p$,

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

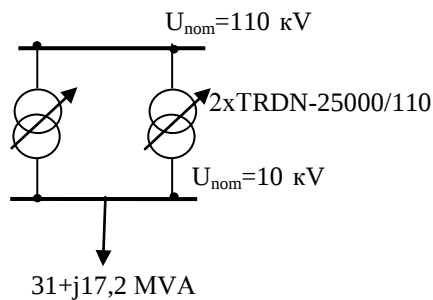
$\Delta P_{\kappa(u-p)}^p$ larning qiymatlari esa past chulgʻaming nominal quvvatiga, yaʼni $\alpha_{pn} S_n$ ga keltirilgan. Parametrlarning bunday koʻrinishda berilishi avtotransformatorning qisqa tutashuv tajribasi shartlari bilan belgilanadi. Masalan, yuqori va past kuchlanish chulgʻamlari juftligi uchun qisqa tutashuv tajribasida yuqori kuchlanish chulgʻamida kuchlanish shunchalik darajagacha ortadiki, bunda $S_{n,n}$ ga moʻljallangan qisqa tutashtirilgan past kuchlanish chulgʻamida tok S_n ga emas, balki $S_{n,n}$ mos keladi. Yuqori va oʻrta kuchlanish chulgʻamlari juftligi uchun qisqa tutashuv tajribasida (3.8,b-rasm) ketma-ket chulgʻamda tok S_n ga mos keladigan qiymatgacha ortadi. Avtotransformatorning juft chulgʻamlari uchun ΔP_k ning turli kuchlanishlarga keltirilgan pasport qiymatlarini bitta quvvat – nominal quvvatga keltirish lozim. Yuqorida aytib oʻtilganidek, bu keltirish chulgʻamlar quvvatlarining kvadratlari nisbatiga proporsionaldir:

$$\Delta P_{\kappa(yu-n)} = \frac{\Delta P_{\kappa(yu-n)}^n}{\alpha_{n,n}^2}, \quad (3.37)$$

$$\Delta P_{\kappa(u-n)} = \frac{\Delta P_{\kappa(u-n)}^n}{\alpha_{n,n}^2}. \quad (3.38)$$

3.3. - misol. Podstansiyada nominal quvvati 25 MVA boʻlgan ikkita TRDN tipidagi pasaytiruvchi transformatorlar oʻrnatilgan (3.10-rasm). Transformatorlar uch fazali ikki chulgʻamli boʻlib, quyidagi katalog (pasport) parametrlariga ega: $S_n=25 \text{ MVA}$; $U_{yun}=115 \text{ kV}$; $U_{pn}=10,5 \text{ kV}$; $u_k=10,5\%$; $\Delta R_s=27 \text{ kVt}$; $\Delta R_k=120 \text{ kVt}$; $I_s=0,7\%$.

Ikkita parallel holda ishlovchi transformatorlar almashtirish sxemasining yuqori kuchlanish tomoniga keltirilgan parametrlarini topish talab etiladi.



3.10-rasm 110 kV kuchlanishli ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi

110 kV kuchlanishli elektr tarmog'ida ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi 3.10-rasmda ko'rsatilgan. Bitta transformator uchun uning parametrlarini topamiz:

$$r_{T1} = \frac{\Delta P_k \cdot U_H^2}{S_H^2} = \frac{0,12 \cdot 115^2}{25^2} = 2,54 \text{ OM};$$

$$x_{T1} = \frac{u_k \% \cdot U_H^2}{100 \cdot S_H} = \frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 25} = 55,54 \text{ OM};$$

$$\Delta Q_c = \frac{0,7}{100} \cdot 25 = 0,175 \text{ MBAP}.$$

Ikkita parallel holda ishlovchi transformatorlar uchun:

$$r_T = \frac{2,54}{2} = 1,27 \text{ OM};$$

$$x_T = \frac{55,54}{2} = 27,77 \text{ OM};$$

$$\Delta S_c = \Delta P_c + j\Delta Q_c = 2 \cdot (0,027 + j0,175) = 0,054 + j0,35 \text{ MBA}.$$

3.4. - misol. TDTN-25000/220 tipdagi uch fazali uch chulg'amli transformator almashtirish sxemasining yuqori kuchlanish tomoniga keltirilgan parametrlarini topish talab etiladi.

Qo'llanma jadvaldan TDTN-25000/220 tipdagi transformatorning katalog parametrlarini olamiz: $S_n=25 \text{ MVA}$; $U_{yun}=230 \text{ kV}$; $U_{un}=38,5 \text{ kV}$; $U_{pn}=11 \text{ kV}$; $u_{k(yu-u)}=10,5\%$; $u_{k(yu-p)}=20\%$; $u_{k(u-n)}=6,5\%$; $\Delta R_k=135 \text{ kVt}$; $\Delta P_s=50 \text{ kVt}$; $I_s=1,2\%$.

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

Transformatorning uch turli yulduzcha ko'rinishidagi almashtirish

sxemasini (3.9,b-rasm) yuqori kuchlanish chulgʻami nominal kuchlanishiga keltirilgan aktiv qarshiliklarini aniqlaymiz:

$$r_{t.yu} = r_{t.u} = r_{t.p} = \frac{\Delta P_K \cdot U_n^2}{2 \cdot S_n^2} = \frac{0,135 \cdot 230^2}{2 \cdot 25^2} = 5,713 \text{ } Om.$$

Bunda almashtirish sxemasi turlari juftligining umumiy induktiv qarshiligi quyidagicha topiladi:

$$x_{t.(yu-u)} = \frac{12,5}{100} \cdot \frac{230^2}{25} = 264,5 \text{ } Om;$$

$$x_{t.(yu-p)} = \frac{20}{100} \cdot \frac{230^2}{25} = 423,2 \text{ } Om;$$

$$x_{t.(u-p)} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{230^2}{25} = 137,54 \text{ } Om.$$

Almashtirish sxemasining har bir turi induktiv qarshiliklarini

$$\begin{cases} x_{t.yu} + x_{t.u} = x_{t.(yu-u)}; \\ x_{t.yu} + x_{t.p} = x_{t.(yu-p)}; \\ x_{t.u} + x_{t.p} = x_{t.(u-p)}. \end{cases}$$

shartlardan foydalanib, quyidagicha topamiz:

$$x_{t.yu} = 0,5 \cdot (264,5 + 423,2 - 137,54) = 275,08 \text{ } Om;$$

$$x_{t.u} = 0,5 \cdot (264,5 + 137,54 - 423,2) \approx 0;$$

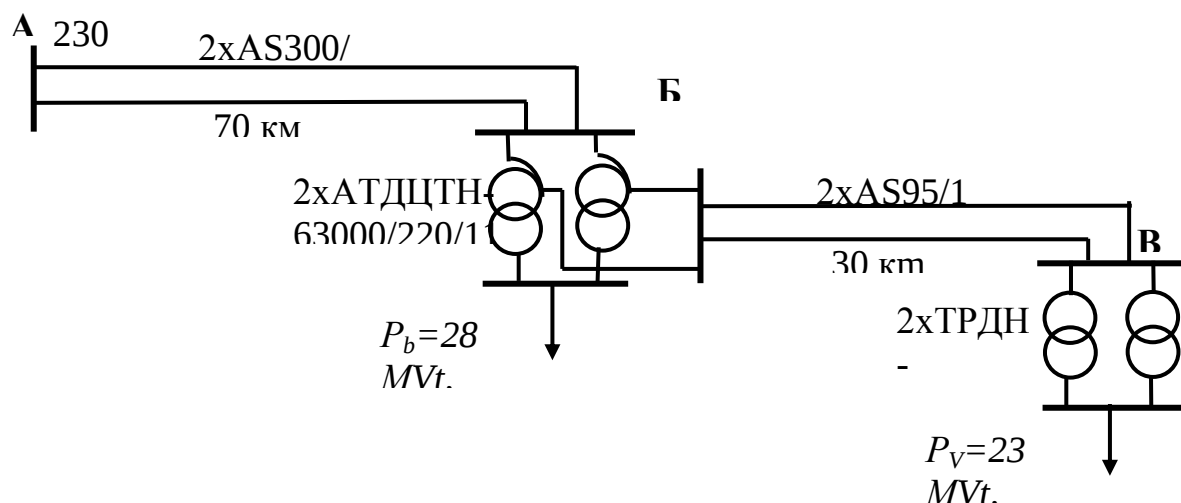
$$x_{t.p} = 0,5 \cdot (137,54 + 423,2 - 264,5) = 148,12 \text{ } Om.$$

Transformatorning salt ishlash isroflarini aniqlaymiz:

$$\Delta S_S = \Delta P_S + j\Delta Q_S = 0,05 + j \frac{1,2}{100} \cdot 25 = 0,05 + j0,3 \text{ } MVA.$$

3.5-misol. *B* va *V* yuklama podstansiyalari ikki zanjirli uzatish liniyasi orqali *A* podstansiyaning 220 kV kuchlanishli shinasidan ta'minlanadi. *B* podstansiyasida ikkita ATДІІТН-63000/220/110 tipdagi avtotransformatorlar, *V* podstansiyasida esa ikkita ТРДН-25000/110 tipdagi ikki chulgʻamli transformatorlar parallel holda ishlaydi (3.11-rasm). Oʻtkazgichlarning markalari, liniyalarning uzunliklari, *A* podstansiyaning shinasidagi kuchlanish, *B*

va V podstansiyalardagi yuklamalarning maksimal qiymatlari va aktiv quvvat koefitsientlari tarmoqning sxemasida keltirilgan.



3.11-rasm

Elektr tarmoqning maksimal yuklama holatini hisoblang.

Yechish. Qo'llanma jadvaldan liniyaning solishtirma parametrlari hamda avtotransformator va transformatorlarning katalog parametrlarini aniqlaymiz.

Liniya AB: AS300/39, $r_0=0,098 \text{ Om/km}$, $x_0=0,429 \text{ Om/km}$, $b_0=2,64 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$.

Liniya BV: AS95/16, $r_0=0,306 \text{ Om/km}$, $x_0=0,434 \text{ Om/km}$, $b_0=2,61 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$.

Avtotransformator ATДЦТН-63000/220/110: $S_{nom}=63 \text{ MVA}$, $U_{yun}=230 \text{ kV}$, $U_{un}=121 \text{ kV}$, $U_{kn}=11 \text{ kV}$, $u_{kyu-u}=11\%$, $u_{kyu-k}=35,7\%$, $u_{ku-k}=21,9\%$, $\Delta R_{kyu-u}=215 \text{ kVt}$, $\Delta R_s=45 \text{ kVt}$, $I_s=0,5\%$.

Transformator ТДТН -25000/110: $S_{nom}=25 \text{ MVA}$, $U_{yun}=115 \text{ kV}$, $U_{kn}=10,5 \text{ kV}$, $u_k=10,5\%$, $\Delta R_k=120 \text{ kVt}$, $\Delta R_s=27 \text{ kVt}$, $I_s=0,7\%$.

Liniyalar, transformatorlar va avtotransformatorlarning almashtirish sxemalari parametrlarini topamiz:

Liniya AB:

$$r_{AB} = \frac{r_0 l_{AB}}{2} = \frac{0,098 \cdot 70}{2} = 3,43 \text{ Om}, \quad x_{AB} = \frac{x_0 l_{AB}}{2} = \frac{0,429 \cdot 70}{2} = 15,015 \text{ Om},$$

$$B_{AB} = 2b_0 l_{AB} = 2 \cdot 2,64 \cdot 10^{-6} \cdot 70 = 3,766 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}.$$

Liniya BV:

$$r_{BV} = \frac{r_0 l_{BV}}{2} = \frac{0,306 \cdot 30}{2} = 4,59 \text{ Om}, \quad x_{BV} = \frac{x_0 l_{BV}}{2} = \frac{0,434 \cdot 30}{2} = 6,51 \text{ Om},$$

$$B_{BV} = 2b_0 l_{BV} = 2 \cdot 2,61 \cdot 10^{-6} \cdot 30 = 1,566 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}.$$

Avtotransformator podstansiyasi B:

$$\Delta \dot{S}_{SB} = \Delta P_{SB} + j \Delta Q_{SB} = 2 \cdot \left(0,045 + j \frac{I_x}{100} \cdot 63 \right) = 0,09 + j0,63 \text{ MVA},$$

$$r_{um} = \frac{\Delta P_{kyu-u} U_{yun}^2}{2 S_{nom}^2} = \frac{0,215 \cdot 230^2}{2 \cdot 63^2} = 1,432 \text{ Om},$$

$$r_{yu} = r_u = 0,5 \cdot r_{um} = 0,5 \cdot 1,432 = 0,716 \text{ Om}.$$

Ko'rilayotgan turdagi avtotransformator uchun quyi kuchlanish chulg'amining quvvati nominal quvvatning 50% ni tashkil qilganligi sababli

$$\alpha_n = \frac{S_{kn}}{S_{nom}} = 0,5 \text{ va}$$

$$r_\kappa = \frac{r_{yu}}{\alpha_n} = \frac{0,716}{0,5} = 1,432 \text{ Om}.$$

$$u_{kyu} = 0,5 \cdot (u_{kyu-u} + u_{kyu-K} - u_{ku-K}) = 0,5 \cdot (11 + 35,7 - 21,9) = 12,4\%,$$

$$u_{ku} = 0,5 \cdot (u_{kyu-u} + u_{ku-K} - u_{kyu-K}) = 0,5 \cdot (11 + 21,9 - 35,7) \approx 0\%,$$

$$u_{\kappa K} = 0,5 \cdot (u_{kyu-K} + u_{ku-K} - u_{kyu-Y}) = 0,5 \cdot (35,7 + 21,9 - 11) = 23,3\%$$

$$x_{yu} = \frac{u_{kyu} U_{yun}^2}{2 \cdot 100 \cdot S_{nom}} = \frac{12,4 \cdot 230^2}{2 \cdot 100 \cdot 63} = 52,06 \text{ Om}, \quad x_y = 0, \quad x_\kappa = \frac{23,3 \cdot 230^2}{2 \cdot 100 \cdot 63} = 97,83 \text{ Om}$$

Transformator podstansiyasi V:

V podstansiyadagi transformatorlarning ekvivalent almashtirish sxemasi parametrlarini yuqoridagi masala kabi aniqlaymiz va natijada quyidagini hosil qilamiz:

$$r_T = 1,27 \text{ Om};$$

$$x_T = 27,77 \text{ Om};$$

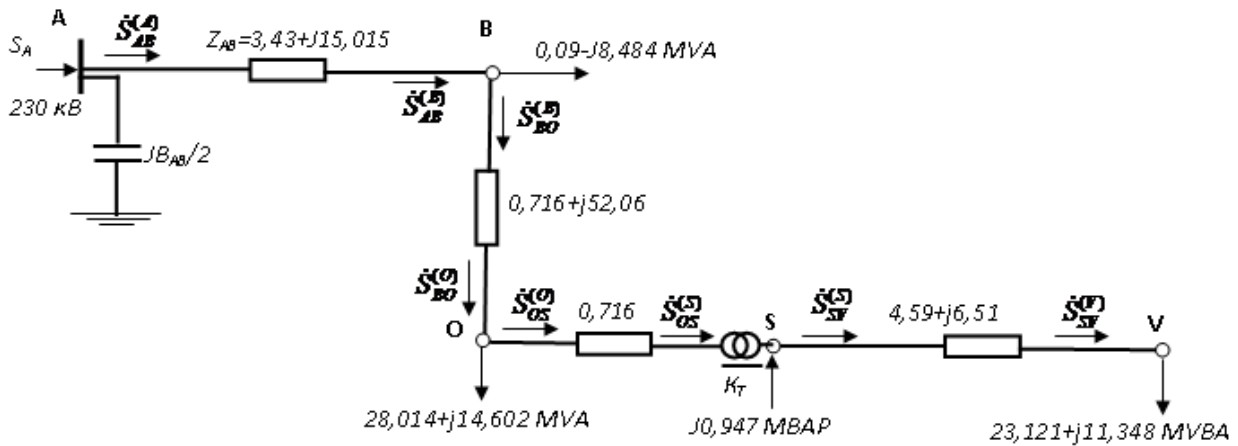
$$\Delta \dot{S}_{SV} = \Delta P_{SV} + j \Delta Q_{SV} = 0,054 + j0,35 \text{ MV} \cdot A.$$

B podstansiyasining yulduzcha ko'rinishidagi almashtirish sxemasini nol nuqtasiga keltirilgan yuklamasini hamda V podstansiyaning, B va S tugunlarning xisobiy yuklamalarini topamiz (3.12-rasm).

B va V podstansiyalar reaktiv yuklamalarining maksimal qiymatlari:

$$Q_B = P_B \tan \varphi_B = P_B \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_B}}{\cos \varphi_B} = 28 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,9^2}}{0,9} = 13,561 \text{ MVar},$$

$$Q_V = 23 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,91^2}}{0,91} = 10,479 \text{ MVar}.$$



3.12-rasm

$$\dot{S}_O = P_B + \frac{P_B^2 + Q_B^2}{U_{nom}^2} \cdot r_\kappa + j \left(Q_B + \frac{P_B^2 + Q_B^2}{U_{nom}^2} \cdot x_\kappa \right) = 28 + \frac{28^2 + 13,561^2}{220^2} \cdot 0,716 +$$

$$+ j \left(13,561 + \frac{28^2 + 13,561^2}{220^2} \cdot 52,06 \right) = 28,014 + j14,602 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_V' = P_V + \frac{P_V^2 + Q_V^2}{U_{nom}^2} \cdot r_T + \Delta P_{SV} + j \left(Q_V + \frac{P_V^2 + Q_V^2}{U_{nom}^2} \cdot x_T + \Delta Q_{cB} - U_{nom}^2 \cdot \frac{B_{BB}}{2} \right) = 23 + \frac{23^2 + 10,479^2}{110^2} \cdot 1,27 +$$

$$+ 0,054 + j \left(10,479 + \frac{23^2 + 10,479^2}{110^2} \cdot 27,77 + 0,35 - 110^2 \cdot \frac{1,566 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 23,121 + j11,348 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_B = \Delta P_{SB} + j \left(\Delta Q_{SB} - U_{nom}^2 \cdot \frac{B_{AB}}{2} \right) = 0,09 + j \left(0,63 - 220^2 \cdot \frac{3,766 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 0,09 - j8,484 \text{ MVA},$$

$$Q_S = U_{nom}^2 \cdot \frac{B_{BV}}{2} = 110^2 \cdot \frac{1,566 \cdot 10^{-4}}{2} = 0,947 \text{ MVar},$$

Elektr tarmoqning holatini ikki bosqichdan iborat bo'lgan iteratsion usul yordamida hisoblaymiz.

1 – bosqich. $U_V = U_O = 220 \text{ kV}$ va $U_S = U_V = 110 \text{ kV}$ deb faraz qilib, liniyalar va avtotransformatrlarning xisobiy yuklamalarini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned}\Delta \dot{S}_{SV} &= \frac{P_{SV}^{(V)^2} + Q_{SV}^{(V)^2}}{U_{nom}^2} \cdot \dot{Z}_{SV} = \frac{23,121^2 + 11,348^2}{110^2} \cdot (4,59 + j6,51) = 0,252 + j0,357 MVA; \\ \dot{S}_{SV}^{(S)} &= \dot{S}_{SV}^{(V)} + \Delta \dot{S}_{SV} = 23,121 + j11,348 + 0,252 + j0,357 = 23,373 + j11,705 MVA; \\ \dot{S}_{OS}^{(S)} &= \dot{S}_{SV}^{(S)} - jQ_S = 23,373 + j11,705 - j0,947 = 23,373 + j10,758 MVA; \\ \Delta \dot{S}_{OS} &= \frac{P_{OS}^{(S)^2} + Q_{OS}^{(S)^2}}{U_{nom}^2} \cdot \dot{Z}_S = \frac{23,373^2 + 10,758^2}{220^2} \cdot 0,716 = 0,01 MVA; \\ \dot{S}_{OS}^{(O)} &= \dot{S}_{OS}^{(S)} + \Delta \dot{S}_{OS} = 23,373 + j10,758 + 0,01 = 23,383 + j10,758 MVA; \\ \dot{S}_{BO}^{(O)} &= \dot{S}_{OS}^{(O)} + \dot{S}_O = 23,383 + j10,758 + 28,014 + j14,602 = 51,397 + j25,36 MVA; \\ \Delta \dot{S}_{BO} &= \frac{P_{BO}^{(O)^2} + Q_{BO}^{(O)^2}}{U_{nom}^2} \cdot \dot{Z}_B = \frac{51,397^2 + 25,36^2}{220^2} \cdot (0,716 + j52,06) = 0,049 + j3,535 MVA; \\ \dot{S}_{BO}^{(B)} &= \dot{S}_{BO}^{(O)} + \Delta \dot{S}_{BO} = 51,397 + j25,36 + 0,049 + j3,535 = 51,446 + j28,895 MVA; \\ \dot{S}_{AB}^{(B)} &= \dot{S}_{BO}^{(B)} + \dot{S}_B = 51,446 + j28,895 + 0,09 - j8,484 = 51,536 + j20,411 MVA; \\ \Delta \dot{S}_{AB} &= \frac{P_{AB}^{(B)^2} + Q_{AB}^{(B)^2}}{U_{nom}^2} \cdot \dot{Z}_{AB} = \frac{51,536^2 + 20,411^2}{220^2} \cdot (3,43 + j15,015) = 0,218 + j0,953 MVA; \\ \dot{S}_{AB}^{(A)} &= \dot{S}_{AB}^{(B)} + \Delta \dot{S}_{AB} = 51,536 + j20,411 + 0,218 + j0,953 = 51,754 + j21,364 MVA; \\ \dot{S}_A &= \dot{S}_{AB}^{(A)} - j \cdot U_A^2 \cdot \frac{B_{AB}}{2} = 51,754 + j21,364 - j230^2 \cdot \frac{3,766 \cdot 10^{-4}}{2} = 51,754 + j11,403 MVA.\end{aligned}$$

2-bosqich⁴⁸. A podstansiyaning shinalaridagi kuchlanish va topilgan quvvat oqimlari bo'yicha bo'laklardagi kuchlanish isroflari va B, V podstansiyalarda va elektr tarmoqning boshqa nuqtalaridagi kuchlanishlarni hisoblaymiz:

$$\begin{aligned}U_B &= U_A - \frac{P_{AB}^{(A)} \cdot r_{AB} + Q_{AB}^{(A)} \cdot x_{AB}}{U_A} = 230 - \frac{51,754 \cdot 3,43 + 21,364 \cdot 15,015}{230} = 230 - 2,17 = 227,83 \kappa V; \\ U_O &= U_B - \frac{P_{BO}^{(B)} \cdot r_B + Q_{BO}^{(B)} \cdot x_B}{U_B} = 227,83 - \frac{51,446 \cdot 0,716 + 28,895 \cdot 52,006}{227,83} = 227,83 - 6,75 = 221,07 \kappa V; \\ U_S &= \frac{U_O - \frac{P_{OS}^{(O)} \cdot r_s}{U_O}}{K_T} = \frac{221,07 - \frac{23,383 \cdot 0,716}{221,07}}{\frac{230}{121}} = \frac{221,07 - 0,08}{1,9} = 116,31 \kappa V; \\ U_V &= U_S - \frac{P_{SV}^{(S)} \cdot r_{BV} + Q_{SV}^{(S)} \cdot x_{BV}}{U_S} = 116,31 - \frac{23,373 \cdot 4,59 + 11,705 \cdot 6,51}{116,31} = 116,31 - 1,58 = 114,73 \kappa V.\end{aligned}$$

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

4. Elektr tarmoqlaridan energiya uzatish nazariyasi elementlari

4.1. Elektr tarmog‘i ish holatining tahlili

Ma'lumki, elektr energiyani uzatish jarayoni o'tkazgichlarning elektromagnit maydoni orqali amalga oshiriladi va bu jarayon to'liqsimon xususiyatga ega bo'lib, bunda energiya isrofi sodir bo'ladi, ya'ni tok o'tkazgichlar va transformatorlar orqali oqayotganda ularni befoyda qizdirish orqali issiqlik ajralishini yuzaga keltiradi.

Bu isrof yuklama toklari bilan bog'liq bo'lganligi tufayli yuklama isrofi deb yuritiladi. Hozirgi davrda elektr tarmoqlarida o'rtacha isrof uzatilayotgan quvvatning 10% ni tashkil etib, u tufayli bir yil davomida ko'riluvchi zarar mamlakat miqyosida yuz millionlab so'mni tashkil etadi. Bu harajatlardan tashqari yil davomida tizimdagi isrofni qoplash uchun stansiya qurilmalariga qo'shimcha uskunalar, reaktiv quvvatni kompensatsiyalovchi qurilmalar, yoqilg'i sarfi, qo'shimcha xodimlar mehnatini qoplash va boshqalar uchun bir vaqtning o'zida sarflanadigan qo'shimcha mablag' talab etiladi. Shuning uchun bu isrofni kamaytirish yo'llarini qidirish va tadbirlarini ishlab chiqish uchun doimiy ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borish zarurdir.

Elektr energiyani masofaga isroflarsiz uzatish o'ta yuqori o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan liniyalarda amalga oshirilishi mumkin. Ularda energiya 4°K temperaturagacha sovutilgan maxsus qotishmalaridan bajarilgan o'tkazgichlar orqali uzatiladi. Bunday liniyalarni yaratishning asosiy qiyinchiliklari past temperaturani ushlab turishi bilan bog'liq.

Katta oqimdagi energiyani isrofsiz uzatish uchun juda ko'p muammo va masalalarni hal etish talab etiladi.

4.2. Elektr uzatish liniyalarida quvvat isrofi

Uch fazali o'zgaruvchan tok liniyalaridagi aktiv va reaktiv quvvatlar isrofi, agar liniyaning o'tkazuvchanliklarini ($V=0$, $G=0$) hisobga olmasak, quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi: $\Delta P = 3I^2 r = 3(I_a^2 + I_p^2)r$ (4.1)

$$\Delta Q = 3I^2x = 3(I_a^2 + I_p^2)x \quad (4.2)$$

Bu yerda r va x – liniyaning aktiv va induktiv qarshiliklari; I_a va I_R – yuklamaning to‘la toki I ni aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari⁴⁹.

$$\text{Ma'lumki, } P = \sqrt{3}UI \cos \varphi; \quad Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi \quad (4.3)$$

To‘la tokni uning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari orqali ifodalaymiz:

$$I \cos \varphi = I_a, \quad I \sin \varphi = I_p \quad (4.4)$$

$$I_a \text{ va } I_R \text{ qiymatlarini (4.3) ga qo'yamiz: } P = \sqrt{3}I_a U, \quad Q = \sqrt{3}I_p U \quad (4.5)$$

Bundan $I_a = \frac{P}{\sqrt{3}U}$; $I_p = \frac{Q}{\sqrt{3}U}$ ifodalarni (4.1) va (4.2) ga qo'yib, quyidagi muhim ifodalarni hosil qilamiz:

$$\Delta P = 3I^2r = 3\left(\frac{P^2}{3U^2} + \frac{Q^2}{3U^2}\right)r = \frac{P^2 + Q^2}{U^2}r = \frac{S^2}{U^2}r. \quad (4.6)$$

$$\Delta Q = 3I^2x = 3\left(\frac{P^2}{3U^2} + \frac{Q^2}{3U^2}\right)x = \frac{P^2 + Q^2}{U^2}x = \frac{S^2}{U^2}x. \quad (4.7)$$

Bu yerda S to‘la quvvat.

Paydo bo‘lgan ifodalar bo‘yicha quyidagi hulosalarni hosil qilamiz:

1. Aktiv va shuningdek reaktiv quvvatlar isrofi R va Q ga bog‘liqdir.
2. Isrof kuchlanish kvadratika teskari proporsional. Shu sababli kuchlanishni kichik qiymatga ko‘tarilishi quvvat isrofini anchaga kamaytiradi. Ammo kuchlanishni ko‘tarish qo‘shimcha mablag‘ sarfini talab qiladi.

3. Liniya davomida bir necha ketma-ket ulangan yuklamalar mavjud bo‘lganda (4.1,a,b- rsam) undagi quvvat isrofi har bir uchastkadagi quvvat isroflarining yig‘indisidan iboratdir, ya’ni

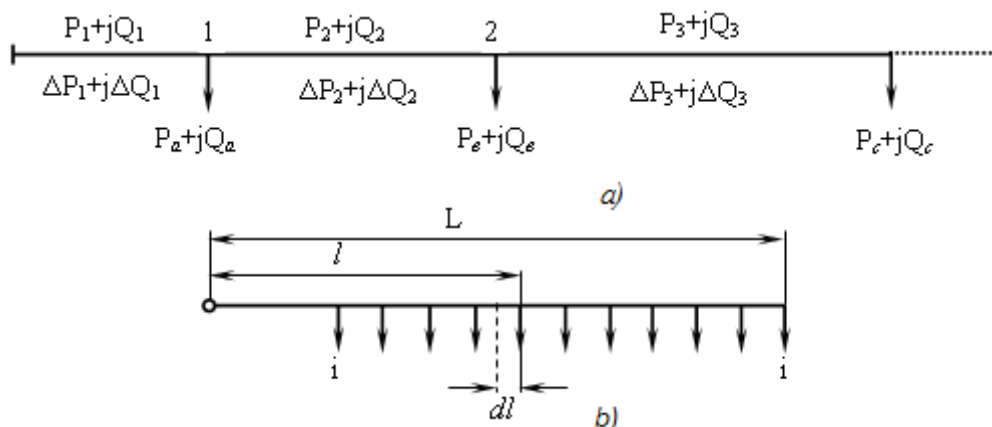
$$\begin{aligned} \Delta P_z &= \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_n, \\ \Delta Q_z &= \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \dots + \Delta Q_n. \end{aligned}$$

Bu yerda $\Delta R_1, \Delta R_2, \dots$ va $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots$ mos holda (4.6) va (4.7) ifodalar bo‘yicha aniqlanadi.

⁴⁹ Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

Yuklama liniyaning uzunligi davomida bir xil taqsimlanganda quvvat isrofi. Liniyaning butun uzunligida o'tkazgichning kesim yuzasi bir xil deb qabul qilamiz:

Uzunlik birligidagi liniyaning yuklamasini i_0 orqali belgilaymiz,



4.1-rasm Bir xil taqsimlanganda quvvat isrofi

ya'ni $i_0 = I/L$, A/km. Ta'minlovchi liniyaning boshlanishidagi l uzunlikdagi qismining dl masofasidagi yuklama idl ga tengdir⁵⁰.

Liniyaning dl uzunligining qarshiligi $r_0 dl$ orqali tokning oqib o'tishi natijasida yuz beruvchi quvvat isrofi:

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

Butun ko'rilayogan L uzunlik liniyadagi umumiy quvvat isrofi ΔR ni aniqlash uchun $0 - L$ oralig'idagi hamma juda kichik isroflar $d(\Delta R)$ qiymatlarini qo'shib chiqamiz, ya'ni:

$$\Delta P = \int_0^L 3(i_0 l)^2 r_0 dl = 3i_0^2 r_0 I^2 \int_0^L dl = 3i_0^2 r_0 \left[\frac{L^3}{3} \right]_0^L = I^2 r = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot r. \quad (4.8)$$

Yuqoridagi tartibda

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

$$\Delta Q = I^2 x = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} x. \quad (4.9)$$

Shunday qilib, yuklama liniya davomida bir xil taqsimlanganda quvvat isrofi huddi shu yuklama liniyaning oxirida bo'lgan holatidagiga nisbatan uch marta kam bo'ladi. Bunga (4.4), (4.5), (4.8), (4.9) ifodalarni taqqoslash orqali ishonch hosil qilamiz.

Uch fazali sistema amalda juda keng tarqalgan. Bunday sistemada bir xil quvvat va kuchlanishda bir fazali tizimdagiga nisbatan quvvat isrofi kam bo'ladi. Bu sistemalardagi isroflarni taqqoslaylik⁵¹.

Uch fazali tarmoqlar uchun

$$S = \sqrt{3}UI_3, \quad I_3 = \frac{S}{\sqrt{3}U}. \quad (4.10)$$

Bir fazali tarmoqlar uchun

$$S = UI_1, \quad I_1 = \frac{S}{U} \varphi. \quad (4.11)$$

Uch fazali tarmoq uchun quvvat isrofi

$$\Delta P_3 = 3I_3^2 r_3, \quad \Delta Q = 3I_3 x_3 \quad (4.12)$$

Bir fazali tarmoq uchun quvvat isrofi

$$\Delta P_1 = 2I_1^2 r_1, \quad \Delta Q_1 = 2I_1^2 x_1 \quad (4.13)$$

(4.10) va (4.11) larni mos ravishda (4.12) va (4.13) larga qo'ysak, quyidagilar hosil bo'ladi:

$$\text{uch fazali tarmoq uchun quvvat isrofi } \Delta P_3 = \frac{S^2}{U^2} r_3, \quad \Delta Q_3 = \frac{S^2}{U^2} x_3 \quad (4.14)$$

$$\text{bir fazali tarmoq uchun quvvat isrofi } \Delta P_1 = \frac{2S^2}{U^2} r_1, \quad \Delta Q_1 = \frac{2S^2}{U^2} x_1 \quad (4.15)$$

(4.14) va (4.15) taqqoslab, quyidagi xulosalarni hosil qilamiz. Haqiqatdan ham uch fazali tarmoqlarda quvvat isrofi bir fazali tarmoqlardagiga nisbatan 2 marta kam. Ammo, bir fazali sistemada ikkita, uch fazalida esa uchta o'tkazgich

² Mircea Eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

mavjud. Metall isrofini bir xil qilish uchun uch fazali tarmoqda o'tkazgichlarning kesim yuzasini bir fazalidagiga nisbatan 1,5 marta kamaytirish lozim. Bunda qarshilik 1,5 marta oshadi, ya'ni $r_3=1,5r_1$. Bu qiymatni ΔR_3 uchun ifodaga qo'ysak, quyidagini hosil qilamiz:

$$\Delta P_3 = (1,5S^2 / U^2)r_1$$

Demak, bir fazali tarmoqlarda quvvat isrofi uch fazali tarmoqlardagiga nisbatan $2/1,5=1,33$ marta ko'p bo'ladi.

4.3. Transformator va avtotransformatorlarda quvvat isrofi

Transformator va avtotransformatorlardagi aktiv va reaktiv quvvat isrofi salt ishlash holatidagi isroflar ΔR_s , ΔQ_s (g_t va b_t o'tkazuvchanliklardagi) va qisqa tutashuv holatidagi ΔR_T , ΔQ_T (chulg'amlarning r_t va x_t qarshiliklaridagi) isroflarga bo'linadi. Elektr uzatish liniyalarini transformatorlarni e'tiborga olib hisoblashda o'tkazuvchanliklar g_t va b_t o'tkazuvchanliklar mos yuklama ko'rinishida hisobga olinib, uzatilayotgan quvvat tenglamasiga (balansiga) kiradi⁵².

Transformator po'latidagi o'ta magnitlash uchun va uyurma toklar tufayli bo'ladigan aktiv quvvat isrofi transformatorning pasport ma'lumoti sifatida beriluvchi nominal kuchlanish U ostidagi (salt ishlash holatida) aktiv o'tkazuvchanlik g_t dagi isrof sifatida aniqlanadi. Bunda yuqori kuchlanish chulg'amidagi salt ishlash toki ta'sirida yuz beruvchi quvvat isrofi juda kam bo'lganligi sababli g_t o'tkazuvchanlikdagi isrof uchun quyidagi ifoda o'rinli bo'ladi:

$$\Delta P_{pul} \approx \Delta P_s \approx U_n^2 g_t \quad (4.16)$$

Bu yerda ΔR_{pul} - transformatorning po'latida (ya'ni odatda po'latdan yasaluvchi

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

o‘zagida isrof bo‘luvchi aktiv quvvat.

Transformatorni magnitlanishiga sarf bo‘luvchi reaktiv quvvat (Q reaktiv o‘tkazuvchanlik b_t bilan belgilanadi) transformatorning nominal tokka nisbatan foiz hisobida beriluvchi salt ishlash tokidan foydalanib topiladi. Salt ishlash tokining aktiv qismi juda kichik bo‘lganligi sababli $I_{pul}=0$ deb faraz qilsak, magnitlanish quvvati quyidagiga teng bo‘ladi:

$$\Delta Q_{pul} = \Delta Q_s = \frac{I_s \% S_n}{100} = U^2 b_t \quad (4.17)$$

Chulg‘amlarni qizdirishga sarf bo‘luvchi qisqa tutashuv holatidagi aktiv quvvat isrofini (bu isrof misdagi quvvat isrofi deb yuritiladi) (4.6) formuladagidek – quyidagicha topish mumkin:

$$\Delta P_t = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} r_t \quad (4.18)$$

Shu singari magnit oqimining yoyilishi tufayli yuzaga keluvchi reaktiv quvvat isrofini (4.7) formuladagi kabi aniqlash mumkin:

$$\Delta Q_t = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} x_t \quad (4.19)$$

(4.18) va (4.19) ifodalardagi kuchlanish transformator bevosita ulangan hisoblanayotgan liniyaning nominal kuchlanishidir.

Transformatorning chulg‘amidagi isrof ifodasini (4.18) dan boshqacharoq ko‘rinishda ham tasvirlash mumkin. Ma’lumki, qisqa tutashuv tajribasida $I=I_N$ bo‘lib, aktiv quvvat isrofi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta P_\kappa \approx 3I_n^2 r_t = \frac{S_n^2}{U_n^2} r_t$$

Yuklama tokining boshqa qiymatida ham transformatoridagi aktiv quvvat isrofi shu kabi topiladi:

$$\Delta P_t = 3I^2 r_t = \frac{S^2}{U_n^2} r_t$$

O‘zaro munosabat $\Delta R_t / \Delta R_k$ dan quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\Delta P_t = \Delta P_\kappa (S / S_n)^2 \quad (4.20)$$

Agar ΔQ_t uchun (4.19) ifodadagi x_t ning o'rniga uning (3.14) dagi ifodasini qo'ysak, quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$\Delta Q_t = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{S^2}{S_n} \quad (4.21)$$

(4.18) va (4.19) ifodalar ikki chulg'amli va uch chulg'amli transformatorlar va avtotransformatorlar uchun ularning chulg'amlarida yuklama har qanday bo'lganda ham quvvat isrofini aniqlash uchun yaroqlidir. Uch chulg'amli transformator yoki avtotransformatorning biror chulg'amidagi isrofni hisoblashda formuladagi transformatorning umumiy yuklamasi o'rniga chulg'amning yuklamasi, hamda r_t va x_t qarshiliklar o'rniga mos chulg'amning qarshiligi qo'yiladi. (4.20) va (4.21) formulalar past kuchlanish chulg'ami bo'lingan bo'lib, ulardagi yuklamalar bir xil bo'lgan ikki chulg'amli transformatorlardagi isroflar uchun ham o'rinlidir.

Shunday qilib, transformatoridagi umumiy aktiv, reaktiv va to'la quvvat isroflari quyidagicha hisoblanadi:

$$\begin{aligned} \Delta P_{t\Sigma} &= \Delta P_t + \Delta P_s \\ \Delta Q_{t\Sigma} &= \Delta Q_t + \Delta Q_s \\ \Delta S_{t\Sigma} &= \sqrt{\Delta P_{t\Sigma}^2 + \Delta Q_{t\Sigma}^2} \end{aligned}$$

4.1- misol. 35 kV kuchlanishli AS-70 markali o'tkazgichdan tayyorlangan ikki zanjirli 20 km uzunlikdagi liniyaning oxiridagi yuklama $S=5500$ kVA. Liniya zanjirlari ayrim tayanchlarda tortilgan bo'lib, o'tkazgichlar tayanchda tomoni 3,5 m bo'lgan teng tomonli uchburchakning uchlarida joylashgan. Liniyadagi quvvat isroflari va uning boshlanishidagi quvvatni hisoblash talab etiladi.

O'tkazgichlar oralaridagi o'rtacha geometrik masofa:

$$D_{ur} = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bs} \cdot D_{as}} = \sqrt[3]{3,5 \cdot 3,5 \cdot 3,5} = 3,5 \text{ m}$$

Aniqlangan D_{ur} bo'yicha AS-70 markali o'tkazgichdan yasalgan havodagi liniyaning 1 km uzunligi uchun aktiv va reaktiv qarshiliklarni qo'llanma

jadvaldan olamiz:

$$r_0=0,45 \text{ Om/km}, \quad x_0=0,404 \text{ Om/km}.$$

Liniyaning aktiv va reaktiv qarshiliklarini topamiz:

$$r = r_0 L / 2 = 0,45 \cdot 20 / 2 = 4,5 \text{ Om},$$
$$x = x_0 L / 2 = 0,404 \cdot 20 / 2 = 4,04 \text{ Om}.$$

(4.6) va (4.7) ifodalar bo'yicha liniyadagi quvvatlar isrofini aniqlaymiz:

$$\Delta P = \frac{S_1^2}{U^2} r = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} = 111,12 \text{ kVm},$$
$$\Delta Q = \frac{S_1^2}{U^2} x = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 4,04 \cdot 10^{-3} = 99,76 \text{ kVAR},$$
$$\Delta S = \sqrt{111,12^2 + 99,76^2} = 149,33 \text{ kVA}.$$

Liniyaning boshlanishidagi quvvat

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

4.2. - misol. 4.1-misolda ko'rib o'tilgan ikki zanjirli liniya oxiridagi iste'molchi nimstansiyasida ikkita 6300 kVA nominal quvvatli pasaytiruvchi transformatorlar parallel holda ishlamoqda. Tarmoqdagi quvvatlar isrofini hisoblash talab etiladi⁵³.

6300 kVA nominal quvvatli ikki chulg'amli transformatorning zaruriy pasport ma'lumotlarini qo'llanma jadvalidan olamiz:

$$S_n = 6300 \text{ kVA}, \quad r_t = 1,60 \text{ Om},$$
$$U_{yun} = 35 \text{ kV}, \quad x_t = 16,10 \text{ Om},$$
$$U_{nn} = 11 \text{ kV}, \quad \Delta P_s = 9,4 \text{ kVm},$$
$$\Delta Q_s = 56,7 \text{ kVAR}.$$

Podstansiya ikkita parallel ishlovchi transformatorlarga ega bo'lganligi sababli

$$\Delta P_s = 9,4 \cdot 2 = 18,8 \text{ kVm}, \quad r_t = 1,6 : 2 = 0,8 \text{ Om},$$
$$\Delta Q_s = 56,7 \cdot 2 = 113,4 \text{ kVAR}, \quad x_t = 16,1 : 2 = 8,05 \text{ Om}.$$

(4.16) va (4.17), (4.18) va (4.19) ifodalarga asosan transformatorlardagi quvvatlar isroflarini topamiz:

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

$$\begin{aligned}\Delta P_t &= \frac{S^2}{U^2} r_t = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 0,8 \cdot 10^3 = 19,76 \text{ } \kappa Vt, \\ \Delta Q_t &= \frac{S^2}{U^2} x_t = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 8,05 \cdot 10^3 = 198,79 \text{ } \kappa VAR, \\ \Delta P_{\Sigma} &= \Delta P_t + \Delta P_s = 19,76 + 18,8 = 38,56 \text{ } \kappa Vt, \\ \Delta Q_{\Sigma} &= \Delta Q_t + \Delta Q_s = 198,79 + 113,4 = 312,19 \text{ } \kappa VAR, \\ \Delta S_{\Sigma} &= \sqrt{38,56^2 + 312,19^2} = 314,56 \text{ } \kappa VA.\end{aligned}$$

Liniyaning oxiridagi quvvatni topamiz:

$$S_2 = S + \Delta S_{\Sigma} = 5500 + 314,56 = 5814,56 \text{ } \kappa VA$$

Liniyadagi quvvatlar isroflari:

$$\begin{aligned}\Delta P_l &= \frac{S_2^2}{U^2} r = \frac{5814,56^2}{35^2} \cdot 4,5 \cdot 10^3 = 125,22 \text{ } \kappa Vt, \\ \Delta Q_l &= \frac{S_2^2}{U^2} x = \frac{5814,56^2}{35^2} \cdot 4,04 \cdot 10^3 = 112,42 \text{ } \kappa VAR, \\ \Delta S_l &= \sqrt{125,22^2 + 112,42^2} = 168,28 \text{ } \kappa VA.\end{aligned}$$

Liniyaning boshlanishidagi quvvat:

$$S_1 = S_2 + \Delta S_l = 5814,56 + 168,28 = 5982,84 \text{ } \kappa VA.$$

4.4. Liniya va transformatorlarda elektr energiya isrofi

Quvvat – vaqt birligidagi energiya bo‘lganligi sababli tarmoqdagi energiya isrofini quvvat isrofini tarmoqni berilgan yuklamada ishlagan vaqtiga ko‘paytirib aniqlash mumkin:

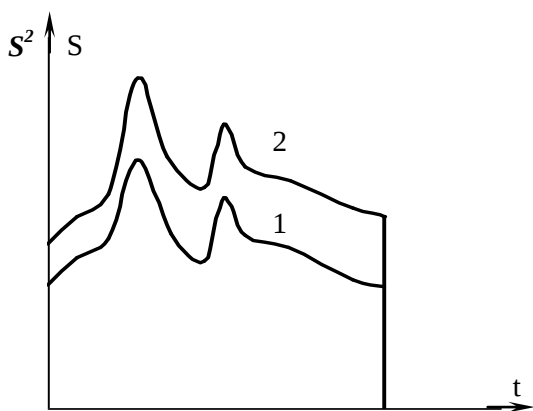
$$\Delta W = 3I^2 R t = \Delta P \cdot t \quad (4.22)$$

Iste’molchilar yuklamalari sutka, yil davomida o‘zgarib turganligi sababli quvvat isrofining qiymati ham o‘zgarib turadi⁵⁴.

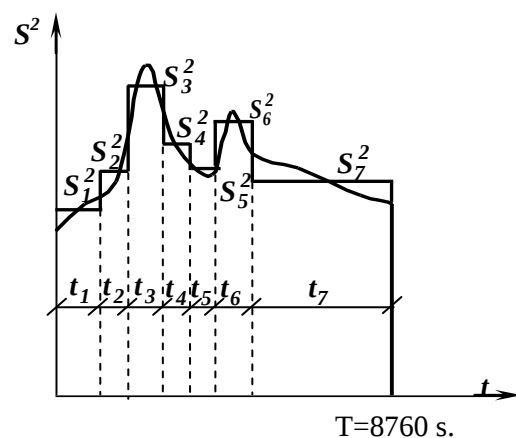
Agarda ajratib ko‘rsatilgan iste’molchi yuklamalarining yillik grafigi 4.2-4.3-rasmda (1- egri chiziq) tasvirlanganidek bo‘lsa, unda tarmoqdagi energiya isrofi yuklamalar kvadrati grafigining yuzasiga proporsional bo‘ladi (2- egri chiziq) va quyidagicha ifodalanishi mumkin:

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

$$\Delta W = \int_0^t P dt \quad (4.23)$$



4.2-rasm. Ajratib ko'rsatilgan
Iste'molchining yillik yuklama grafigi



4.3-rasm. Pog'onali yillik
yuklama grafigi

Quvvat isrofining (4.6) dagi ifodasini qo'ysak, u holda energiya isrofi uchun quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$\Delta W = \int_0^T \frac{P^2 + Q^2}{U^2} r dt = \frac{r}{U^2} \int_0^T (P^2 + Q^2) dt = \frac{r}{U^2} \int_0^T S^2 dt \quad (4.24)$$

Bu yerda T -iste'molchining ulanish vaqti. Agar iste'molchi bir yil davomida ulanib turgan bo'lsa, ya'ni $T=8760$ soat bo'lsa, u holda yillik energiya isrofini aniqlash uchun 2-egri chiziq bilan chegaralangan yuzani aniqlash etarlidir. Amalda yuklamalar kvadratini yillik grafigini kichik vaqtlar $t_1, t_2, t_3, \dots$ oraliqlaridagi, $S_1, S_2, S_3, \dots$ (4.3-rasm) yuklamalar qiymatiga tegishli bo'lgan pag'onali taxminiy grafik bilan almashtirish mumkin. Unda yillik energiya isrofi quyidagicha yig'indi ko'rinishida aniqlanadi:

$$\Delta W = \frac{r}{U^2} (S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + S_3^2 t_3 + \dots + S_n^2 t_n) \quad (4.25)$$

Tarmoqdagi energiya isrofini aniqlashning keyingi usuli o'rtacha kvadrat quvvat qiymatlariga asoslangan usulidir (4.4-rasm). O'rtacha kvadrat quvvat shunday quvvatki, u butun T vaqt davomida o'zgarmas bo'lib, liniyadan oqib turganda yuz beruvchi energiya isrofi shu liniyada T vaqt davomida yuklama

grafigiga muvofiq quvvat oqib turgandagiga teng bo‘ladi. Bundan kelib chiqqan holda koordinata o‘qlari, $S_{ur.kv}^2$ va T bilan chegaralangan to‘g‘ri to‘rtburchakning yuzasi koordinata o‘qlari, S^2 ning grafigi va T bilan chegaralangan figuraning yuzasiga teng bo‘ladi.

$S_{ur.kv}$ ning qiymatini aniqlab, energiya isrofini quyidagi ifodadan topish mumkin.

$$\Delta W = \frac{r}{U^2} S_{ur.kv}^2 \cdot T \quad (4.26)$$

Yuqorida keltirilgan energiya isrofini aniqlash usullari bir qator kamchiliklarga ega bo‘lib, faqat yuklamalar grafigi bo‘lgandagina ishlatilishi mumkin. Keng tarqalgan maksimal isroflar vaqti tushunchasiga asoslangan usulda energiya isroflarini hisoblash ancha soddadir.

Yuklamalarning yillik grafigi uchun (4.5-rasm) shunday T_{maks} vaqtni topish mumkinki, bu vaqt davomida iste’molchi o‘zgarmas S_{maks} yuklama bilan ishlab, tarmoqdan qabul qiluvchi energiyasi u bir yil davomida yuklama grafigi $S(t)$ bo‘yicha ishlab tarmoqdan qabul qiluvchi energiyaga teng bo‘lsin.

Quvvat koeffitsienti o‘zgarmas bo‘lganda bu shartni quyidagicha yozish mumkin:

$$W = P_{maks} \cdot T_{maks} = S_{maks} \cdot \cos \varphi_{ur} \cdot T_{maks} = \cos \varphi_{ur} \cdot \int_0^{t=8760} S dt \quad (4.27)$$

Bu yerda $\cos \varphi_{ur}$ – yil davomida tahminan o‘zgarmas deb qabul qilingan quvvat koeffitsientining o‘rtacha qiymati; T_{maks} - maksimal yuklamada ishlash vaqti. Demak, (4.27) dan

$$T_{maks} = \frac{\int_0^{t=8760} S dt}{S_{maks}} \quad (4.28)$$

Liniyadan uzatilayotgan yillik energiya miqdorini va maksimal aktiv quvvatni bilib, (4.27) ifodadan maksimal quvvatda ishlash vaqtini aniqlash mumkin:

$$T_{maks} = \frac{W}{P_{maks}} = \frac{W}{S_{maks} \cos \varphi_{ur}} \quad (4.29)$$

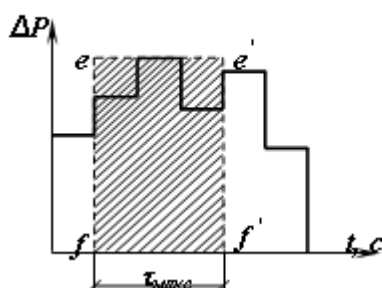
Har qanday iste'molchi o'zining maksimal yuklamada ishlash vaqti kattaligi bilan harakterlidir. Hisoblashlarda bu kattalikni statistik ma'lumotlarga asosan qabul qilish mumkin.

Yuqoridagiga o'xshash tarzda shunday τ vaqtni aniqlash mumkinki, bu vaqt davomida liniyada maksimal quvvat isrofi ΔR_{maks} o'zgarmas bo'lgan holda yuz beruvchi energiya isrofi shu liniya bir yil davomida yuklama grafigiga muvofiq holda o'zgaruvchan quvvat isrofi bilan ishlagan holatdagi energiya isrofiga teng bo'lsin (4.6-4.7-rasm). Bunday τ vaqt maksimal isroflar vaqti deb yuritiladi. ΔR_{maks} va τ ma'lum bo'lganda energiya isrofi tomonlari ushbu miqdorlarga teng bo'lgan to'g'ri to'rtburchakning yuzasi bilan aniqlanadi (4.6-rasm):

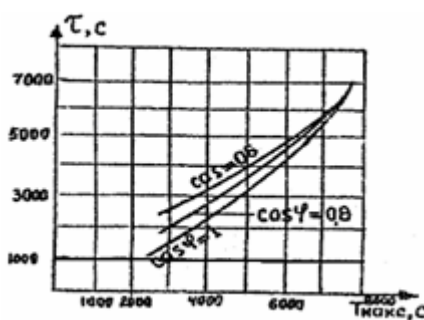
$$\Delta W = \Delta P_{maks} \tau = \frac{r}{U^2} S_{maks}^2 \tau = \frac{r}{U^2} \int_0^{8760} \delta^2 dt \quad (4.30)$$

Bu yerdan maksimal isrofda ishlash vaqti aniqlanadi:

$$\tau = \frac{\Delta W}{\Delta P_{maks}} = \frac{\int_0^{8760} \delta^2 dt}{S_{maks}^2} \quad (4.31)$$



4.6-rasm. Maksimal isrof vaqtini aniqlash



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

Amaliyotda τ ni T_{maks} orqali aniqlash mumkin, chunki ular orasida muayyan bog'liqlik mavjud.

(4.28) va (4.31) formulalardan ko‘rinib turibdiki, T_{maks} yuklamalar grafigining o‘zgarish harakteriga, ya’ni bu ifodalardagi integral ostidagi $S(t)$ funksiyaga bog‘liq. τ ning T_{maks} ga bog‘liqligini aniqlash uchun har xil iste’molchilarning har xil T_{maks} kattaliklarga ega bo‘lgan bir qator yuklamalar grafiklarini hamda $S^2(t)$ egri chizig‘ini aniqlab, bu grafiklarni integrallash, so‘ngra (4.28) va (4.31) ifodalar yordamida τ ning T_{maks} ga bog‘liqligini $\cos\varphi$ ning har xil qiymatlari uchun aniqlash lozim⁵⁵.

Bu egri chiziqlardan foydalanib, maksimal isroflar vaqti usuli yordamida energiya isrofini aniqlash mumkin.

Hisoblash tartibi quyidagicha. Aktiv qarshiligi r bo‘lgan ko‘rilayotgan liniyaning aktiv quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_{ur} = \frac{P_{maks}}{S_{maks}}$ bo‘lgan maksimal yuklamasi $S_{maks} = \sqrt{P_{maks}^2 + Q_{maks}^2}$ ni va berilgan kategoriyali iste’molchining maksimal yuklamada ishlash vaqti T_{maks} ni aniqlab, berilgan $\cos\varphi_{ur}$ va aniqlangan T_{maks} uchun 4.7-rasmda keltirilgan egri chiziqlar orqali maksimal isrof vaqti τ ni topiladi. Liniyaning muayyan nominal kuchlanishi U_n da undagi yillik elektr energiya isrofi ΔW ni (4.30) formulasi yordamida topishimiz mumkin:

$$\Delta W = \frac{r}{U_n^2} \cdot S_{maks}^2 \cdot \tau$$

yoki

$$\Delta W = \frac{P_{maks}^2 + Q_{maks}^2}{U_n^2} \cdot r \cdot \tau \quad (4.32)$$

Liniya davomida bir nechta yuklamalar ulangan holatda undagi energiya isrofi har bir uchastkadagi energiya isrofini qo‘shish asosida aniqlanadi.

Agarda ko‘rilayotgan liniya uchastkasi orqali har xil R_{1maks} , R_{2maks} , R_{3maks} va ularga mos maksimal yuklamada ishlash vaqti T_1 , T_2 , T_3 bo‘lgan iste’molchilarga quvvat uzatilayotgan bo‘lsa, unga isrofni aniqlash uchun uzatilayotgan energiyani o‘rtacha qiymatini hisobga olgan holda, (4.29) formula

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

bilan aniqlanadigan maksimal quvvatda ishlash vaqtining o'rtacha qiymatini olish lozim:

$$T_{maks.ur} = \frac{W}{P_{maks}} = \frac{P_{1maks}T_{1maks} + P_{2maks}T_{2maks} + \dots + P_{nmaks}T_{nmaks}}{K_o(P_{1maks} + P_{2maks} + \dots + P_{nmaks})} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{i,maks}T_{i,maks}}{K_o \sum_{i=1}^n P_{i,maks}} \quad (4.33)$$

Bu yerda K_o –yuklamalar gruppasining grafigidan aniqlanadigan bir vaqtlik koeffitsienti.

Po'lat o'tkazgichli liniyalarda energiya isrofini hisoblashda tokning o'zgarishi tufayli bo'ladigan aktiv qarshilikni hisobga olish zarur.

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

1. yuklamalarga bog'liq bo'lgan isrof $\Delta R_k \cdot \tau$,
2. yuklamalarga bog'liq bo'lmagan isrof $\Delta R_s \cdot T$.

Demak,
$$\Delta W = \Delta P_s T + \Delta P_k \cdot \tau \quad (4.34)$$

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

Salt ishlash quvvat isrofi ΔR_s transformatoridan oqayotgan quvvatiga bog'liq bo'lmay, balki berilgan transformatorning tuzilishiga bog'liq bo'lib, kuchlanish va quvvatning biror qiymatlarida o'zgarish kattalikni tashkil etadi.

Qisqa tutashuv quvvat isrofi, ya'ni chulg'amda quvvat isrofi ΔR_k qisqa tutashuv isrofining nominal qiymatiga teng bo'lmasdan, transformatoridan oqayotgan quvvatga bog'liq holda o'zgaradi. Shunday qilib, bu isrof quvvatlarning kvadratiga proporsionaldir, ya'ni:

$$\Delta P_k / \Delta P_{k,n} = S_t^2 / S_{t,n}^2$$

Bu yerda S_t - transformatoridan oqayotgan haqiqiy quvvat; $S_{t,n}$ - transformatorning nominal quvvati.

Unda haqiqiy qisqa tutashuv quvvati quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta P_k = \Delta P_{k,n} S_t^2 / S_{t,n}^2 \quad (4.35)$$

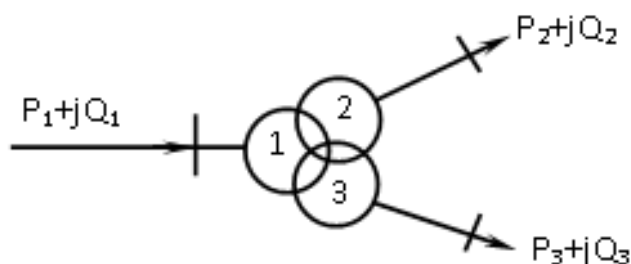
ΔR_s va $\Delta R_{k,n}$ ning qiymatlari transformatorlarning katalog ma'lumotlari sifatida qo'llanma jadvallarida keltirilgan. τ ning qiymati T_{maks} va $\cos\varphi$ ning qiymatlari bilan aniqlanadi.

n ta transformatorlar parallel ishlaganda ularda isrof bo'luvchi umumiy energiya (4.34) va (4.35) larga asosan quyidagicha topiladi:

$$n\Delta W_t = n\Delta P_s T + \Delta P_{\kappa,n} (S_t^2 / S_{t,n}^2 n) \quad (4.36)$$

Bu yerda S_t – transformatorlardan oqayotgan quvvatlar yig'indisi; $S_{t,n}$ – har bir ayrim transformatorning nominal quvvati.

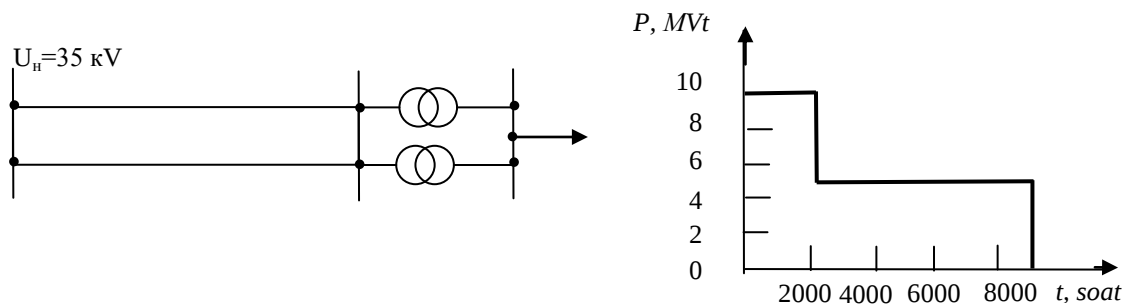
Uch chulg'amli transformatorlarda umumiy quvvat isrofini topish uchun (4.8- rasm) eng avval 2 va 3 chulg'amlardagi isroflar aniqlanadi, so'ngra bu quvvat isroflarini ikkala chulg'amlardan oqayotgan quvvatlarga qo'shib 1- chulg'amdagi isrof aniqlanadi. Bo'lingan chulg'amli transformatorlarda ham quvvat isrofi har bir chulg'am uchun alohida hisobga olinadi.



4.8- rasm. Uch chulg'amli transformatorning sxemasi

4.3. -misol. 4.9-rasmda keltirilgan 35 kV kuchlanishli elektr uzatmada yillik energiya isrofini berilgan yuklama grafigi (4.10-rasm) va maksimal isroflar vaqti τ bo'yicha hisoblash talab etiladi.

Elektr uzatish liniyasining uzunligi 15 km, solishtirma parametrlari $r_0=0,28 \text{ Om/km}$, $x_0=0,43 \text{ Om/km}$. Har bir transformatorning nominal quvvati 6300 kV·A ($\Delta R_s=9,2 \text{ kVt}$, $\Delta R_k=46,5 \text{ kVt}$). $\cos\varphi=0,9$.



4.9, 4.10-rasm. Yuklama maksimal bo'lgan holatdagi quvvatlar isrofini hisoblaymiz:

$$\Delta P_t = 0,5 \cdot \Delta P_\kappa \cdot \left(\frac{P_{maks}}{S_n \cos \varphi} \right)^2 + 2 \cdot \Delta P_s = 0,5 \cdot 46,5 \cdot \left(\frac{10}{6,3 \cdot 0,9} \right)^2 + 2 \cdot 9,2 = 72,17 + 18,4 = 90,57 \text{ kVt};$$

$$\Delta P_l = \frac{S_{maks}^2}{U_n^2} \cdot r_l = \frac{\left(\frac{10}{0,9} \right)^2}{35^2} \cdot \frac{0,28 \cdot 15}{2} \cdot 10^3 = 211 \text{ kVt};$$

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_t + \Delta P_l = 90,57 + 211 = 301,57 \text{ kVt};$$

$$\Delta P_{\Sigma}^* = \frac{\Delta P_\Sigma}{P_n} = \frac{301,57 \cdot 100}{10000} = 3\%.$$

Bu yerda ΔP_Σ , ΔP_Σ^* - elektr tarmoqdagi haqiqiy va foiz birligidagi umumiy aktiv quvvat isrofi⁵⁶.

1) Yillik energiya isrofini yuklama grafigi bo'yicha aniqlaymiz:

$$\Delta W = (72,17 + 211) \cdot 2000 + 0,5^2 (72,17 + 211) \cdot 6760 + 18,4 \cdot 8760 = 1200 \cdot 10^3 \text{ kVt} \cdot \text{soat}.$$

Yil davomida iste'molchiga uzatiluvchi energiya:

$$W = 10 \cdot 2000 + 5 \cdot 6760 = 53,8 \cdot 10^3 \text{ MVt} \cdot \text{soat}.$$

Yillik energiya isrofining uzatiluvchi energiyaga nisbatini aniqlaymiz:

$$\Delta W^* = \frac{1200 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,23\%.$$

Shunday qilib, ushbu holatda energiya isrofi uzatiluvchi energiyaga nisbatan 2,23% ni tashkil etadi.

2) Yillik energiya isrofini maksimal isroflar vaqti τ bo'yicha aniqlaymiz.

⁵⁶ Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

Bunda τ ning qiymatini soddalashtirilgan formula bo'yicha topamiz:

$$T_{maks} = \frac{W}{P_{maks}} = \frac{53,8 \cdot 10^3}{10} = 5380 \text{ soat};$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{maks}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5380}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3840 \text{ soat};$$

$$\Delta W = (71,17 + 211)3840 + 18,4 \cdot 8760 = 1248 \cdot 10^3 \text{ kVt} \cdot \text{soat};$$

$$\Delta W_* = \frac{1248 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,32\%.$$

3) τ ning qiymatini tipik egri chiziqlar bo'yicha ham topish mumkin. Biz ko'rib chiqayotgan – maksimal yuklamadan foydalanish vaqti $T_{maks}=5380 \text{ soat}$ va $\cos\varphi=0,9$ bo'lgan holat uchun ushbu egri chiziqlar bo'yicha $\tau=3650 \text{ soat}$ ekanligini aniqlaymiz⁵⁷. U holda yillik energiya isrofi quyidagi miqdorni tashkil etadi:

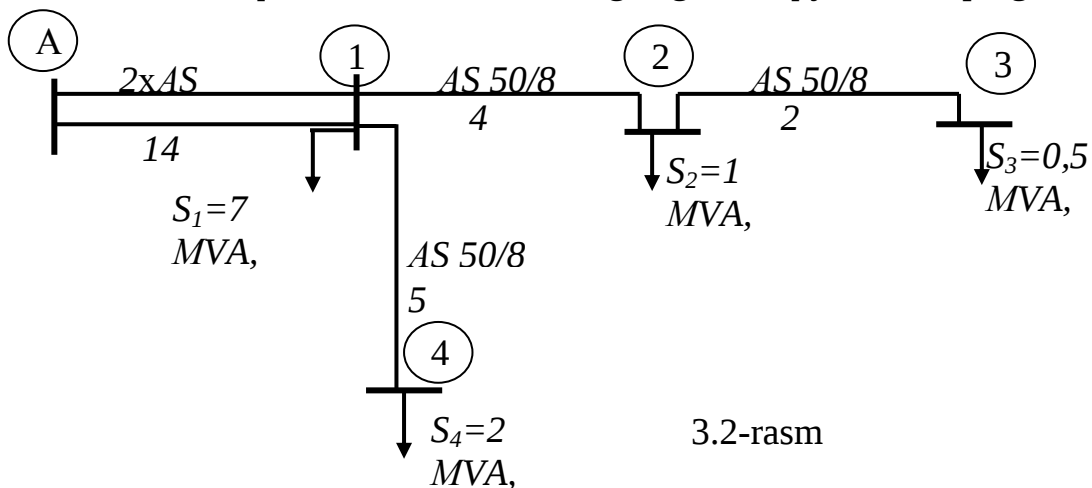
$$\Delta W = (72,17 + 211) \cdot 3650 + 18,4 \cdot 8760 = 1195 \cdot 10^3 \text{ kVt} \cdot \text{ch},$$

$$\Delta W_* = \frac{1195 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,22\%.$$

4.4. Misol. 35 kV kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmog'i II-simon tayanchlarda osilgan po'latalyuminiiy o'tkazgichlardan tayyorlangan liniyalardan tashkil topgan. Tarmoq bo'laklarining kilometr birligidagi uzunliklari, o'tkazgichlarning markalari, yuklamalar (MVA) va ularning quvvat koefitsientlari 3.2-rasmdagi sxemada keltirilgan. Liniyaning solishtirma qarshiliklari AS50/8 markadagi o'tkazgichli liniya uchun $r_0=0,603 \text{ Om/km}$, $x_0=0,43 \text{ Om/km}$; AS70/11 markadagi o'tkazgichli liniya uchun $r_0=0,43 \text{ Om/km}$, $x_0=0,42 \text{ Om/km}$ ni tashkil etadi.

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

Elektr tarmoqda kuchlanish isrofining eng katta qiymatini toping.



Echish. Elektr tarmoq bo'laklarining qarshiliklarini topamiz:

$$\dot{Z}_{A1} = \frac{(r_0 + jx_0) \cdot l_{A1}}{2} = \frac{(0,43 + j0,42) \cdot 14}{2} = 3,01 + j2,94 \text{ } \Omega;$$

$$\dot{Z}_{12} = (0,603 + j0,43) \cdot 4 = 2,41 + j1,72 \text{ } \Omega;$$

$$\dot{Z}_{23} = (0,603 + j0,43) \cdot 2 = 1,21 + j0,86 \text{ } \Omega;$$

$$\dot{Z}_{14} = (0,603 + j0,43) \cdot 5 = 3,01 + j2,15 \text{ } \Omega.$$

Tarmoq yuklamalarining aktiv va reaktiv quvvatlarini aniqlaymiz:

$$S_1 = S_1 (\cos \varphi_1 + j \sin \varphi_1) = 7 * (0,85 + j0,526) = 5,95 + j3,68 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$S_2 = 1 * (0,8 + j0,6) = 0,8 + j0,6 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$S_3 = 0,5 * (0,6 + j0,8) = 0,3 + j0,4 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$S_4 = 2 * (0,7 + j0,713) = 1,4 + j1,43 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

A-1 bosh bo'lakdagi quvvat oqimi:

$$S_{A1} = P_{A1} + jQ_{A1} = 8,45 + j6,11 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

A-1 bosh bo'lakda kuchlanish isrofi:

$$\Delta U_{A1} = \frac{8,45 \cdot 3,01 + 6,11 \cdot 2,94}{35} = 1,24 \text{ } \kappa \text{B};$$

1-3 va 1-4 bo'laklarda kuchlanish isroflari:

$$\Delta U_{13} = \frac{0,8 \cdot 2,41 + 0,6 \cdot 1,72 + 0,3 \cdot (2,41 + 1,21) + 0,4 \cdot (1,72 + 0,86)}{35} = 0,145 \text{ } \kappa \text{V};$$

$$\Delta U_{14} = \frac{1,4 \cdot 3,01 + 1,43 \cdot 2,15}{35} = 0,208 \text{ } \kappa \text{V}.$$

Elektr tarmoqda kuchlanish isrofining eng katta qiymati:

$$\Delta U_{e.kat.} = \Delta U_{A1} + \Delta U_{14} = 1,24 + 0,208 = 1,448 \text{ kV}$$

yoki nominal kuchlanishga nisbatan foiz birligida

$$\Delta U_{e.kat.} = \frac{1,448}{35} \cdot 100 = 4,14\%.$$

4.5. Elektr uzatish liniyasi holatini yuklama toki berilganda hisoblash

Har qanday elektr tarmoqning, jumladan elektr uzatish liniyasi holatini hisoblash uning sxemasi, barcha hisob parametrlari va holat parametrlarining bir qismi ma'lum bo'lganda qolgan – no'malum holat parametrlarini hisoblab topishni nazarda tutadi. Bunday hisoblashlar elektr tarmoqlarini loyihalash va ishlatish jarayonida ularning turli harakterli holatlarda samarali ishlashini tekshirish va ta'minlash, holatlarini optimallashtirish kabi maqsadlarda amalga oshiriladi⁵⁸.

EUL oxirida U_2 kuchlanish berilgan holat

Ma'lum parametrlar (4.11,a rasm): U_2 – 2- tugunning kuchlanishi, I_2 – yuklamaning toki, $Z_{12} = r_{12} + jx_{12}$, b_{12} – EULning bo'ylama qarshiligi va sig'im o'tkazuvchanligi.

Aniqlanuvchi miqdorlar: U_1 , I_1 – EUL boshidagi kuchlanish va toki, EUL bo'ylama qismidagi tok, ΔS_{12} – EULdagi quvvat isrofi.

Bo'nday holatni hisoblashda noma'lum o'zgaruvchilarning qiymatlari EULning oxiridan boshiga qarab ketma-ket tartibda aniqlanadi. Tok va kuchlanishni aniqlash Om va Kirxgofning birinchi qonunlaridan foydalaniladi.

Hisobni faza kuchlanishi U_f va toki I bo'yicha olib borish tartibi bilan tanishamiz. EUL oxiridagi sig'im toki Om qonuniga binoan (4.11,b-rasm) quyidagicha aniqlanadi.

$$I_{s2} = jU_2 b_{12} / 2. \quad (4.37)$$

EUL ning bo'ylama qismidagi tok, Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha

⁵⁸ Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

topiladi:

$$I_{12}=I_2+I_{s2}. \quad (4.38)$$

Om qonuni bo'yicha EUL boshlanishidagi kuchlanish xisoblanadi:

$$U_{1f}=U_{2f}+ I_{12}Z_{12}. \quad (4.39)$$

EUL boshlanishidagi sig'im toki: $I_{s1}=jU_{1f}b_{12}/2$.

EULning kirishidagi tok Kirxgofning 1-qonuniga asosan aniqlanadi:

$$I_1=I_{12}+ I_{s1}. \quad (4.40)$$

Uchta fazadagi quvvat isroflari: $\Delta S_{12}=3I_{12}^2Z_{12}$.

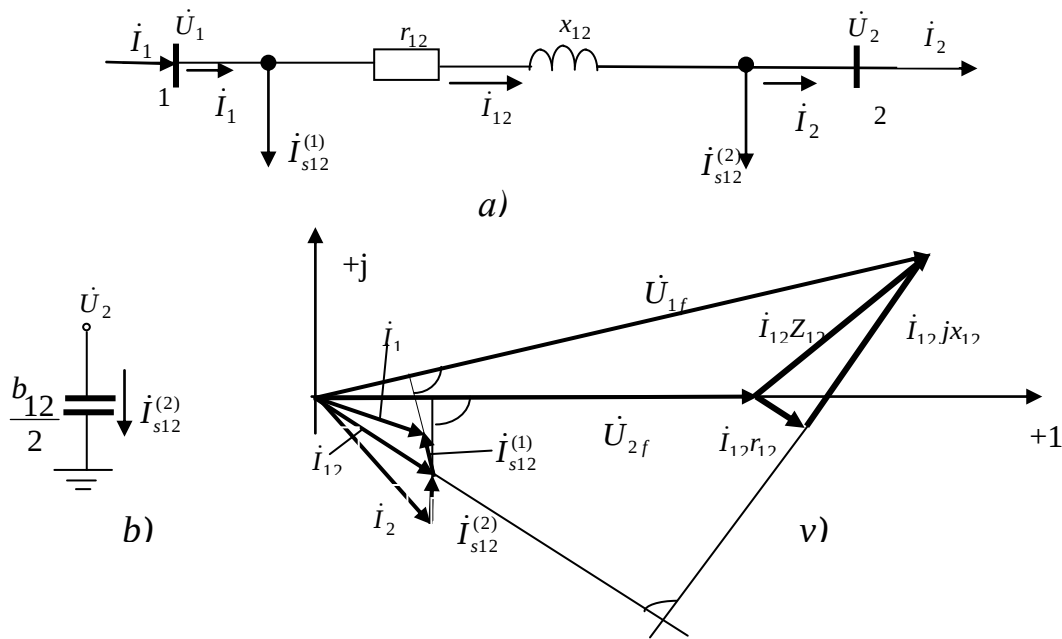
EUL tok va kuchlanishlarining vektor diagrammasi (4.11,v-rasm) (4.37)-(4.40) ifodalarga muvofiq tuziladi. Avvalo, diagrammada berilgan U_{2f} va I_2 lar ko'rsatiladi. U_{2f} ni haqiqiy o'q bo'yicha yo'nalgan deb qabul qilamiz. Sig'im toki I_{s2} kuchlanish U_{2f} dan 90° oldinda bo'ladi. Sxemaning bo'ylama qismidagi tok I_{12} I_2 va I_{s2} vektorlarining yig'indisiga teng⁵⁹.

(4.39) ning o'ng tomonidagi ikkita qo'shiluvchilar vektorlarini alohida quramiz. $\Delta U_{12f}=I_{12}r_{12}+jI_{12}x_{12}$. Bu yerda $I_{12}r_{12}$ vektor I_{12} ga parallel va $jI_{12}x_{12}$ vektordan 90° ortda qoladi. U_{1f} kuchlanish qo'shiluvchi U_{2f} , $I_{12}r_{12}$ va $jI_{12}x_{12}$ vektorlarning boshini oxirini tutashtiradi. Tok I_{s1} U_{1f} dan 90° oldinda bo'lib (4.40) bo'yicha topiladi.

EUL ning oxirgi yuklama ulangan bo'lsa, bu nuqtada kuchlanish moduli boshlanishidagi kuchlanish moduliga nisbatan kichik bo'ladi: $U_{2f}< U_{1f}$ (4.11,v-rasm).

²

Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.



4.11-rasm. Elektr uzatish liniyasi holatini hisoblash
a)- almashtirish sxemasi; b)- sig‘im tokini aniqlash; v)- yuklamali EUL kuchlanish va toklari vektor diagrammasi

Salt ishlash holatida $I_2=0$ bo‘lganligi sababli EUL orqali faqat sig‘im toki oqadi, ya’ni $I_{12}=I_{s2}$ bo‘ladi. Buning natijasida liniya oxiridagi kuchlanish uning boshlanishidagiga nisbatan katta bo‘ladi $U_{2f} < U_{1f}$. Salt ishlash holati uchun tok va kuchlanishlarning vektor diagrammalarini yuqoridagi tartibda qurish orqali bunday holatni kuzatish mumkin⁶⁰.

4.6. Elektr uzatish liniyasi holatini yuklama quvvati berilganda hisoblash

EUL oxirida kuchlanish berilgan holat ($\dot{U}_2 = const$). Ushbu holatda yuklama quvvati $\dot{S}_2$, kuchlanishi $\dot{U}_2$, elektr uzatish liniyasining qarishiligi $Z_{12} = r_{12} + jx_{12}$ va o‘tkazuvchanligi b_{12} ma’lum (4.12,a-rasm). Kuchlanish $\dot{U}_1$, uzatish liniyasining bo‘ylama qismi oxiri va boshlanishidagi quvvatlar $\dot{S}_{12}^{(2)}$, $\dot{S}_{12}^{(1)}$, quvvat isrofi $\Delta\dot{S}_{12}$, uzatish liniyasi boshlanishidagi quvvat $\dot{S}_1$ larni topish talab etiladi. Qizish bo‘yicha cheklovni tekshirish maqsadida, ba’zan, $\dot{I}_{12}$ tokni ham

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

topish talab etiladi.

Hisoblash uzatish liniyasining oxiridan boshlanishiga tomon qidiriluvchi quvvat va kuchlanishlarni Kirxgaf va Om qonunlaridan foydalanib aniqlash tartibida olib boriladi.

Uzatish liniyasining oxiridagi zaryad (sig‘im) quvvati hisoblanadi.

$$Q_{s12}^{(2)} = 3I_{s12}^{(2)}\dot{U}_{2tm} = \frac{1}{2}U_2^2 jb_{12}. \quad (4.41)$$

Kirxgofning birinchi qonuni bo‘yicha uzatish liniyasi bo‘ylama qismining oxiridagi quvvat topiladi:

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_2 - jQ_{s12}^{(2)}. \quad (4.42)$$

Uzatish liniyasidagi quvvat isrofi aniqlanadi:

$$\Delta\dot{S}_{12} = 3I_{12}^2 Z_{12} = \frac{S_{12}^{(2)2}}{U_2^2} Z_{12}. \quad (4.43)$$

Uzatish liniyasi bo‘ylama qismining boshlanishi va oxirida tok bir xil. Bo‘ylama qismi boshlanishida quvvat bu qism oxiridagiga nisbatan quvvat isrofi miqdorigi ko‘pligini e‘tiborga olib u quyidagicha topiladi:

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta\dot{S}_{12}. \quad (4.44)$$

Uzatish liniyasining boshlanishidagi kuchlanish Om qonuniga muvofiq quyidagicha hisoblanadi:

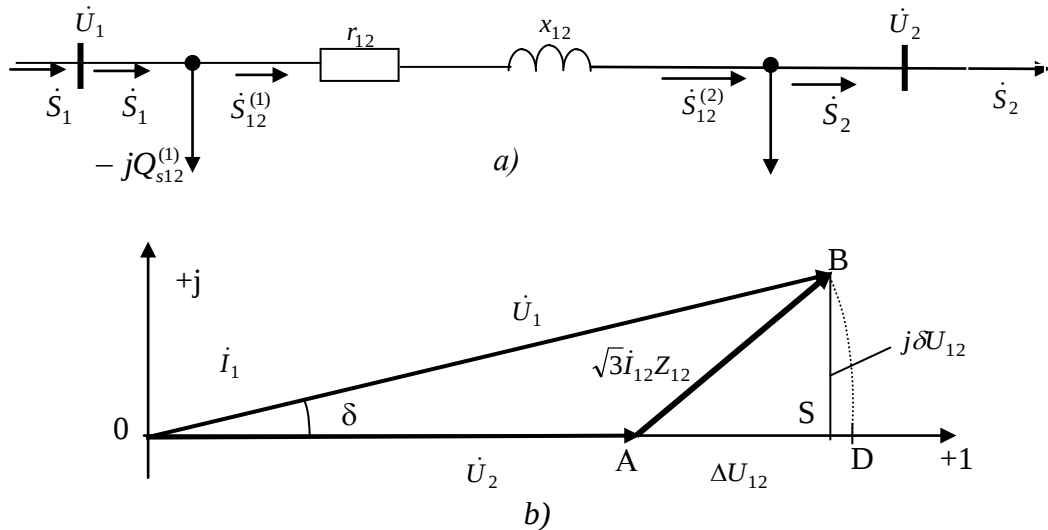
$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \sqrt{3}\dot{I}_{12}Z_{12} = \dot{U}_2 + \frac{\hat{S}_{12}^{(2)}}{\hat{U}_2}Z_{12}. \quad (4.45)$$

Uzatish liniyasining boshlanishidagi zaryad quvvati aniqlanadi:

$$Q_{s12}^{(1)} = \frac{1}{2}U_1^2 jb_{12}. \quad (4.46)$$

Uzatish liniyasining boshlanishidagi quvvat Kirxgofning 1-qonunidan foydalanib quyidagicha topiladi:

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_{12}^{(1)} - jQ_{s12}^{(1)}. \quad (4.47)$$



4.12-rasm. EUL holatini hisoblash. a)- yuklama quvvati berilgan holda EUL holatini hisoblash sxemasi; b)- oxirida berilgan ma'lumot bo'yicha EUL holati xisoblanganda uning boshlanishi va oxiridagi kuchlanishlarning vektor diagrammasi

EUL boshlanishida kuchlanish berilgan holat ($\dot{U}_1 = const$). $\dot{S}_2, \dot{U}_1, Z_{12} = r_{12} + jx_{12}, b_{12}$ lar ma'lum, $\dot{U}_2, \dot{S}_{12}^{(2)}, \dot{S}_{12}^{(1)}, \Delta \dot{S}_{12}, \dot{S}_1$ larni topish talab etiladi (4.12,a-rasm)⁶¹.

Ushbu holda $\dot{U}_2$ noma'lum bo'lganligi uchun Kirxgof va Om qonunlaridan foydalanib uzatish liniyasining oxiridan boshlanishiga tomon ketma-ket ravishda noma'lum tok va kuchlanishlarni topish mumkin emas. Bunday liniya holatini hisoblashni Kirxgofning 1-qonuni asosida yoziluvchi egri chiziqli tugun kuchlanishlari tenglamasini yechish orqali amalga oshirish mumkin. 2-tugun uchun bunday egri chiziqli tugun kuchlanishlari tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$Y_{22}\dot{U}_2 + Y_{12}\dot{U}_1 = \dot{I}_2(U) = \frac{S_2}{U_2}. \quad (4.48)$$

Bu tenglamani yechib, noma'lum $\dot{U}_2$ ni topish va so'ngra (4.41)-(4.44), (4.46), (4.47) ifodalar bo'yicha barcha quvvatlarni hisoblash mumkin.

Egri chiziqli tugun kuchlanishlari tenglamalarini yechishga asoslangan

⁶¹ Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

usul boshqa usullarga nisbatan universal usul hisoblanib, u har qanday murakkablikdagi elektr tarmoqlari holatlarini hisoblash imkonini beradi. Biroq undan foydalanish umumiy holda egri chiziqli tenglamalar sistemasini maxsus matematik usullarni qo'llash asosida yechishni nazarda tutadi. Yuklamalari quvvatlari va ta'minlash punktida kuchlanish ma'lum bo'lgan ochiq elektr tarmoqlari, jumladan ko'rilayotgan liniya holatini nisbatan sodda va taxminiy *ikki bosqichli* usul yordamida hisoblash mumkin.

1-bosqich. Faraz qilaylik,

$$\dot{U}_2 = U_n. \quad (4.49)$$

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

$$Q_{c12}^{(2)} = \frac{1}{2} U_2^2 j b_{12}; \quad (4.50)$$

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_2 - j Q_{c12}^{(2)}; \quad (4.51)$$

$$\Delta \dot{S}_{12} = \frac{S_{12}^{(2)2}}{U_2^2} Z_{12}; \quad (4.52)$$

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}; \quad (4.53)$$

2-bosqich. 1-bosqichda topilgan quvvat oqimi $\dot{S}_{12}^{(1)}$ dan foydalanib, Om qonuni bo'yicha $\dot{U}_2$ kuchlanishni aniqlaymiz, bunda tok $\dot{I}_{12}$ ni $\dot{S}_{12}^{(1)}$ va $\dot{U}_1$ lar orqali ifodalaymiz:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} = \dot{U}_1 - \frac{\hat{S}_{12}^{(1)}}{\hat{U}_1} Z_{12}. \quad (4.54)$$

(4.50) va (4.51) formulalarda $\dot{U}_2$ ning o'rniga U_n foydalanilganligi uchun 1-bosqichda quvvat oqimlarining taxminiy qiymatlari aniqlanadi. Bunga mos ravishda 2-bosqichda topilgan kuchlanish $\dot{U}_2$ ning qiymati ham taxminiy bo'ladi.

Quvvatlar va kuchlanishlarning yanada aniqroq qiymatlarini topish uchun 1 va 2-bosqichlarni ketma-ket takrorlash mumkin. Bunda har bir yangi qadamni (takrorlashni) bajarishda (4.50) va (4.52) formulalardagi $\dot{U}_2$ o'rniga uning

bundan oldingi qadamda topilgan qiymatini qo'yish lozim. Bunday hisoblashlarni EXMda amalga oshirish maqsadga muvofiqdir.

4.7. Elektr uzatish liniyasida kuchlanish pasayishi va kuchlanish isrofi

4.12,b-rasmda EUL boshlanishi va oxiridagi kuchlanishlarning vektor diagrammalari keltirilgan.

Kuchlanish pasayishi – elektr uzatish liniyasining boshlanishi va oxiridagi kuchlanishlar orasidagi geometrik farq, ya'ni bu kuchlanishlarning kompleks qiymatlari orasidagi farq. Kuchlanish pasayishi vektori (kompleks) kattalikdir. 4.12,b-rasmda kuchlanish pasayishi vektori $\vec{AB}$ vektordir:

$$\vec{AB} = \Delta \vec{U}_{12} = \vec{U}_1 - \vec{U}_2 = \sqrt{3} \vec{I}_{12} Z_{12} = \Delta U_{12} + j \delta U_{12}. \quad (4.55)$$

Kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisi ΔU_{12} kuchlanish pasayishi vektorining haqiqiy sonlar o'qidagi yoki $\vec{U}_2$ vektor o'qidagi proeksiyasi bo'lib, 4.12,b-rasm bo'yicha u AS ga teng. Kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi δU_{12} esa kuchlanish pasayishi vektorining mavhum sonlar o'qidagi proeksiyasi bo'lib, 4.12,b-rasm bo'yicha u SV ga teng.

Kuchlanish isrofi – elektr uzatish liniyasi boshlanishi va oxiridagi kuchlanishlarning modullari orasidagi farqdir, ya'ni

$$\Delta U_{12} = |U_1| - |U_2|. \quad (4.56)$$

4.12,b-rasmda tasvirlangan vektor diagramma bo'yicha kuchlanish isrofi qabul qilingan masshtabda AD kesma uzunligiga teng. Agar kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi δU_{12} kichik bo'lsa (masalan, $U_n < 110$ kV bo'lgan tarmoqlarda) kuchlanish isrofini kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisiga teng deb hisoblash mumkin⁶².

Elektr tarmoqlarining holatlarini hisoblash asosan yuklamalarning quvvatlari berilgan holatda olib boriladi. Shu sababli kuchlanish pasayishi,

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

uning tashkil etuvchilari va kuchlanish isrofini EULdagi quvvat oqimlari orqali ifodalash zarur bo‘ladi⁶³.

Liniya oxirida quvvat va kuchlanish ma’lum bo‘lgan holat. (4.54)
 formuladagi liniya toki $\dot{I}_{12}$ ni liniyaning bo‘ylama qismi oxiridagi quvvat $\dot{S}_{12}^{(2)}$ va kuchlanish $\dot{U}_2$ orqali ifodalaymiz:

$$\dot{I}_{12} = \frac{\hat{S}_{12}^{(20)}}{\sqrt{3}\dot{U}_2}. \quad (4.56)$$

Natijada quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\frac{P_{12}^{(2)} - jQ_{12}^{(2)}}{U_2}(r_{12} + jx_{12}) = \frac{P_{12}^{(2)}r_{12} + Q_{12}^{(2)}x_{12}}{U_2} + j\frac{P_{12}^{(2)}x_{12} - Q_{12}^{(2)}r_{12}}{U_2} = \Delta U_{12}^{(2)} + j\delta U_{12}^{(2)}. \quad (4.57)$$

(4.57) tenglamaning haqiqiy va mavhum qismlarini alohida tenglashtirib, kuchlanish pasayishining bo‘ylama va ko‘ndalang tashkil etuvchilarining liniya oxiridagi ma’lumotlar bo‘yicha ifodalarini hosil qilamiz:

$$\Delta U_{12}^{(2)} = \frac{P_{12}^{(2)}r_{12} + Q_{12}^{(2)}x_{12}}{U_2}; \quad (4.58)$$

$$\delta U_{12}^{(2)} = \frac{P_{12}^{(2)}x_{12} - Q_{12}^{(2)}r_{12}}{U_2}. \quad (4.59)$$

Liniya boshlanishidagi kuchlanish:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \Delta \dot{U}_{12}^{(2)} + j\delta \dot{U}_{12}^{(2)}. \quad (4.60)$$

Yuqoridagilarga muvofiq liniya boshlanishidagi kuchlanish moduli va fazasi quyidagicha aniqlanadi:

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_{12}^{(2)})^2 + (\delta U_{12}^{(2)})^2}; \quad (4.61)$$

$$\delta_1 = \arctg\left(\frac{\delta U_{12}^{(2)}}{U_2 + \Delta U_{12}^{(2)}}\right). \quad (4.62)$$

Liniyaning boshlanishida quvvat va kuchlanishi berilgan holat. (4.54)
 formuladagi liniya toki $\dot{I}_{12}$ ni liniyaning bo‘ylama qismi boshlanishidagi quvvat $\dot{S}_{12}^{(1)}$ va kuchlanish $\dot{U}_1$ orqali ifodalasak, u holda ma’lum shakl almashtirishlardan

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

so'ng liniyada kuchlanish pasayishining bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilari uchun liniya boshlanishidagi ma'lumotlar bo'yicha ifodalarni hosil qilamiz:

$$\Delta U_{12}^{(1)} = \frac{P_{12}^{(1)} r_{12} + Q_{12}^{(1)} x_{12}}{U_1}; \quad (4.63)$$

$$\delta U_{12}^{(1)} = \frac{P_{12}^{(1)} x_{12} - Q_{12}^{(1)} r_{12}}{U_1}. \quad (4.64)$$

Liniya oxiridagi kuchlanish:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \Delta \dot{U}_{12}^{(1)} - j \delta \dot{U}_{12}^{(1)}. \quad (4.65)$$

Yuqoridagilarga muvofiq liniya oxiridagi kuchlanish moduli va fazasi quyidagicha aniqlanadi:

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U_{12}^{(1)})^2 + (\delta U_{12}^{(1)})^2}; \quad (4.66)$$

$$\delta_2 = \arctg\left(\frac{\delta U_{12}^{(1)}}{U_1 - \Delta U_{12}^{(1)}}\right). \quad (4.67)$$

4.12,b-rasmda tasvirlangan kuchlanishlar vektor diagrammasidan ko'rinadiki, kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi δU_{12} kichiklashgan sari kuchlanish isrofi kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisiga yaqinlashib boradi⁶⁴. Shu sababli 110 kV va undan past kuchlanishli tarmoqlarni hisoblashda ushbu tashkil etuvchi yetarlicha kichik bo'lganligi sababli liniya oxiridagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblashda

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

liniya boshlanishidagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblashlarda esa

$$\Delta U_{12} \approx \Delta U_{12}^{(1)} = \frac{P_{12}^{(1)} r_{12} + Q_{12}^{(1)} x_{12}}{U_1}$$

qabul qilinadi.

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

4.8. Katta uzunlikka ega bo'lgan liniyalarni hisoblash

Bir jinsli EUL parametrlari bir xil taqsimlangan elektr zanjirini ifodalab, bunda solishtirma qarshiliklar $z_o = r_o + jx_o$ va o'tkazuvchanliklar $y_o = g_o + jb_o$ zanjirning uzunligi davomida o'zgarmas deb qaraladi. Tok va kuchlanish liniyada doim o'zgarib turadi: o'tkazgichdagi toklar qarshiliklarda kuchlanishni pasayishi ΔU yuz berganligi sababli o'zgaradi.

Energiyani liniyadan to'liqinsimon harakterda uzatishda tok va kuchlanishning o'zgarishi, nazariy elektrotexnika kursidan ko'rilgan, katta uzunlikdagi liniyalar uchun liniyaning boshi va oxiridagi kuchlanishlar U_1 va U_2 , toklar I_1 va I_2 orasidagi bog'lanishlarni aniqlovchi quyidagi tenglamalar bilan belgilanadi:

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= \dot{U}_2 \operatorname{ch} \sqrt{ZY} + \dot{I}_2 \sqrt{3} \sqrt{\frac{Z}{Y}} \operatorname{sh} \sqrt{ZY} \\ \dot{I}_1 &= \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_2 \sqrt{\frac{Y}{Z}} \operatorname{sh} \sqrt{ZY} + \dot{I}_2 \operatorname{ch} \sqrt{ZY} \\ \sqrt{ZY} &= j\omega \ell \sqrt{L_0 C_0} = j\lambda, \quad \sqrt{Z/Y} = \sqrt{L_0 C_0}\end{aligned}\quad (4.68)$$

Bu yerda idellashtirilgan isrofsiz liniyalar uchun $r_0=0$, $g_0=0$ bo'lib, $Z = j\omega L_0 l$, $Y = j\omega C_0 l$; $l_\lambda = \omega \ell \sqrt{L_0 C_0} = \omega \sqrt{LC}$ - liniyaning to'liq uzunligi;

$Z_c = \sqrt{L_0 / C_0} = \sqrt{L/C}$ - liniyaning to'liq qarshiligi.

Real liniya uchun $Z_c = \sqrt{Z/Y}$

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 o'tkazgichlar qo'llaniladi.

Z_c va l_λ - liniyaning asosiy harakteristikalarini hisoblanadi. Formuladan ko'rinadiki, Z_c uzunlik l ga bog'liq emas va liniya bir jinsli bo'lganida zanjirning har qanday nuqtasi uchun o'zgarmasdir. Yakka o'tkazgichli havo liniyalarida $Z_s = 400$ Om, fazasi ikkita o'tkazgich iborat bo'lganida $Z_s = 320$ Om,

fazasida uchta o'tkazgich bo'lsa $Z_s = 275 \text{ Om}$ kabel liniyalari uchun Z_c yakka o'tkazgichli havo liniyasidagiga nisbatan 6-8 marta kam bo'ladi.

Energiyani tarqalish tezligi $v = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} = 3 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ va to'lqin uzunligi

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^5}{50} = 6000 \text{ km}$. Unda liniyaning to'lqin uzunligi quyidagicha aniqlanadi:

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

Har qanday uzunlikdagi liniya qarshiliklari $Z=R+jX$ va chetlaridagi o'tkazuvchanlik $Y/2=G/2+jB/2$ bo'lgan «II» ko'rinishdagi to'plangan parametrli ekvivalent almashtirish sxemasi sifatida tasavvur qilsa bo'ladi. Liniyani «II» ko'rinishli almashtirish sxemasi yordamida (4.68) ifodaga o'xshagan U_1 uchun tenglama tuzish mumkin:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + (\dot{U}_{2A} Y/2 + \dot{I}_2) \sqrt{3} Z = \dot{U}_2 (1 + ZY/2) + \sqrt{3} \dot{I}_2 Z \quad (4.69)$$

Bu yerda $U_{2F} \cdot Y/2$ – liniyaning oxiridagi o'tkazuvchanlik toki. Shunday qilib, uzunligi katta liniyalar uchun ifodalarda ko'rsatilgan liniyaning parametrlarini liniyaning uzunligi davomida taqsimlanishini hisobga oluvchi qandaydir tuzatish koeffitsientlari K_Z , K_U yordamida bog'lab, so'ngra oddiy almashtirish sxemasidagi parametrlarni hisoblash mumkin⁶⁵.

300 km gacha uzunlikda bo'lgan havo elektr uzatish liniyalari va 50 km gacha uzunlikda bo'lgan kabel liniyalarida tuzatish koeffitsientlari 1 ga yaqindir, shuning uchun taqsimlangan parametrli liniyalarni hisoblashda ular hisobga olinmaydi. Uzunligi kattaroq 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 «II» ko'rinishli almashtirish sxemasi sifatida ko'rsatiladi va natijada katta liniyalarni zanjirli ketma-ket ulangan «II»

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

ko‘rinishli almashtirish 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 oshiriladi⁶⁶.

5. Ochiq, oddiy va murakkab yopiq elektr tarmoqlarini hisoblash

5.1. Kuchlanishi 35 kV va undan past bo‘lgan taqsimlovchi elektrtarmoqlarni hisoblashda qabul qilinuvchi soddalashtirishlar

Bu paragrafda havo va kabelli EULga ega bo‘lgan taqsimlovchi tarmoqlar ko‘rib chiqiladi. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarning havodagi EULLari asosan 35 kVgacha kuchlanishli bo‘ladi. (Oxirgi paytlarda $U_n=110$ kV va hatto 220 kV bo‘lgan havodagi EULLari ham taqsimlovchi tarmoqlarda paydo bo‘ldi). Taqsimlovchi tarmoqlardagi kabelli EULLar asosan $U_n=10$ kV gacha, ayrim hollarda esa 20, 35 kV gacha bo‘ladi. Taqsimlovchi tarmoqlar asosan ochiq bo‘ladi yoki ochiq holatda ishlaydi. Bu tarmoqlar quyidagi turlarga bo‘linadi:

- shahar tarmoqlari;
- qishloq xo‘jalik tarmoqlari;
- sanoat tarmoqlari.

Ularda juda katta miqdorda yuklanish mavjud, umumiy uzunligi va ulardagi elektr energiyasi isrofi juda kattadir. Bundan tashqari ularning qurilishiga ko‘p miqdorda metall sarflanadi. $U_n \leq 35$ kV bo‘lgan taqsimlovchi tarmoqlarni hisoblashda ayrim parametr va faktorlarning ta‘siri sezilarsiz – juda kichik bo‘lganligi sababli e‘tiborga olinmaydi. Shunday qilib, bunday tarmoqlarni hisoblashda yuqorida ko‘rib o‘tilgan ta‘minlovchi elektr tarmoqlardagidan farqli ravishda quyidagi soddalashtirishlar qabul qilinadi:

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

1) EULning sig‘im quvvati hisobga olinmaydi. Uning qiymati (4.41) ifodadan aniqlanadi. Nominal kuchlanishi 110 kV bo‘lgan EULning sig‘im quvvati $Q_{s110} = 3 \text{ MVAR}$ ga teng (5.1,a-rasm).

$U_n = 6-35 \text{ kV}$ bo‘lgan EULLar $U_n = 110 \text{ kV}$ bo‘lgan liniyalardan qisqaroq bo‘ladi. 35 kV kuchlanishli EUL uchun (5.1,b-rasm) Q_{s35} , Q_{s110} ga nisbatan 100-90 marta kichik bo‘ladi:

$$\frac{Q_{s110}}{Q_{s35}} \approx (110/35)^2 * (100/10) \approx 100$$

Q_s ning qiymati e‘tiborga olinmagandagi EULning ekvivalent almashtirish sxemasi 5.1,v-rasmda keltirilgan. Bu EULning to‘rt qutbli sifatidagi tenglamasi quyidagicha bo‘ladi:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_2 + \sqrt{3} \dot{I}_2 Z_L, & \dot{U}_1 &= A \dot{U}_2 + B \dot{I}_2, \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_2, & \dot{I}_1 &= C \dot{U}_2 + D \dot{I}_2. \end{aligned}$$

Bu yerda U_1 -EUL boshlanishidagi kuchlanish, U_2 -EUL oxiridagi kuchlanish, I_1 , I_2 -EUL boshidagi va oxiridagi toklar, Z_L -EUL qarshiligi A , V , S , D -taqsimlovchi tarmoqdagi EUL uchun to‘rt qutbli doimiylari. Yuqoridagi holat uchun: $A=1$; $V=\sqrt{3} Z_L$; $S=0$; $D=1$;

2) Kabelli EULning reaktiv qarshiligi (x) hisobga olinmaydi⁶⁷. EULning induktiv qarshiligi shu EUL o‘tkazgichlaridan tok oqib o‘tganda hosil bo‘ladigan o‘zgaruvchan magnit maydoni bilan belgilanadi. Kabelning tomirlari bir-biriga yaqin joylashganligi va bu tomirlarda ilakishuvchimagnit oqimi kamligi sababli kabelli EULning reaktiv qarshiligi kichik bo‘ladi.

Kabelli EULning ekvivalent almashtirish sxemasi 5.1,g-rasmda ko‘rsatilgan. Bu yerda r_k -kabelli EULning aktiv qarshiligi.

3) Transformatorning, odatda po‘latdan yasaluvchi, o‘zagidagi quvvat isrofi hisobga olinmaydi. Transformatorning ekvivalent almashtirish sxemasi 5.1,d-rasmda ko‘rsatilgan. Bunda Z_t -transformatorning qarshiligi, U_{yu} -

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

transformatorning yuqori kuchlanishli shinasidagi kuchlanish, U_n - transformatorning past kuchlanishli shinasidagi kuchlanish.

Barcha tarmoqlarda transformatorning po‘lat o‘zagidagi quvvat isrofi faqatgina umumiy aktiv quvvat isrofi ΔR va energiya isrofi ΔW ni aniqlashda hisobga olinadi⁶⁸.

4) Uchastkalardagi quvvat oqimlarini hisoblashda quvvat isrofi hisobga olinmaydi. (5.1,e-rasm). Bunda $S_{12}^{(2)}=S_{12}^{(1)}=S_{12}$;

Bu ifodada: $S_{12}^{(1)}$ - EUL boshlanishidagi to‘la quvvat; $S_{12}^{(2)}$ - EUL oxiridagi

to‘la quvvat. EULning boshlang‘ich uchastkasidagi quvvat (5.1,j-rasm) quyidagi

ifodadan aniqlanadi:

$$S_{12} = \sum_{k=2}^n S_k;$$

Bu yerda k - yuklamaning tartib raqami, n -yuklamalar soni.

5) Kuchlanish pasayishining ko‘ndalang tashkil etuvchisini δU e‘tiborga olinmaydi, ya’ni tarmoqning ayrim tugunlari orasida kuchlanishning faza bo‘yicha siljishi hisobga olinmaydi. Hisoblashlarda kuchlanish tushuvining faqatgina bo‘ylama tashkil etuvchisi hisobga olinadi, bu esa kuchlanish isrofiga tengdir:

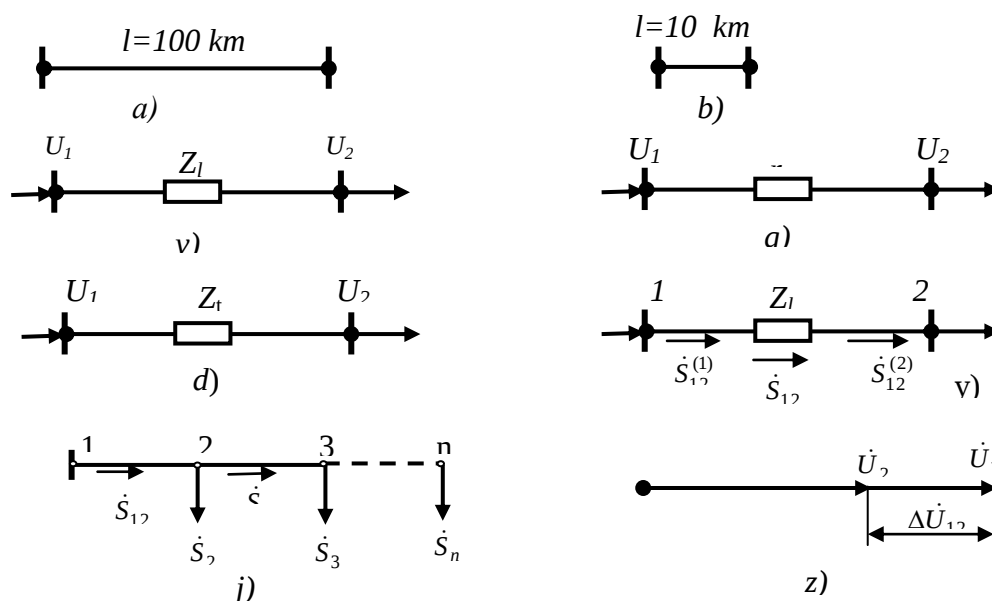
$$\Delta U_{12} = U_1 - U_2.$$

6) Kuchlanish isrofini hisoblash tarmoqdagi kuchlanishning haqiqiy qiymati bo‘yicha emas, balki U_n -bo‘yicha amalga oshiriladi:

$$\Delta U_{12} = U_1 - U_2 = \frac{P_{12}r_{12} + Q_{12}x_{12}}{U_n}.$$

Bu yerda R_{12} - liniyaning aktiv quvvati; Q_{12} -liniyaning reaktiv quvvati; r_{12} - liniyaning aktiv qarshiligi; x_{12} - liniyaning reaktiv qarshiligi.

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.



5.1-rasm. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarni hisoblashdagi soddalashtirishlar:

- a)- 110 kV kuchlanishli havodagi EUL; b)- 35 kV kuchlanishli havodagi EUL; v)- EUL ning almashtirish sxemasi; g)- kabelli EUL ning almashtirish sxemasi; d)- transformatorning almashtirish sxemasi; e)- quvvat oqimlarini hisoblash uchun almashtirish sxemasi; j)- havodagi EUL ning bosh uchastkasidagi quvvatni aniqlash uchun almashtirish sxemasi; z)- kuchlanishlar vektor-diagrammasi

5.2. Ochiq taqsimlovchi elektr tarmoqlarda kuchlanish isrofining eng katta qiymatini aniqlash

5.2-rasmda keltirilgan taqsimlovchi elektr tarmoqning almashtirish sxemasini ko‘rib chiqamiz.

Bu sxemani hisoblashda tugunlardagi quvvatlar S_k , EUL boshlanishidagi kuchlanish U_1 va EUL uchastkalaridagi qarshiliklar Z_{kj} lar berilgan. Bunda: k -EUL uchastkasi boshlanishidagi tugun nomeri ($k=1, 2$), j -uchastka oxiridagi tugun nomeri ($j=2, 3$). Tugunlardagi kuchlanish va EUL uchastkalaridagi quvvat oqimlari (S_{kj}) aniqlanishi kerak⁶⁹.

S_{kj} quvvat Kirxgofning birinchi qonuni bo‘yicha aniqlanadi:

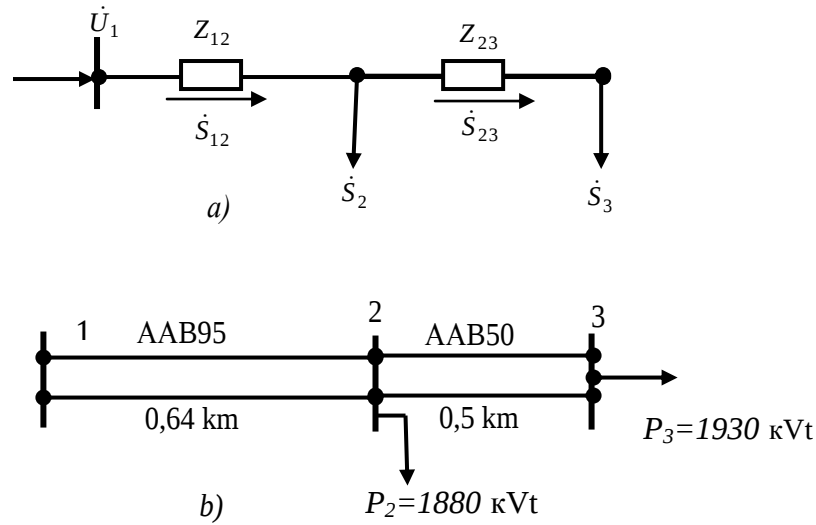
$$S_{23}=S_3; \quad S_{12}=S_2+S_3; \quad (5.1)$$

Bunda EUL uchastkalaridagi aktiv va reaktiv quvvatlar quyidagicha bo‘ladi:

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

$$R_{23}=R_3 ; \quad R_{12}=R_2+R_3; \quad (5.2)$$

$$Q_{23}=Q_3 ; \quad Q_{12}=Q_2+Q_3; \quad (5.3)$$



5.2-rasm. Taqsimlovchi elektr tarmog‘i: a)-almashtirish sxemasi; b)-kabelli elektr uzatish liniyalari

Ta’minlovchi manba kuchlanishi va eng kam kuchlanishli tugun kuchlanishlari orasidagi farq kuchlanish isrofining eng katta qiymati deyiladi.

5.2-rasmdagi tarmoq uchun $\Delta U_{e.kat} = U_1 - U_3$.

Umumiy holda kuchlanish isrofining eng katta qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta U_{e.kat} = \sum_m \Delta U_{kj} ; \quad (5.4)$$

Bu ifodada ΔU_{kj} -EUL uchastkasidagi kuchlanish isrofi; m – EULdagi uchastkalar soni. Shuningdek bu kattalik quyidagicha hisoblanishi ham mumkin:

$$\Delta U_{e.kat} = \sum (R_{kj} r_{kj} + Q_{kj} x_{kj}) / U_n; \quad (5.5)$$

Bu yerda r_{kj} -EUL uchastkasining aktiv qarshiligi; x_{kj} - EUL uchastkasining reaktiv qarshiligi, R_{kj} , Q_{kj} -EUL uchastkasidagi aktiv va reaktiv quvvat oqimlari⁷⁰.

Agar EULdagi quvvat oqimlarini yuklama quvvatlari orqali ifodalasak,

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

(5.5) ifodani soddaroq ko‘rinishda yozish mumkin bo‘ladi. Masalan, 5.2,a-rasmdagi sxema uchun uni quyidagicha yozish mumkin:

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{P_{12}r_{12} + Q_{12}x_{12}}{U_n} + \frac{P_{23}r_{23} + Q_{23}x_{23}}{U_n}; \quad (5.6)$$

Bu ifodani (5.1)-(5.3)-larni hisobga olib va quyidagi belgilashlarni kiritib, boshqa shaklda yozish mumkin:

$$r_2 = r_{12}, \quad (5.7)$$

$$r_3 = r_{12} + r_{23}, \quad (5.8)$$

$$x_2 = x_{12}, \quad (5.9)$$

$$x_3 = x_{12} + x_{23}. \quad (5.10)$$

(5.2)-(5.3) ifodalarni (5.6)-ga qo‘yamiz:

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{(P_2 + P_3)r_2 + (Q_2 + Q_3)x_2}{U_n} + \frac{P_3(r_3 - r_2) + Q_3(x_3 - x_2)}{U_n}$$

yoki

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{P_2r_2 + Q_2x_2}{U_n} + \frac{P_3r_3 + Q_3x_3}{U_n} = \frac{\sum_{k=2}^n (P_k r_k + Q_k x_k)}{U_n}.$$

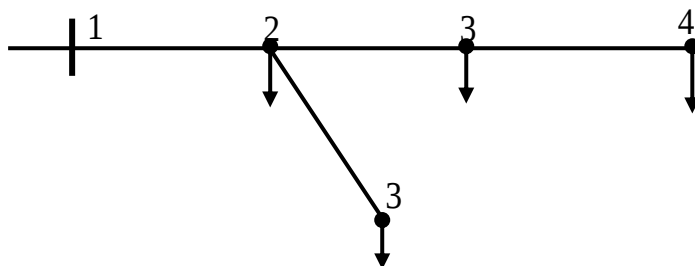
Bu yerda: P_k, Q_k - k -nchi tugundagi yuklama quvvati; r_k, x_k - 1 va k - tugunlar oralig‘idagi ekvivalent aktiv va reaktiv qarshiliklar, n - tugunlar soni.

Agar, o‘tkazgichning ko‘ndalang kesim yuzasi F_{kj} EULning hamma uchastkalarida bir xil bo‘lsa, u holda

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{1}{U_k} (r_0 \sum_{k=2}^n P_k L_k + x_0 \sum_{k=2}^n Q_k L_k). \quad (5.11)$$

Bunda L_k - 1 va k - tugunlar oralig‘idagi masofa.

Bir nechta shoxobchadan iborat bo‘lgan tarmoqda kuchlanish isrofining eng katta qiymati qanday aniqlanishini ko‘rib chiqamiz (5.3-rasm).



5.3-rasm. Tarmoqlangan ochiq elektr tarmoq

Buning uchun ΔU_{13} , ΔU_{15} -kuchlanish isroflarini aniqlaymiz:

$$\Delta U_{13} = \Delta U_{12} + \Delta U_{23},$$

$$\Delta U_{15} = \Delta U_{12} + \Delta U_{24} + \Delta U_{45}.$$

Agar $\Delta U_{24} + \Delta U_{45} > \Delta U_{23}$, bo'lsa, u holda Ushbu tarmoq uchun kuchlanish isrofining eng katta qiymati ΔU_{15} bo'ladi.

5.1-misol. Kabelli EULdan iborat bo'lgan 10 kV kuchlanishli elektr tarmog'i berilgan (5.2,b-rasm). Yuklamaning quvvat koeffitsienti $\cos\varphi=0,96$. Tarmoqdagi kuchlanish isrofining eng katta qiymatini aniqlash talab etiladi.

Qo'llanmadan kabelli EULLar uchun solishtirma kattaliklarni topamiz:

$$\text{AAB95: } r = 0.326 \text{ Om/km; } x_0 = 0.083 \text{ Om/km;}$$

$$\text{AAB50: } r = 0.62 \text{ Om/km; } x_0 = 0.09 \text{ Om/km;}$$

EULning aktiv va reaktiv qarshiliklarini aniqlaymiz:

$$r_{12} = 0,5 * 0,326 * 0,64 = 0,104 \text{ Om;}$$

$$x_{12} = 0,5 * 0,083 * 0,64 = 0,027 \text{ Om;}$$

$$r_{23} = 0,5 * 0,62 * 0,5 = 0,155 \text{ Om;}$$

$$x_{23} = 0,5 * 0,09 * 0,5 = 0,022 \text{ Om;}$$

Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha EULda uzatilayotgan aktiv quvvatlarni aniqlaymiz:

$$R_{12} = R_2 + R_3 = 1880 + 1930 = 3810 \text{ kVt;}$$

$$R_{23} = R_3 = 1930 \text{ kVt;}$$

isrof qilingan aktiv quvvatlar va quvvat koeffitsienti orqali EUL uchackalaridagi reaktiv quvvat oqimlarini aniqlaymiz:

$$Q_{12} = R_{12} \operatorname{tg} \varphi = 3810 * 0.292 = 1113 \text{ kVAR};$$

$$Q_{23} = R_{23} \operatorname{tg} \varphi = 1930 * 0.292 = 564 \text{ kVAR};$$

23 va 12 liniyalardagi kuchlanish isroflari:

$$\Delta U_{23} = \frac{1930 * 0,155 + 564 * 0,022}{10} = 31,2 \text{ V},$$

$$\Delta U_{12} = \frac{(1880 + 1930) * 0,104 + (1113 + 564) * 0,027}{10} = 44,2 \text{ V}.$$

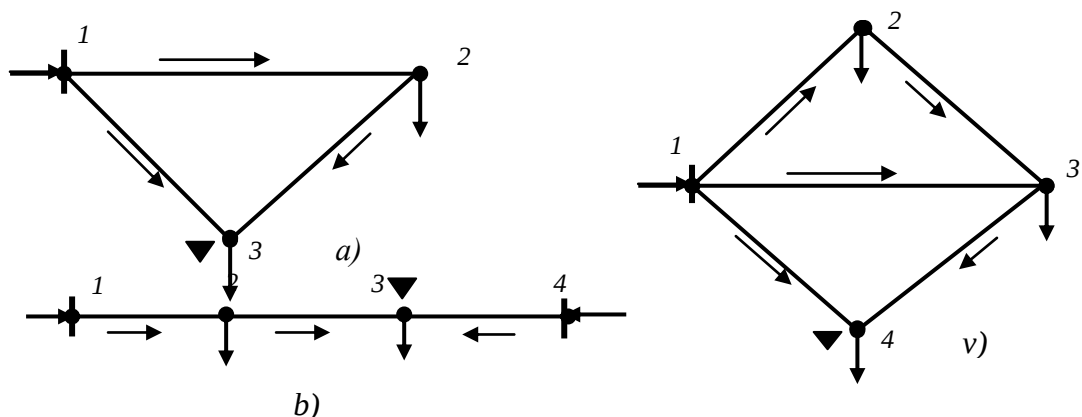
Tarmoqda kuchlanish isrofining eng katta qiymati:

$$\Delta U_{e.kat} = \Delta U_{12} + \Delta U_{23} = 31,2 + 44,2 = 75,4 \text{ V},$$

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{0,0754}{10} \cdot 100 = 0,75\%.$$

5.3. Oddiy yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlari va kuchlanishning taqsimlanishi

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. Shuning uchun mas'uliyatli, elektr ta'minoti uzilib qolish mumkin bo'lmagan iste'molchilarni ishonchli elektr energiya bilan ta'minlash uchun yopiq elektr tarmoqlari qo'llaniladi. Yopiq elektr tarmoqlari deb shunday tarmoqlarga aytiladiki, ularda elektr energiya iste'molchilarga kamida ikki tomondan etkazib beriladi. Bular ikki tomondan ta'minlanuvchi tugunlarga ega bo'lgan oddiy va uch va undan ortiq tomondan ta'minlanuvchi murakkab yopiq tarmoqlarga bo'linadi. Oddiy yopiq tarmoq bitta ta'minlash manbaiga ega bo'lib xalqasimon (5.4,a-rasm) yoki ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoq (5.4,b-rasm) ko'rinishlarida bo'lishi mumkin. Ikkinchi holatda u ikki tomondan ta'minlanuvchi liniya deb ham yuritiladi. Xalqasimon yopiq tarmoqni ta'minlovchi manbadan bo'lib, ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoqqa keltirish mumkin.



5.4–rasm. Yopiq tarmoqlarning sxemalari: a)-xalqasimon oddiy yopiq tarmoq:
 b)- ikki tomondan ta'minlovchi tarmoq: v)- murakkab yopiq tarmoq

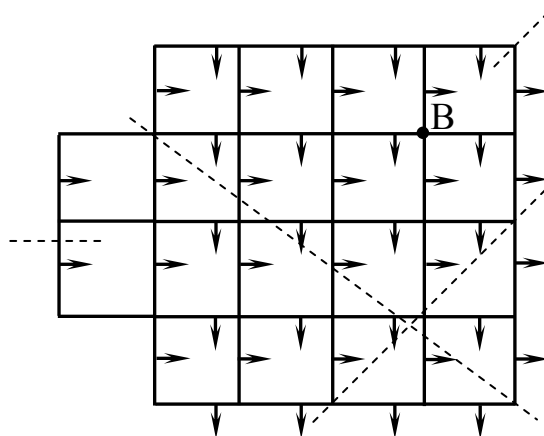
Masalan, 5.4,a-rasmdagi tarmoqni ta'minlash tuguni – 1- tugunni ikkiga bo'lsak va paydo bo'lgan tugunlarni 1 va 4 deb belgilasak, u holda 5.4,b – rasmdagi ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoq hosil bo'ladi.

5.4,v-rasmda murakkab yopiq tarmoqning sxemasi ko'rsatilgan. Bunday tarmoqni ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoqqa keltirish mumkin emas, chunki bu murakkab o'zgarishlarni talab etadi.

Taqsimlovchi tarmoqlarda ko'pincha xalqasimon, ikki tarafdan ta'minlanuvchi tarmoqlar va xalqasimon tarmoqning bir turi bo'lgan ikki zanjirli liniyalar qo'llaniladi⁷¹.

Taqsimlovchi tarmoqlardagi past kuchlanishning murakkab yopiq sxemalari berk setka (to'r) deb ataladigan ko'rinishda bo'lishi mumkin. Bunday ko'rinishli tarmoqlar katta shaharlarda 400/230 V kuchlanishli shahar xo'jalik yuklamalarini ta'minlashda qo'llaniladi. Bunday tarmoqning sxemasi (5.5-rasm) shahar ko'chalarida o'tkazilgan, kesishgan joylarni birlashtiruvchi va parallel bir nechta manbalardan ta'minlanuvchi liniyalarni ifoda etadi.

⁷¹ Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.



5.5-rasm. Berk setka sxemasi

Amaliy hisoblarda berk setkani ochiq tarmoqlarga aylantirish uchun shartli ravishda tugunlar kesiladi (shtrixli liniyalar) va soʻngra maʼlum usullarda – metall minimal sarfining minimalligi va ruxsat etilgan kuchlanish yoʻqotilishi boʻyicha hisoblaymiz. Bunday kesish juda aniq natijalarni beradi, chunki tarmoqni boʻlinish joyi koʻpgina hollarda yuklamalar boʻlingan nuqtalar bilan yaqin yoki ustma-ust tushadi⁷².

Yopiq tarmoqlar ochiq tarmoqlarga nisbatan bir qator afzalliklarga ega. Ularning asosiylarini koʻrib oʻtamiz.

Ishonchlilik. Manbaning birortasi ishdan chiqqanida hamma isteʼmol qiladigan yuklamalar shikastlangan uskunani ajratish uchun kerak boʻlgan vaqtli uzilishdan soʻng boshqa manbalardan energiyani qabul qilishi mumkin. Shuningdek, bu yana liniyaning qandaydir uchastkasidagi shikastga ham tegishlidir.

Moslanuvchanlik. Yopiq tarmoqlarda qisqa vaqtli isteʼmolchilarda yuklamani tebranishi yoki uzoq vaqtli uni oʻzgarishi, ochiq tarmoqlarga nisbatan kuchlanishni kam tebranishi va yoʻqotilishini yuzaga keltiradi.

Kuchlanish isrofining minimal boʻlishi. Quvvatlarni tabiiy ravishda

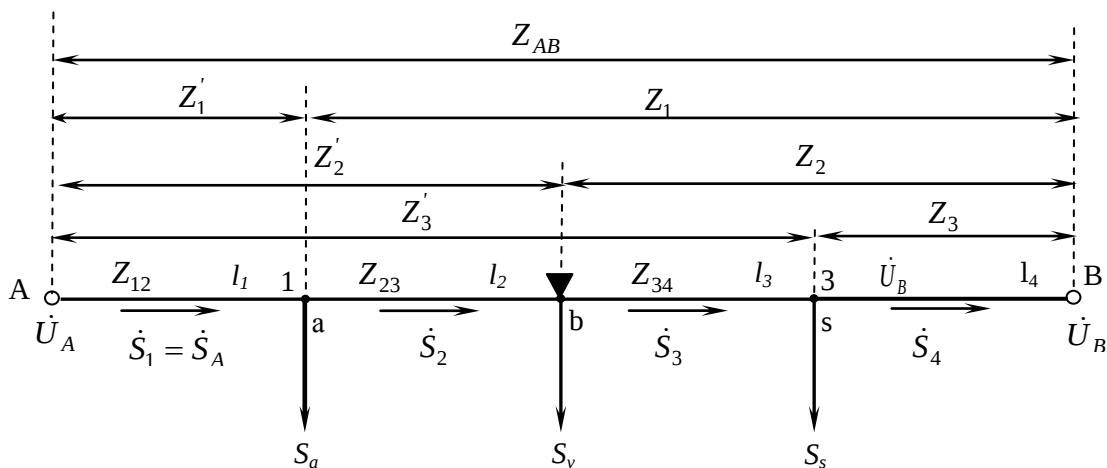
² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

qaytadan taqsimlanishi tufayli ta'minlovchi punktlarning kuchlanishlari bir xil bo'lganda kuchlanishni yo'qotilishi minimal bo'ladi. Yuklamalarni o'zgarishi jarayonida quvvatlarni ixtiyoriy o'zgarishi va ularni yopiq tarmoq uchastkalarida eng maqbul quvvatlarni (toklarni) taqsimlanishini ta'minlaydi. Bo'linish nuqtasi deb atalgan nuqtalar yopiq tarmoqlarda erkin harakatlanadiki, bu holatda yopiq tarmoqlarda toklarni (quvvatlarni) taqsimlanishi bo'linish nuqtasiga asosan majburiydir.

Ta'minlovchi punktlarning har xil kuchlanishda bo'lishi potentsiallarning har xilligidan tenglashtiruvchi deb ataladigan tokni yuzaga keltiradi. Bu toklar ko'pincha qo'shimcha quvvat isrofini hosil qiladi.

Qaytadan chuqur tuzatishsiz tarmoqlarni rivojlantirish.

Yopiq tarmoqlarda quvvatlarni ixtiyoriy taqsimlanishi tufayli o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish imkoniyati bo'ladi, ya'ni yuklamalar oshishi bilan tarmoqni qaytadan qurish yoki o'zgartirish shart emas. Bularning barchasi yuklamalarni ma'lum bir qiymatlarida to'g'ridir⁷³.



5.6–rasm. Ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoqning sxemasi

Modomiki, yuqorida ko'rsatilganidek xalqasimon tarmoqlarni osonlik bilan ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyalarga keltirish mumkin ekan, ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyalarda quvvat oqimlari va kuchlanishning

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

taqsimlanishini aniqlash usulini sxemasi 5.6-rasmda tasvirlangan elektr tarmog‘i misolida ko‘rib chiqamiz.

5.6-rasmda S_a , S_b va S_c – 1, 2 va 3 tugunlardagi yuklamalar; S_1 , S_2 va S_3 – uchastkalardagi to‘la quvvatlar oqimlari; Z_{01} , Z_{12} , Z_{23} , Z_{34} va l_1 , l_2 , l_3 , l_4 va – tegishli bo‘lgan uchastkalarining to‘la qarshiliklari va uzunliklari; A va B – ta’minlash manbalari; U_A va U_B – ta’minlash manbalarining kuchlanishlari.

Har bir uchastkada liniya kuchlanishining pasayishi quyidagicha aniqlanadi:

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

Bu yerda I_i , Z_i – i uchastka toki va to‘la qarshiligi.

Kuchlanish pasayishi uchun yuqoridagi ifoda va $S_i = \sqrt{3} I_i U_i$ dan $\Delta \dot{U}_i = \frac{S_i}{U_i} Z_i$ kelib chiqadi.

Liniyalardagi quvvatlar isrofini hisobga olmasdan, ya’ni har bir uchastka uzunligi davomida kuchlanishlar o‘zgarmas deb faraz qilib $\dot{U}_1 = \dot{U}_2 = \dots = \dot{U}_n$ (taqsimlovchi elektr tarmoqlari uchun mumkin bo‘lgan holat), Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan A va B punktlar orasidagi kuchlanishni pasayishi uchun quyidagi tenglamani yozishimiz mumkin:

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

yoki

$$S_1 Z_{01} + S_2 Z_{12} + S_3 Z_{23} + S_4 Z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{U}_n \quad (5.12)$$

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

$$\dot{S}_2 = \dot{S}_1 - \dot{S}_a; \quad \dot{S}_3 = \dot{S}_1 - \dot{S}_a - \dot{S}_b; \quad \dot{S}_4 = \dot{S}_1 - \dot{S}_a - \dot{S}_b - \dot{S}_s \quad (5.13)$$

Bu ifodalarni (5.12) tenglamaga qo‘yamiz:

$$S_1 Z_{01} + (S_1 - S_a) Z_{12} + (S_1 - S_a - S_b) Z_{23} + (S_1 - S_a - S_b - S_s) Z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \cdot \dot{U}_n.$$

yoki

$$S_1(Z_{01} + Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}) - S_a(Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}) - S_v(Z_{23} + Z_{34}) - S_s Z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_v) \cdot \dot{U}_\kappa$$

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

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_A = \frac{\dot{S}_a(Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}) + \dot{S}_v(Z_{23} + Z_{34}) + \dot{S}_s Z_{34} + (U_A - U_B) \cdot U_n}{Z_{01} + Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}} \quad (5.14)$$

Quyidagicha belgilashlar kiritamiz:

$$Z'_1 = Z_{01}; \quad Z_1 = Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}; \quad Z'_2 = Z_{01} + Z_{12}; \quad Z_2 = Z_{23} + Z_{34};$$

$$Z'_3 = Z_{01} + Z_{12} + Z_{23}; \quad Z_3 = Z_{34}; \quad Z_{AB} = Z_{01} + Z_{13} + Z_{23} + Z_{34}.$$

(5.14) da ushbu belgilashlarni hisobga olamiz:

$$\dot{S}_A = \frac{\dot{S}_a Z_1 + \dot{S}_v Z_2 + \dot{S}_s Z_3}{Z_{AB}} + \frac{U_A - U_B}{Z_{AB}} \cdot U_n \quad (5.15)$$

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

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i Z_i}{Z_{AB}} + \frac{U_A - U_B}{Z_{AB}} \cdot U_n \quad (5.16)$$

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

$$\dot{S}_4 = \dot{S}_B = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i Z_i}{Z_{AB}} \cdot \frac{U_B - U_A}{Z_{AB}} \cdot U_n$$

$\dot{S}_1 = \dot{S}_A$ aniqlanganidan so'ng (5.13) ifodalar yordamida uchastkalar bo'yicha taqsimlangan quvvat oqimlari oson topiladi⁷⁴. Shoxobchalardagi quvvatlarning musbat yo'nalishi qilib shartli ravishda A punktdan B ga tomon yo'nalish qabul qilingan (5.6-rasm). Bunday holatda B ta'minot manbasiga yaqin uchastkalardagi yuklamalarning bir qismi manfiy ishorada bo'ladi Bu esa ularni teskari yo'nalishdaligini ko'rsatadi. Qandaydir nuqtaga quvvat ikki tomondan

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

kirib keladi. Ko‘rilayotgan holat uchun shunday nuqta 2-chi nuqta bo‘lsin. Bu nuqta bo‘linish nuqtasi deb ataladi va maxsus belgi bilan ajratiladi. (5.15) formuladagi ikkinchi tashkil etuvchi ta‘minlash punktlarida kuchlanishlar farqi tufayli hosil bo‘lib, kuchlanishi katta bo‘lgan tomondan kichik bo‘lgan tomonga liniya orqali oquvchi tenglashtiruvchi quvvatni ifodalaydi. Bu keraksiz bo‘lgan quvvat yuklamalarga bog‘liq bo‘lmasdan tarmoqda qo‘shimcha isrofni yuzaga keltiradi. Shuning uchun imkoniyatga qarab tarmoqni ta‘minlaydigan punktlarning kuchlanishlarini tenglashtirishga harakat qilinadi. Ta‘minlash punktlarida kuchlanishlar teng bo‘lgan ikki tomondan ta‘minlanuvchi tarmoqlarda, shuningdek, yopiq sxemada A va B nuqtalar ustma-ust tushganda ($\dot{U}_A = \dot{U}_B$) (5.15) formuladagi ikkinchi tashkil etuvchi yo‘qoladi va A punktdan chiquvchi quvvatni topish formulasi quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i Z_i}{Z_{AB}} \quad (5.17)$$

Shunday qilib, bitta ta‘minlash manbaidan chiqadigan quvvatni aniqlash uchun yuklamalar momenti yig‘indisini boshqa manbaga nisbatan aniqlash va uni to‘liq qarshilik Z_{AB} ga bo‘lish kerak. $\dot{U}_A = \dot{U}_B$ bo‘lganda yoki xalqasimon sxemalarni hisoblaganda ikkala ta‘minlash manbaidan quvvat oqimining bo‘linish nuqtasigacha bo‘lgan oraliqdagi kuchlanish isroflari bir xil bo‘ladi. Shu sababli bu nuqtada tarmoqni shartli kesish orqali ikkita bir tomondan ta‘minlanuvchi tarmoqlar ko‘rinishiga keltirish mumkin.

Umumiy hollarda hisoblash quyidagi kompleks ko‘rinishda bo‘ladi:

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

Formulalardagi qarshiliklarni mos o‘tkazuvchanliklar bilan almashtirib, ko‘p hollarda hisoblashni osonlashtirish mumkin:

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

Bu yerda

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

Bu ifodalarni (5.16a) formulaga qo‘ysak:

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

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

$$\begin{aligned} P_A &= G_{AB} \sum_{i=1}^n (P_i R_i + Q_i X_i) - B_{AB} \sum_{i=1}^n (Q_i R_i - P_i X_i) \\ Q_A &= G_{AB} \sum_{i=1}^n (Q_i R_i - P_i X_i) + B_{AB} \sum_{i=1}^n (P_i R_i + Q_i X_i) \end{aligned} \quad (5.18)$$

(5.18) formulasi aktiv va reaktiv quvvatlarning taqsimlanishini yuklamani mutloq haqiqiy va mavhum qiymatlari va qarshiliklari yordamida hisoblashga imkon beradi. $U_A \neq U_B$ bo‘lganda (5.18) formulalar bo‘yicha aniqlanuvchi quvvat taqsimlanishi qiymatlariga tenglashtirish quvvatini qo‘shish lozim.

Ikki tomondan ta’minlanuvchi liniyalarda quvvat taqsimlanishi yuqoridagi formulalar bo‘yicha aniqlanganidan so‘ng kuchlanishlarni hisoblashga o‘tiladi.

Yuqorida keltirib chiqarilgan ifodalarni soddalashtirish va hisoblashni osonlashtirish imkonini beruvchi ayrim hollarni ko‘rib chiqamiz.

1. Agar liniyaning butun uzunligi davomida tayanchlarda o‘tkazgichlar bir xil osilgan va uchastkalarda reaktiv va aktiv qarshiliklarni o‘zaro nisbati bir xil, ya’ni

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

bo‘lsa, u holda $X = mR$ va $X_{AB} = mR_{AB}$ ni hisobga olib, (5.17) formulani quyidagicha o‘zgartirish mumkin:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i + jQ_i)(1 - jm)R_i}{(1 - jm)R_{AB}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i R_i}{R_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n Q_i R_i}{R_{AB}} \quad (5.18)$$

Shunday qilib, ushbu holatda tarmoqda aktiv va reaktiv quvvat oqimlarining

taqsimlanishini hisoblash aktiv qarshilik bo'yicha alohida olib borilishi mumkin.

2. Ko'ndalang kesim yuzasi bir xil bo'lgan liniya⁷⁵.

Ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyaning barcha uchastkalarida o'tkazgichlarning joylashuvi va kesim yuzalari bir xil, ya'ni $r_i = r_o$ bo'lsa, u holda $R_i = r_o L_i$ va $R_{AB} = r_o L_{AB}$ (L_i – liniyaning mos yuklamadan B punktgacha bo'lgan oraliqdagi uchastkalari uzunliklarining yig'indisi; L_{AB} – liniyaning barcha uchastkalari uzunliklari yig'indisi) ekanligini e'tiborga olib, (5.17) ni qo'yidagi ko'rinishga keltirishimiz mumkin: almashtirishimiz mumkin:

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

yoki

$$P_A = \frac{\sum_{i=1}^n P_i L_i}{L_{AB}}, \quad Q_A = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i L_i}{L_{AB}}$$

Bu holda aktiv va reaktiv quvvat oqimlarini hisoblash aktiv va reaktiv quvvatlar bo'yicha ayrim holda liniya uzunligi bo'yicha olib boriladi.

5.4. Murakkab yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlarining taqsimlanishini hisoblash

Uchta va undan ortiq tomondan ta'minlanuvchi tugunlarga ega bo'lgan yoki ikki va undan ortiq mustaqil konturlarga ega bo'lgan elektr tarmog'i murakkab yopiq elektr tarmog'i deyiladi.

Bunday tarmoqlarda quvvat oqimlarining taqsimlanishini tarmoqdagi isrofni e'tiborga olmasdan (taxminiy) hisoblashda kontur toki tenglamalaridan foydalanish maqsadga muvofiq.

Ushbu usulda elektr tarmog'ining barcha mustaqil konturlari uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha tuzilgan tenglamalardan hosil bo'lgan

¹ S. Sivanagaraju, Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

sistema yechiladi. Bu qonunga asosan kontur shoxobchalarida kuchlanish pasayishlarining yig'indisi undagi E.Yu.K.larning yig'indisiga tengdir. Demak, n ta shoxobchadan iborat bo'lgan konturda E.Yu.K.manbai bo'lmasa, u holda tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\sum_{i=1}^n \dot{S}_i \hat{Z}_i = 0. \quad (5.19)$$

Bu yerda, Z_i , $\dot{S}_i$ - konturning i - shoxobchasi to'la qarshiligining qo'shmasi va undagi to'la quvvat oqimi.

Agar (5.19) da to'la qarshiliklar va quvvat oqimlarini $\dot{Z}_i = R_i + jX_i$, $\dot{S}_i = P_i + jQ_i$ ko'rinishda ifodalasak, u quyidagi ikkita tenglamaga ajraladi:

$$\sum_{i=1}^n P_i R_i + \sum_{i=1}^n Q_i X_i = 0, \quad (5.19a)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i - \sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0. \quad (5.19b)$$

(5.19a) ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i \frac{R_i}{X_i} + \sum_{i=1}^n Q_i R_i \frac{X_i}{R_i} = 0. \quad (5.20)$$

Konturning shoxobchalari liniyalardan iborat bo'lib, uni bir jinsli deb qarasak, ya'ni $\frac{R_i}{X_i} = \alpha = const$ yoki $\frac{X_i}{R_i} = \frac{1}{\alpha} = c o n$ bo'lsa, u holda (5.20) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\alpha \sum_{i=1}^n P_i X_i + \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0. \quad (5.21)$$

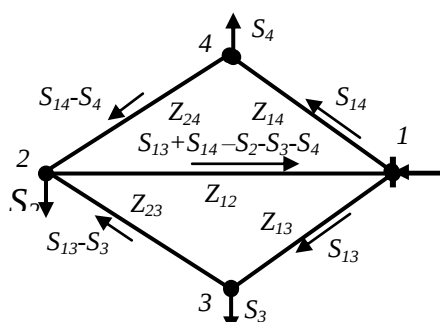
(5.20) tenglamaning har ikkala tomonini α ga ko'paytirib, paydo bo'lgan tenglamani (5.19b) tenglamaga qo'shish, shuningdek, (5.21) ning har ikkala tomonini α ga bo'lib, paydo bo'lgan tenglamadan (5.19b) ni ayirish natijasida quyidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i = 0, \quad (5.22a)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0. \quad (5.22b)$$

(5.22a) tenglama yuklamalarining quvvatlari faqat aktiv va shoxobchalarining qarshiliklari faqat reaktiv harakterda bo‘lgan kontur uchun va (5.22b) tenglama yuklamalarining quvvatlari faqat reaktiv va shoxobchalarining qarshiliklari faqat aktiv bo‘lgan kontur uchun yozilgan tenglamalardir. Demak, ushbu holda elektr tarmoqda aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishlarini alohida mustaqil sxemalar uchun (5.22a) va (5.22b) tenglamalarni yechish asosida aniqlash mumkin. Ushbu usul «sxemalarga ajratish» usuli deb yuritiladi⁷⁶.

Misol tariqasida quyidagi murakkab yopiq elektr tarmoqda (5.7-rasm) quvvat oqimi taqsimlanishini aniqlash masalasini ko‘rib o‘tamiz.



5.7-rasm. Quvvat oqimi taqsimlanishi

Sxemasi 5.7-rasmda tasvirlangan elektr tarmoqda to‘la quvvat oqimining taqsimlanishi umumiy holda har ikkila mustaqil konturlar uchun Kirxgofning 2-qonuni bo‘yicha (5.19) ko‘rinishida yozilgan kompleks tenglamalar sistemasini yechib, noma’lumlar $\dot{S}_{13}$, $\dot{S}_{14}$ larni topish orqali amalga oshiriladi:

$$\begin{cases} \dot{S}_{14}\hat{Z}_{14} + (\dot{S}_{14} - \dot{S}_4)\hat{Z}_{24} + (\dot{S}_{13} + \dot{S}_{14} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4)\hat{Z}_{12} = 0, \\ \dot{S}_{13}\hat{Z}_{13} + (\dot{S}_{13} - \dot{S}_3)\hat{Z}_{23} + (\dot{S}_{13} + \dot{S}_{14} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4)\hat{Z}_{12} = 0. \end{cases}$$

«Sxemalarga ajratish» usulida esa, 5.7-rasmdagi sxema quyidagi sxemalarga ajratilib (5.8,a , 5.8,b - rasm), ular uchun yuqoridagi qonun bo‘yicha tuzilgan tenglamalardan iborat bo‘lgan (5.22a) va (5.22b) ko‘rinishidagi haqiqiy

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

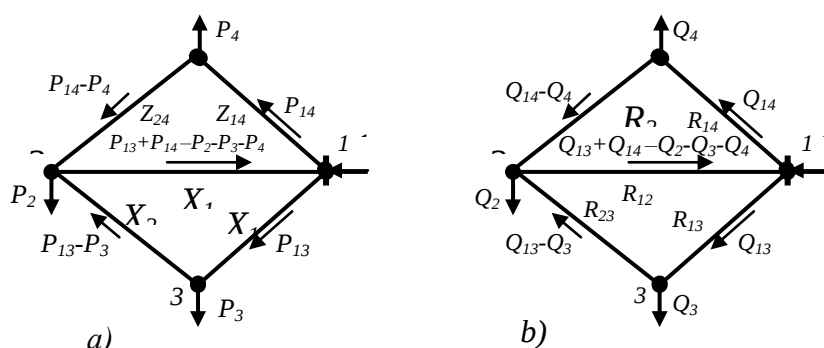
tenglamalar sistemalarini yechish asosida aktiv va reaktiv quvvatlar oqimlari alohida hisoblanadi.

Agar mustaqil konturlarni tashkil etuvchi shoxobchalar solishtirma parametrlari bir xil bo'lgan liniyalardan iborat deb qarasak ($r_{0i} = const$, $x_{0i} = const$), u holda (5.22a) va (5.22b) tenglamalar yanada soddalashadi. Bunda qarshiliklar o'rnida mos liniyalarning uzunliklari paydo bo'ladi:

$$\sum_{i=1}^n P_i l_i = 0, \quad (5.23a)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i l_i = 0. \quad (5.23b)$$

(5.23a) va (5.23b) tenglamalardan iborat bo'lgan sistemalarni yechish orqali quvvatlar oqimlarining taqsimlanishini taxminiy hisoblashlarda, jumladan, elektr tarmoqlarni loyihalashda oqimning dastlabki taqsimlanishini hisoblashda foydalaniladi.



5.8-rasm. Quvvat oqimi taqsimlanishi

5.2-misol. Sxemasi quyidagi 5.9-rasmda keltirilgan bir jinsli konturlardan tashkil topgan murakkab yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining taqsimlanishini tarmoqdagi isrofni hisobga olmasdan aniqlash talab etiladi⁷⁷.

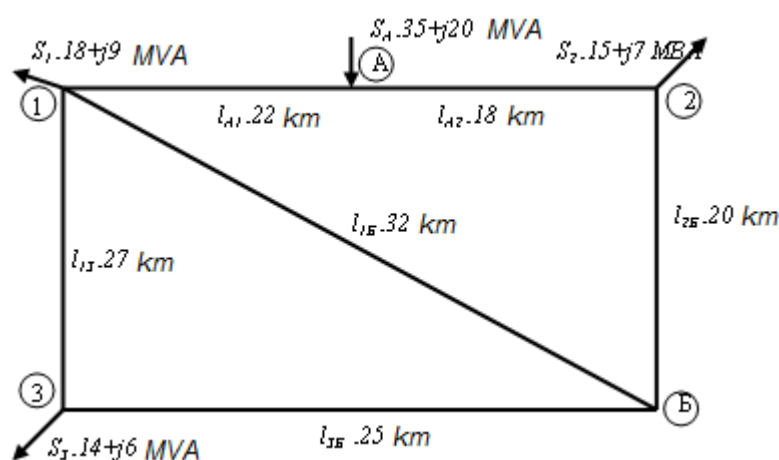
¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

Balanslovchi tugundan tashqari barcha tugunlardagi to'la quvvatlar va liniyalarning uzunliklari sxemada keltirilgan.

Elektr tarmoqning konturlari bir jinsli bo'lganligi uchun ulardagi quvvat oqimlarini liniyalarning uzunliklari bo'yicha hisoblaymiz.

Hisoblashda qulay bo'lishi uchun aktiv va reaktiv quvvat oqimlarini hisoblashni alohida amalga oshiramiz.

Elektr tarmoqda aktiv quvvatning taqsimlanishini hisoblash. Tarmoqning sxemasini qayta chizib, tugunlarga aktiv quvvatarni qo'yamiz va liniyalarda quvvat oqimlarini aniqlaymiz. Buning uchun avvalo har bir mustaqil konturning bittadan shoxobchasida (hozirgi holatda liniyasida) quvvat oqimlarini noma'lum sifatida qabul qilib, qolgan shoxobchalardagi quvvat oqimlarini ushbu ikkala noma'lum va tugunlardagi quvvatlar orqali (Kirxgofning birinchi qonunidan foydalanib) ifodalaymiz⁷⁸.

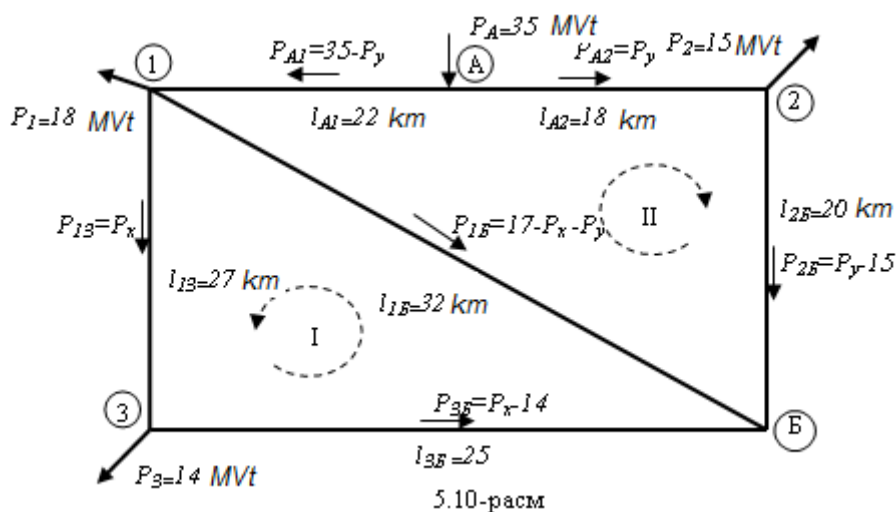


5.9- rasm. Murakkab yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining taqsimlanishi

Birinchi konturda (I kontur) 1-3 shoxobchada 1-tugundan 3-tugunga tomon oquvchi quvvatni noma'lum sifatida qabul qilib, P_x bilan va ikkinchi konturda (II kontur) A-2 shoxobchada A-tugundan 2-tugunga tomon oquvchi quvvatni noma'lum sifatida qabul qilib, P_y bilan belgilaylik. Qolgan barcha

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

shoxobchalardagi quvvatlar oqimlarining yoʻnalishlarini ixtiyoriy qabul qilib (masalan, 5.10-rasmdagi yoʻnalishlarda), ularni tugunlar uchun Kirxgofning birinchi qonunidan foydalanib ifodalaymiz.



Kontur quvvatlarining yoʻnalishlarini ixtiyoriy qabul qilib, ular uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni boʻyicha tenglamalar tuzamiz. Bunda shoxobchadagi quvvat yoʻnalishi kontur quvvatining yoʻnalishi bilan bir xil boʻlganda mos tashkil etuvchi musbat va har xil boʻlganda manfiy ishora bilan olinadi:

$$\begin{cases} 27P_x + 25(P_x - 14) - 32(17 - P_x - P_y) = 0, \\ 18P_y + 20(P_y - 15) - 32(17 - P_x - P_y) - 22(35 - P_y) = 0. \end{cases}$$

Paydo boʻlgan sistemani ixchamlab yechamiz va natijada noma'lum quvvat oqimlarini topamiz: $P_x = 4,58 \text{ MVt}$, $P_y = 15,96 \text{ MVt}$.

Topilgan quvvatlarni shoxobchalardagi quvvatlar oqimlarining ifodalariga (5.10-rasm) qoʻyib, ularni aniqlaymiz: $P_{A2} = 15,96 \text{ MVt}$, $P_{2B} = 0,96 \text{ MVt}$, $P_{A1} = 19,04 \text{ MVt}$, $P_{13} = 4,58 \text{ MVt}$, $P_{3B} = -9,42 \text{ MVt}$, $P_{1B} = -3,54 \text{ MVt}$.

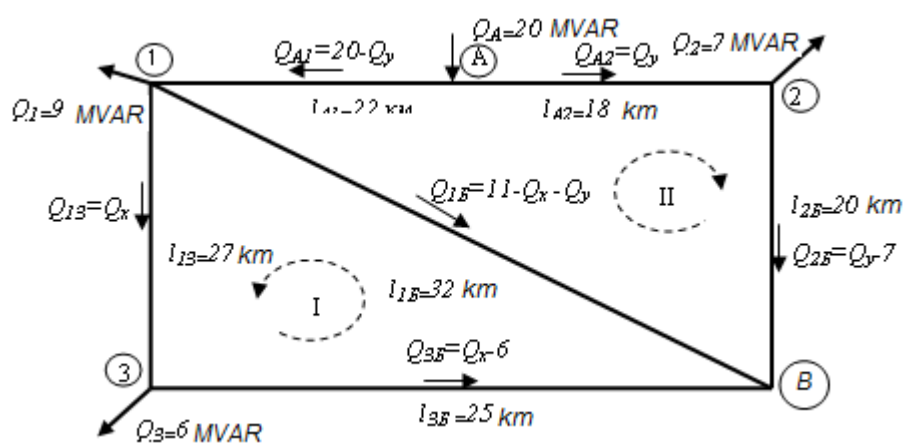
Shoxobchalardagi reaktiv quvvat oqimlarini ham shu tarzda topamiz (5.11-rasm).

$$\begin{cases} 27Q_x + 25(Q_x - 6) - 32(11 - Q_x - Q_y) = 0, \\ 18Q_y + 20(Q_y - 7) - 32(11 - Q_x - Q_y) - 22(20 - Q_y) = 0. \end{cases}$$

$$Q_x = 2,44 \text{ MVt}, Q_y = 9,28 \text{ MVt}.$$

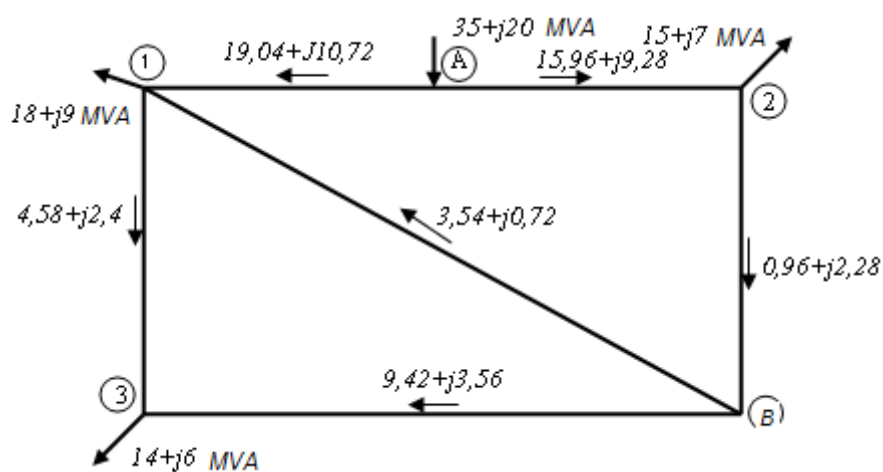
$$Q_{A2} = 9,28 \text{ MVAR}, Q_{2B} = 2,28 \text{ MVAR}, Q_{A1} = 10,72 \text{ MVAR}, Q_{13} = 2,44 \text{ MVAR},$$

$$Q_{3B} = -3,56 \text{ MVAR}, \quad Q_{1B} = -0,72 \text{ MVAR}.$$



5.11-rasm

Shoxobchalardagi to'la quvvat oqimlarining aniqlangan qiymatlarini 5.12-rasmdagi sxemada keltiramiz.



512-rasm

6. Elektr tarmog'ining ish holatlari va ularni boshqarish.

6.1. Elektr tarmoqlarda quvvat isrofining turlari va ularni kamaytirish tadbirlari

Elektr iste'molchilarining normal ishlashi uchun aktiv va reaktiv quvvatlar talab etiladi. Reaktiv quvvat magnit maydonini hosil qilish uchun sarflanadi va uni ishlab chiqarish birlamchi energiya resursining sarflanishini talab qilmaydi. Ammo uni liniyalar orqali uzatish tarmoq elementlarida ma'lum aktiv isrof bilan bog'liq. Bu elementlarda reaktiv quvvat ham sarflanadi, bu esa reaktiv quvvat ishlab chiqarilishini talab qiladi. Shuning uchun reaktiv quvvat iste'molchilarni kamaytirish aktiv energiyani tejaydi, quvvat va kuchlanish isrofini kamaytiradi.

Quvvat isrofi ikki xil bo'ladi: yuklamali (yuklamaga bog'liq bo'lgan) va salt ishlash (yuklamaga bog'liq bo'lmagan) isroflari. Tarmoqning yuklamasi bilan belgilanuvchi quvvat isrofi – yuklamali, yuklamaga bog'liq bo'lmagan isroflar esa – salt ishlash isroflari deb yuritiladi. Yuklamali isroflarga tarmoq elementlarining qarshiliklari orqali yuklama tokining oqib o'tishi natijasida yuz beruvchi isroflar, salt ishlash isroflariga esa transformatorlarning o'zagida, liniyalarda tojlanish va izolyasiya qurilmasi orqali o'tuvchi toklar tufayli yuz beruvchi isroflar kiradi⁷⁹.

Boshqa tomondan, isroflarni texnikaviy, tashkiliy va kommersiya isroflariga ajratish mumkin.

Texnikaviy isroflar – tarmoqni qayta qurish, uskunalarni almashtirish yoki qo'shimcha uskunalarni o'rnatish tadbirlarini ko'zda tutadi. Bularga quyidagilar kiradi:

- 1) kompensatsiyalovchi uskunalarni o'rnatish;

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

- 2) o'tkazgichlarni katta kesim yuzali o'tkazgichlar bilan almashtirish;
- 3) ko'p yuklangan va kam yuklangan transformatorlarni almashtirish;
- 4) rostdlash uskunalari o'rnatish (RPN va PBV li transformatorlar, kuchlanish qo'shuvchi transformatorlar, punktlangan reaktorlar va boshqalar);
- 5) transformasiyalarini avtomatik rostdlash;
- 6) sig'imli batareyalar quvvatini avtomatik rostdlash;
- 7) yuqori va o'ta yuqori kuchlanishli yopiq tarmoqlarda quvvat oqimini rostlovchi uskunalarini o'rnatish (masalan, rostlovchi transformatorlar, RT);
- 8) tarmoqni yuqori kuchlanishga o'tkazish;
- 9) rele himoyasi, avtomatika, telemexanikaning takomillashgan turlarini tadbqiq etish.

Tashkiliy isroflar – xizmat ko'rsatishni yaxshilash tarmoq sxemalarini va ish rejimlarini optimallashtirish tadbirlarini ko'zda tutadi. Bularga kiradi:

- 1) tarmoqning o'rnatilgan rejimini ish tartibini reaktiv quvvat bo'yicha optimallashtirish (KU va transformasiyalash koeffitsientini optimal rostdlash qonunlarini tanlash)
- 2) 6-35 kV li tarmoqlarning uzilish joylarini optimallashtirish;
- 3) sistemada reaktiv quvvat tanqizligi mavjud bo'lganda generatorlarni sinxron kondensatorlar rejimiga o'tkazish;
- 4) radial tarmoqlarning ta'minlash markazlarida ish kuchlanishlarini optimallashtirish;
- 5) kam yuklamali rejimlarda transformatorlarni o'chirish;
- 6) tarmoq fazalarida yuklamalarni teng taqsimlash
- 7) ta'mirlash va xizmat ko'rsatish vaqtini qisqartirish va sifatini yaxshilash;
- 8) quvvat isrofini kamaytirishning yangi usullarini ishlab chiqish va yaratish;

9) xizmat xodimlarini rag'batlantirish va boshqalar⁸⁰.

Kommersiya isroflari – xizmat ko'rsatishni yaxshilash ko'zda tutiladi va iste'molchilar bilan xisob-kitob vaqtida enyergonazorat amalga oshiradi. Bunga kiradi: 1) energiya o'lchagich asboblari o'rnatish; 2) o'g'irliklar bilan kurashish; 3) nazorat sistemasini yaxshilash va boshqlar.

Quvvat isrofini kamaytirish tadbirlari loyihalashda hamda ishlatish vaqtida amalga oshiriladi. Ekspluatatsiya tadbirlari rejimlarni optimallashtirish vaqtida doimo amalga oshiriladi.

Tarmoq yuklamasi ortganda yuklamali isroflar oshadi. Iste'molchilarning aktiv va reaktiv yuklamalarini o'zgarishi energosistemada aktiv va reaktiv quvvatlar oqimlarini hamda undagi isrofni o'zgarishiga sabab bo'ladi.

Shuning uchun doimo isrof darajasini nazorat qilish kerak, chunki ular butun tarmoqning tejamli ishlashini aniqlaydi. Isrof darajasini boshqarish muammosiga sistemaviy yondashish murakkab masala hisoblanadi va faqat zamonaviy iqtisodiy-matematik modellar va EHM lar yordamida uni kompleks yechish mumkin. Bunda asosiy qiyinchilik, tarmoq holatlari to'g'risida ma'lumotlarni yig'ish va qayta ishlash hisoblanadi, chunki ular yuklamalar o'zgarishi bilan doimo o'zgarib turadi.

Ichki elektr ta'minlash tarmoqlaridagi yuklama va isroflar o'zgarishini energosistema tarmoqlaridagi isroflarga ta'sirini hisobga olish uchun umumlashtirilgan koeffitsientlar ishlatiladi: iste'molchilar tarmoqlarida aktiv quvvat o'zgarganda energosistema tarmoqlarida aktiv quvvat isrofining ortishi koeffisienti K_p ; reaktiv quvvat o'zgarganda aktiv quvvat isrofini ortishi koeffisienti K_e . K_e koeffitsient reaktiv quvvatning iqtisodiy ekvivalenti deb ham ataladi. Bu koeffitsientning $K_e=0,05$ bo'lishi, sanoat korxonasi tarmog'ida reaktiv quvvat 100 kVAR ga ortganda, tarmog'ida aktiv quvvat isrofi 5 kVt ga

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

ortishini bildiradi.

6.2. Reaktiv quvvat manbalari

Isrof ifodasidan ko‘rinib turibdiki, reaktiv quvvat Q ortishi bilan, reaktiv va aktiv quvvatlar isrofi ortadi. Ularni kamaytirish uchun, reaktiv quvvat manbasi bo‘lgan kompensatsiyalovchi uskunalar (KU) qo‘llaniladi. Liniyani katta reaktiv quvvat bilan yuklamaslik uchun, manbalar iste’molchilarga yaqin o‘rnatiladi. Kompensatsiyalovchi uskuna o‘rnatilganda liniyadagi isroflar

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \quad \text{va} \quad \Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} x \quad \text{qiymatdan}$$
$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_{KV})^2}{U^2} R \quad \text{va} \quad \Delta Q = \frac{P^2 + (Q - Q_{KV})^2}{U^2} x \quad (6.1)$$

qiymatgacha kamayadi.

(6.1) dan ko‘rinib turibdiki, kompensatsiyalovchi uskunaning quvvati Q_{KU} qancha katta bo‘lsa ($Q_{KU} < Q$ bo‘lgan holatda), quvvat isrofi shuncha kichik bo‘ladi. Lekin, isrofni bu usulda kamaytirish kompensatsiyalovchi uskunalarga sarflanuvchi qo‘shimcha harajatlarni talab qiladi. Bu harajatlarni texnik-iqtisodiy hisoblashlarda e‘tiborga olish lozim.

Reaktiv quvvatni kompensatsiyalash elektr ta‘minoti samaradorligini oshirishning muhim vositasi hisoblanadi. U faqat quvvat isrofini kamaytiribgina qolmay, elektr energiya sifatini oshiradi va elektr tarmoqlari va elektr stansiyalarining yukini yengillashtiradi.

Aytish lozimki, elektr tarmoqlarini kompensatsiyalovchi vositalar bilan ta‘minlanishi 0,2 kVAR/kVt atrofida tashkil qiladi. Shu bilan birga, hisoblashlar ko‘rsatdiki, iqtisodiy tomondan maqsadga muvofiq qiymat 0,5 kVAR/kVtni tashkil etadi.

Reaktiv quvvat manbalariga generatorlar, kompensatorlar, sinxron dvigatellar, kondensatorlar va boshqa statik rostlovchi manbalar kiradi. Reaktiv quvvatni EUL lari ham ishlab chiqaradi (110 kV va yuqori kuchlanishlarda

ahamiyatga ega)⁸¹.

Generatorning aktiv va reaktiv quvvatlari orasidagi nisbat $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ tenglik bilan belgilanadi. Aktiv quvvatning ortishi reaktiv quvvatni kamayishiga olib keladi va aksincha. Biroq generatorlarning aktiv quvvatini kamaytirish hisobiga uni reaktiv quvvat yuklash samarali emas, faqat ayrim hollardan tashqari, qachonki sistemada ortiqcha reaktiv quvvat bo'lganda.

Sinxron dvigatel (SD) elektr energiyasining iste'molchisi bo'lib, aktiv quvvatni iste'mol qilish bilan bir vaqtda qo'zg'atish tokining qiymatiga bog'liq holda reaktiv quvvatni iste'mol qilishi va ishlab chiqarishi mumkin.

Sinxron kompensator (SK)lar talab etilgan reaktiv quvvatni ishlab chiqarishi va iste'mol qilishi mumkin. U rotorining aylanishi uchun kichik miqdordagi aktiv quvvatni iste'mol qiladi.

Shunday qilib, generator, SD va SK zaruriyatga muvofiq tarzda reaktiv quvvatni ishlab chiqarishi (o'ta qo'zg'algan holatda) va iste'mol qilishi (kam qo'zg'algan holatda) mumkin.

Kondensator batareyalari iste'molchilarga parallel (ko'ndalang kompensatsiya) yoki liniyaga ketma-ket (bo'ylama kompensatsiya) ulanishi mumkin.

Batareyada kondensatorlar parallel ulanganda undagi kuchlanish normal holatda taxminan o'zgarmas bo'ladi. Bunda u ishlab chiqaruvchi reaktiv quvvat quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_{KY} = U_c^2 \cdot \omega C .$$

Formuladan ko'rinib turibdiki, reaktiv quvvat batareya sig'imiga to'g'ri proporsional.

Kondensator batareyasi ketma-ket ulanganda unda ishlab chiqariluvchi reaktiv quvvatni tok orqali ifodalash qulay:

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

$$Q_{KY} = \frac{I^2}{\omega C}$$

Bu holda, quvvat sigʻimga teskari proporsional.

Qisqa tutashuvda kuchlanish birdaniga oshib ketmaydi, bundan farqli oʻlaroq tok keskin koʻtariladi. Bunda, har bir kondensatordagi kuchlanish U_o ortadi va kondensatorlarning teshilishini oldini olish uchun bu kuchlanish ruxsat etilgandan katta boʻlmasligi kerak. Shuning uchun, kondensatorlar ketma-ket ulanganda kondensator batareyasining uchala fazasiga parallel ravishda razryadniklar ulanadi, ular kuchlanish oshganda teshiladi (ishlaydi) va batareyani saqlaydi. Lekin batareyaning tuzilishi va uni ishlatish ancha murakkablashadi.

Kondensatorli batareyalarning samaradorligi maʼlum darajada ular ulangan tarmoq yuklanishiga bogʻliqdir. Bu asosan reaktiv quvvatning iqtisodiylik ekvivalenti K_E bilan aniqlanadi.

Kondensatorli batareyalar rostlanadigan (KBR) va rostlanmaydigan (KBR) turlarga boʻlinadi.

Generator, liniya va dvigatellar sistemaning asosiy elementlari, kompensator va kondensatorlar esa – reaktiv quvvat ishlab chiqarish uchun oʻrnatilgan qoʻshimcha manbalar hisoblanadi. Shuning uchun ularning oʻzaro afzallik va kamchiliklarini baholash muhimdir.

Kondensatorli batareyalarning sinxron kompensatorlarga nisbatan afzalliklari:

- 1) arzonligi;
- 2) aktiv quvvat isrofining kamligi;
- 3) kichik quvvatlarda kam ishlatish mumkinligi;
- 4) mustahkamligi va ishlatishda ishonchliligi (harakatlanuvchi qismlarning yoʻqligi)
- 5) kuchlanishni oʻzgarish chizigʻi shaklining yaxshilanishi.

Sinxron kompensatorlarning afzalliklari:

- 1) reaktiv quvvatni bir tekis rostlash imkoniyati mavjudligi;
- 2) reaktiv quvvatni ishlab chiqarish, hamda iste'mol qilish imkoniyatlari mavjudligi.

6.3. Reaktiv quvvat balansi va uning buzilishi oqibatlari

Elektr sistemasida aktiv va reaktiv quvvatlar balansi shartlari quyidagichadir:

$$\sum P_r = \sum P_H = \sum P_{\text{H}} + \sum \Delta P$$

$$\sum Q_r = \sum Q_H = \sum Q_{\text{H}} + \sum \Delta Q$$

Bu yerda $\sum P_r$ va $\sum Q_r$ - sistemada ishlab chiqariyotgan umumiy aktiv va reaktiv quvvatlar (o'zextiyoj iste'molchilari hisobga olinmagan); $\sum P_H$ va $\sum Q_H$ - iste'mol qilinayotgan umumiy aktiv va reaktiv quvvatlar; $\sum P_{\text{H}}$ va $\sum Q_{\text{H}}$ - iste'molchilarnin aktiv va reaktiv quvvatlari; $\sum \Delta P$ va $\sum \Delta Q$ - umumiy aktiv va reaktiv quvvatlar isrofi.

Butun sistema bo'yicha reaktiv quvvat balansi kuchlanishning ma'lum darajasini aniqlaydi. Tarmoq tugunlaridagi kuchlanish umumiy holda o'rtacha darajadan farq qiladi.

Butun sistema uchun reaktiv quvvat balansi reaktiv quvvat manbalarining quvvatiga quyiladigan talablarni to'la-to'kis aniqlashi mumkin emas. Kerakli reaktiv quvvatni sistema bo'yicha, hamda uning alohida rayonlaridan olish imkoniyatlarini baholash zarur.

Reaktiv quvvat balansining buzilishi tarmoqda kuchlanish miqdorlarining o'zgarishiga olib keladi. Reaktiv quvvat tanqisligida ($\sum Q_r < \sum Q_H$) tarmoqda kuchlanish pasayadi. Agar sistemada ishlab chiqarilayotgan reaktiv quvvat iste'mol qilinayotganidan katta bo'lsa ($\sum Q_r > \sum Q_H$), tarmoqda kuchlanish oshadi.

Aktiv quvvat tanqis bo'lgan energetika sistemasida kuchlanish miqdori

odatda nominaldan past bo'lib, etishmayotgan quvvat qo'shni sistemalardan uzatilishi mumkin.

Odatda aktiv quvvat tanqis bo'gan energetika sistemalarida, reaktiv quvvat ham tanqis bo'ladi. Lekin, yetishmayotgan reaktiv quvvatni qo'shni energetika sistemasidan olish samarali bo'lmasdan, balki shu sistemada o'rnatilgan kompensatsiyalovchi uskunalarda ishlab chiqarish foydalidir.

6.4. Sistemada aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishini optimallashtirish

Barcha iste'molchilarni kerakli aktiv va reaktiv quvvatlar bilan ta'minlashni sistema elementlarida bu quvvatlarni turlicha taqsimlanishida amalga oshirish mumkin. Bunga bog'liq holda quvvat isrofi ko'p yoki kam bo'lishi mumkin. Masalan, shu nuqtai nazardan, ko'p hollarda iste'molchilarni yaqin stansiyadan yaqin masofa bo'yicha energiya bilan ta'minlash maqsadga muvofiq.

Eng kam quvvat isrofini ta'minlashni, ya'ni tarmoqda aktiv quvvatni optimal taqsimlashni turli usullar bilan amalga oshirish mumkin. Masalan, sistemaning alohida generatorlari o'rtasida aktiv quvvatni tegishli taqsimlash, bo'ylama rostlashni amalga oshiruvchi maxsus liniya rostlagichlarini qo'llash, tarmoq sxemasini o'zgartirish (alohida elementlarni o'chirish yoki ulash) va boshqa usullarda.

Quvvat isrofini kamaytirish tadbirlari bir vaqtning o'zida boshqa omillarga ham ta'sir ko'rsatadi. Masalan, turbogeneratorlar o'rtasida quvvatni taqsimlash iste'mol qilinayotgan yoqilg'i narxini o'zgarishiga olib keladi, chunki bir xil generatorlar boshqalardan samarali, yoki o'sha generator yuqori yoki kam tejamli holatlarda ishlashi mumkin⁸².

Shu singari gidrogeneratorlar quvvatlariining o'zgarishi turli suv

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

omborlarida suv sarfini qayta taqsimlanishiga olib keladi, bu esa turli resurslarning samaradorligini o'zgarishiga sabab bo'lishi mumkin. Liniya rostlagichlaridan foydalanilganda bu rostlagichlarga sarf bo'luvchi kapital harajatlar ham hisobga olinishi lozim.

Demak, sistemada aktiv quvvatni ratsional taqsimlash murakkab kompleks masala bo'lib, turli chegaraviy shartlar va faktorlar, masalan, quvvat isrofi, generatorlarning samarali ishlashi va boshqalarni hisobga olishi shart.

Rejalashtirilayotgan holatlar uchun aktiv quvvatni optimal taqsimlash EHMda maxsus dasturlar asosida amalga oshiriladi. Hisoblangan optimal holatlarga asosan alohida stansiyalar uchun ular berayotgan aktiv quvvatnig kunlik grafigi aniqlanadi. Bu grafiklar maxsus avtomatik uskunalar yordamida ushlab turilishi mumkin. Optimal taqsimlash uchun alohida generatorlarning aktiv quvvatini rostlash umumiy avtomatik boshqarish sistemasi yordamida bir-biri bilan bog'langan bo'lishi zarur.

Reaktiv quvvatni ratsional taqsimlash ham optimallashtirishni talab qiladi. Reaktiv quvvatni uzoq masofalarga uzatish isrofni oshiradi, tarmoqning o'tkazish qobiliyatini va uskunalarning xizmat vaqtini kamaytiradi, ya'ni butun sistema ishining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini yomonlashtiradi va bir vaqtning o'zida kuchlanishning katta miqdorga og'ishiga sabab bo'ladi. Bu o'z navbatida barqarorlik sharti bo'yicha quvvat uzatish imkoniyatlarini kamaytiradi. Demak energosistemaning ishonchli ishlash darajasi kamayadi.

(6.1) dan ko'rinib turibdiki, reaktiv quvvat manbalarini iste'molchilarga yaqin o'rnatilishi aktiv va reaktiv quvvat isroflarini kamaytiradi, energosistemaning umumiy ish holatini yaxshilaydi.

Aytib o'tilganidek, aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishini yaxshilash, quvvat isrofini kamaytirish tarmoqning alohida elementlarini (masalan, transformatorlar va liniyalarni) ulash va o'chirish orqali ham amalga oshirilishi mumkin. Transformatorlarda quvvat isrofi ikkita tashkil etuvchi – yuklamaga bog'liq bo'lgan qisqa tutashuv (misdagi) va yuklamaga bog'liq bo'lmagan salt

ishlash (po‘latdagi) isroflardan iboratdir. Ko‘p quvvat uzatilayotgan paytda parallel ishlashi mumkin bo‘lgan ko‘p transformatorlar sonini ulash maqsadga muvofiq. Bunda, misdagi isrofning kamayishi po‘latdagi isrofning ko‘payishidan ortiq bo‘ladi. Kam yuklanish soatlarida esa aksincha – parallel ishlab turgan transformatorlarning bir qismini o‘chirish maqsadga muvofiq bo‘ladi⁸³.

Lekin, podstansiyaning holati o‘zgarganda transformatorlarni o‘chirib-
yoqish ma’lum qiyinchiliklar bilan bog‘liq, chunki bo‘nda har bir transformatorga yuklama uzgichini o‘rnatilishi talab etiladi. Agar uni o‘rnatish, quvvat isrofini tejash bilan oqlansa, maqsadga muvofiq bo‘ladi.

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

7. Elektr energiyaning sifati

7.1. Elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlari

Iste'molchilarga uzatiluvchi elektr energiyasining sifati asosan chastota, kuchlanish, kuchlanishning nosimmetriklik va nosinusoidallik darajasi bilan belgilanadi. Odatda ushbu ko'rsatkichlarning qiymatlarini meyorlangan miqdorda tutib turilish talab etiladi.

Ko'rsatilgan sifat ko'rsatkichlarining meyoriy qiymatlaridan u yoki bu tomonga og'ishi texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlarni yomonlashuviga olib keladi va natijada ma'lum zarar yuzaga keladi.

Bu zararning minimumi sifat ko'rsatkichlarining optimal qiymatlariga to'g'ri keladi. Shuning uchun elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari meyorlanadi. Masalan, iste'molchilardagi kuchlanishning nominal qiymatdan og'ishi, Davlat Standartiga ko'ra quydagi oraliqda bo'lishi lozim, %:

Elektr motorlar tugunlarida ± 5 (ma'lum joylarda ± 10);

Yoritish qurilmalari tugunlarida va sanoat korxonalarining ish o'rinlarida $(+5)-(-2.5)$;

turar joy binolarida (ichki va tashqi yoritish) ± 5 ;

avariya holatida -12;

qishloq xo'jalik tarmog'idan yoki elektr transport tarmog'idan ta'minlanadigan elektr uskunalarda tugunida $\pm 7.5^{84}$.

Elektr tarmoqda kuchlanishni rostlash qanchalik mukammal bo'lsa, iste'molchilarda kuchlanishning og'ishi shuncha kam bo'ladi.

Energosistemaning ta'minlash tarmoqlarida kuchlanishni tutib turishning asosiy vazifasi bo'lib iste'molchilarda, ya'ni taqsimlovchi tarmoqlarda elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlarining talab etilgan qiymatlarini ta'minlashdan iborat. O'z navbatida, taqsimlovchi tarmoqlarda kuchlanishni rostlash bevosita

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

ta'minlash markazida (TM) YuOR (yuklama ostida rostdash)li transformatorlar va rostdashning mahalliy vositalari bilan amalga oshiriladi.

Taqsimlovchi tarmoqning ta'minlash markazi bo'lib energositemaning ta'minlash tarmoqlariga (35-220 kV) ulangan podstantsiya hisoblanadi. Transformatorlar, odatda, qo'l bilan yoki avtomatik boshqariladigan rostdash qurilmasiga ega. TM shinasidan ta'minlanuvchi tarmoqlarga 6-20 kVli taqsimlovchi transformatorlar ulanadi. Bu transformatorlarning past kuchlanish chulg'amiga past kuchlanish tarmog'i ulanib, undan aksariyat elektr qurilmalari (iste'molchilari) bevosita ta'minlanadi.

Iste'molchilardagi kuchlanishning nominaldan og'ishi U_{ist} quyidagicha aniqlanadi, %:

$$V_{og'ish} = \frac{U_{ist} - U_{nom}}{U_{nom}} \cdot 100$$

Agar iste'molchi transformator orqali ta'minlansa, U_{ist} yuqori kuchlanish tomoniga keltirilishi lozim.

Katta dvigatellarni ishga tushirilishi, tarmoqlarda qisqa tutashuv va boshqalar natijasida kuchlanishni qisqa vaqt o'zgarishi bilan belgilanuvchi kuchlanish tebranishi V_{teb} ushbu ifoda bilan aniqlash mumkin, %

$$V_{teb} = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{nom}}$$

Bu yerda U_{max} va U_{min} - bir tebranish oralig'idagi kuchlanishning maksimal va minimal qiymatlari⁸⁵.

Elektr tarmoqning kuchlanishi doimo yuklama, ta'minlash man'basining ish holatlari, zanjirning qarshiligini o'zgarishi bilan o'zgarib turadi. Kuchlanishning og'ishi har doim ham ruxsat etilgan qiymatlar diapazonida bo'lavermaydi. Buning sababi bo'lib quyidagilar hisoblanadi: a) tarmoq elementlari orqali oqayotgan yuklama toklari hosil qiluvchi kuchlanish isrofi; b)

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

tok o'tkazuvchi elementlarning ko'ndalang kesimlari va kuch transformatorlari quvvatlarini noto'g'ri tanlanishi; v) tarmoq sxemasining noto'g'ri tuzilishi.

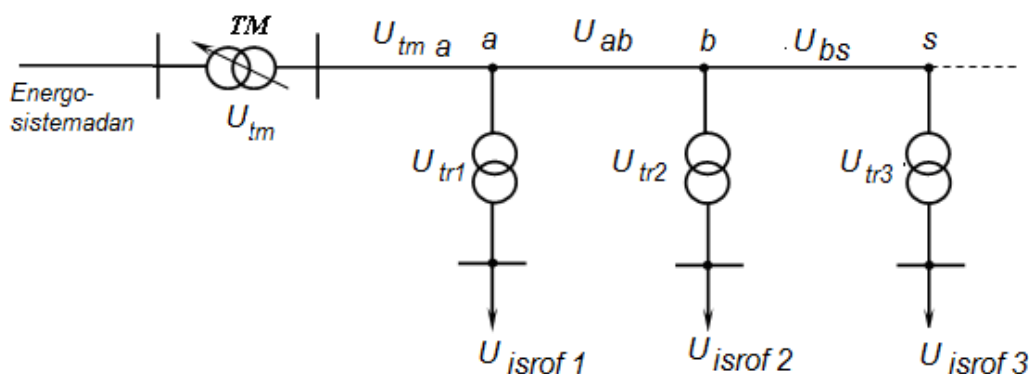
Kuchlanish og'ishini nazorat qilish uch yo'l bilan amalga oshiriladi: 1) kuchlanish darajasi bo'yicha kuchlanish og'ishlarini ularning ruxsat etilgan qiymatlari bilan solishtirish asosida; 2) elektr sistemasidagi joyi bo'yicha – elektr tarmoqning ma'lum nuqtalarida, masalan, EULning boshlanishi yoki oxirida, ta'minlash markazida; 3) kuchlanish og'ishi mavjud bo'lishining davomiyligi bo'yicha.

Kuchlanishni rostdash deb elektr sistemasining harakterli nuqtalarida kuchlanish qiymatini maxsus texnik vositalar yordamida meyoriy miqdorlarga moslash maqsadida o'zgartirish jarayoniga aytiladi.

Kuchlanishni rostdash usullari bilan tanishishdan avval iste'molchilardagi kuchlanishning qanday faktorlarga bog'liqligi bilan sxemasi 7.1-rasmda keltirilgan tarmoq misolida tanishamiz.

Iste'molchilardagi kuchlanishlarning transformatorlarni yuqori tomonlariga keltirilgan qiymatlari ta'minlash markazidagi kuchlanishdan mos uchastkalardagi kuchlanish isroflarini ayirish orqali aniqlanadi:

$$\begin{aligned} U'_{ist1} &= U_{tm} - (\Delta U_{tm-a} + \Delta U_{mp1}); \\ U'_{ist2} &= U_{tm} - (\Delta U_{tm-a} + \Delta U_{ae} + \Delta U_{mp2}); \\ U'_{ist3} &= U_{tm} - (\Delta U_{tm-a} + \Delta U_{ab} + \Delta U_{bs} + \Delta U_{mp3}), \end{aligned} \quad (7.1)$$



7.1-rasm. Kuchlanishni rostdash usullari

Bu formulalardan istemolchidagi kuchlanish ta'minlash markazi

kuchlanishi, tarmoqda kuchlanish isrofi va transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsientlariga bog‘liq ekanligini aniqlanadi.

Shunday qilib, kuchlanishni rostlashning vazifasi past kuchlanish tarmoqlarida ruxsat etilgan kuchlanish og‘ishini ta’minlashdan iborat bo‘lib, uning quyidagi usullari mavjud:

- 1) TMda kuchlanishni o‘zgartirish orqali;
- 2) Transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsientlarini o‘zgartirish orqali.
- 3) Taqsimlovchi tarmoqlarda kompensatsiyalovchi uskunalardan foydalanib, kuchlanish isrofini o‘zgartirish orqali.

Kuchlanishni rostlash usullarini ta’minlash markazida (TM) amalga oshiriladigan *markazlashgan* va bevosita is’tamolchilarda amalga oshiridigan *mahalliy* usullarga bo‘lish mumkin.

Kuchlanishni mahalliy rostlashni guruhli va individualga usullarga bo‘lish mumkin. Guruhli rostlash is’tamolchilar guruhi uchun, individual rostlash asosan maxsus maqsadlarda amalga oshiriladi⁸⁶.

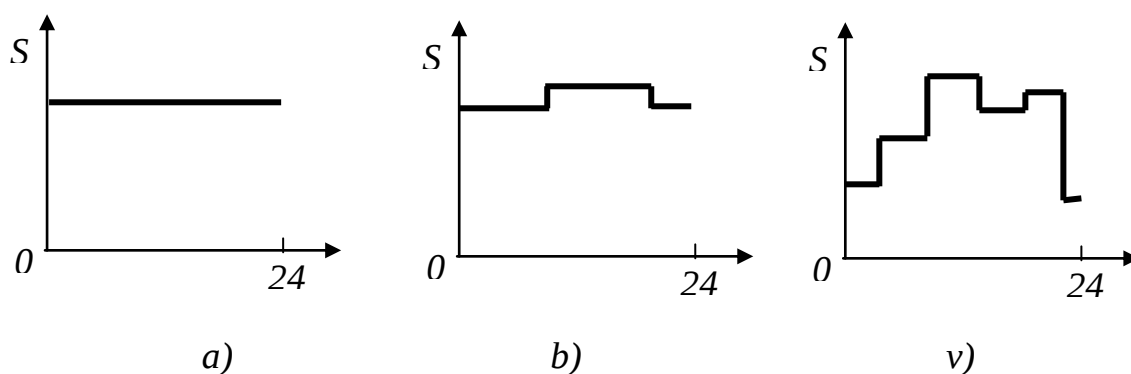
Yuqorida ko‘rsatilgan kuchlanishni rostlash tiplarini yuklamani o‘zgarishi harakteriga bog‘liq ravishda bir nechta kichik tiplarga ajratish mumkin. Masalan, kuchlanishni markazlashgan rostlashda uchta nimtipni ajratish mumkin. Bular, kuchlanishni stabillash; kuchlanishni ikkinchi darajali rostlash va kuchlanishni qarama-qarshi rostlashdir.

Kuchlanishni *stabillash* amalda yuklamasi o‘zgarmaydigan is’tamolchilar uchun, masalan, kuchlanish darajasi bir xilda tutib turilishi lozim bo‘lgan uch smenli korxonalar uchun qo‘llaniladi. Bunday is’tamolchilarning sutkalik yuklama grafigi 7.2,a- rasmda keltirilgan.

Aniq ifodalangan ikki darajali yuklama grafigiga ega bo‘lgan is’tamolchilar, masalan, bir smenli korxonalar, uchun *ikki darajali rostlash*

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

qo'llaniladi (7.2,b-rasm). Bunda sutka davomida yuklama grafigiga mos ravishda kuchlanishning ikki darajasi tutib turiladi. Yuklama sutka davomida o'zgaruvchan bo'lgan hollarda *qarama-qarshi rostdash* amalga oshiriladi (7.2,v-rasm). Yuklamaning har bir qiymati mos kuchlanish va kuchlanish isrofi qiymatlariga ega bo'ladi. Shu sababli yuklama o'zgarishi bilan kuchlanish ham o'zgaradi. Bunda kuchlanishning og'ishi ruxsat etilganidan ortib ketmasligi uchun uni yuklamaga bog'liq ravishda rostdash lozim.



7.2-rasm. Yuklama grafiklari:
 a)- o'zgarmas; b) - ikki pog'onali; v) - ko'p pog'onali

Yuklama nafaqat sutka davomida, balki yil davomida ham o'zgaradi. Masalan, yil davomida eng katta yuklama kuzgi-qishki mavsum davrida, eng kichik yuklama esa yozgi davrda bo'ladi. Qarama-qarshi rostdash kuchlanishni nafaqat yuklamaning sutka davomida o'zgarishi bo'yicha, balki sezon davomida ham o'zgarishi bo'yicha rostdashdan iboratdir. U elektr stansiyalari va nimstansiyalari shinalaridagi kuchlanish darajasini eng katta yuklama davrida oshirilgan holatda, eng kichik yuklama davrida esa kamaytirilgan holatda tutib turishni nazarda tutadi.

7.2. Kuchlanishni qarama-qarshi rostdash

Kuchlanishni qarama-qarshi rostdash bilan to'laroq tanishish uchun tranformatorning ikkita element - transformator qarshiligi va ideal transformator ko'rinishida tasvirlangan almashtirish sxemasidan foydalanamiz (7.3-rasm). 7.3-rasmda quyidagi belgilashlar qabul qilingan: U_1 - ta'minlash markazi shinasidagi kuchlanish; U_{2yu} - tuman podstansiyasining birlamchi (ShK) shinasidagi

kuchlanish;

U_{2q} - tuman podstansiyasi ikkilamchi kuchlanish shinas (PK)dagi kuchlanish; U_3 - is'temolchilardagi kuchlanish.

Tuman podstansiyasi ShK shinasidagi kuchlanish: $U_{2yu} = U_1 - \Delta U_{12}$.

ShK va PK shinalaridagi kuchlanishlar transformatoridagi kuchlanish isrofi ΔU_t ga farq qiladi va bundan tashqari ideal transformatorida kuchlanish transformatsiyalash koeffitsientiga mos ravishda pasaytiriladi. Bu pasaytirilish transformatorning rostlovchi shaxobchasini tanlashda hisobga olinishi lozim.

7.3,b-rasmda ikkita holat – eng kichik va eng katta yuklama holatlari uchun kuchlanishning o'zgarish grafiklari tasvirlangan. Bunda ordinata o'qi bo'yicha kuchlanish og'ishining nominal kuchlanishga nisbatan foizlardagi qiymatlari joylashtirilgan.

7.3,b-rasmdan ko'rinadiki (shtrix chiziqlar), $n_t=1$ bo'lganda eng kichik yuklamalar holatida is'temolchilardagi kuchlanishlar ruxsat etilganidan yuqori, eng katta yuklamalar holatida esa ruxsat etilganidan past (ya'ni kuchlanish og'ishlari ruxsat etilganidan katta)⁸⁷.

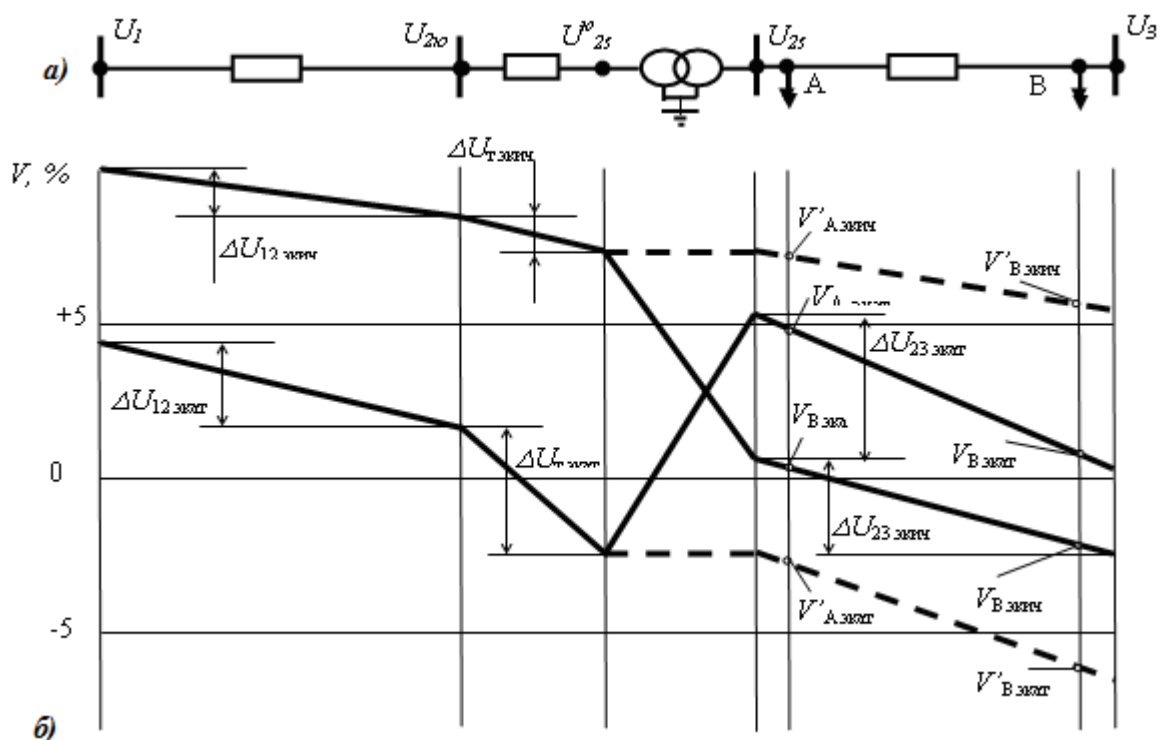
Bunda PK tarmog'iga ulangan qabul qilgichlar (masalan, A va B nuqtalarda) ruxsat etilmagan sharoitlarda ishlaydi. U_{2q} ni tuman podstansiyasi transformatorining transformatsiyalash koeffitsienti K_{tr} ni almashtirish orqali o'zgartiramiz, ya'ni kuchlanishni rostlaymiz (7.3,b-rasmdagi uzluksiz chiziq).

Eng kichik yuklama sharoitlarida U_{2q} imkoni boricha U_n ga yaqin qiymatgacha kamaytiriladi. Bu holatda K_{tr} ning shunday standart qiymati tanlanishi lozimki, bunda quyidagi shart bajarilsin:

$$U_{2q, \text{ekich}} \geq U_n \quad (7.1)$$

Eng kichik yuklamalar holatida U_{2q} ni 1,05-1,1 U_n ga imkoni boricha yaqinroq qiymatgacha orttiriladi. Bu holatda K_{tr} ning shunday standart qiymati tanlanishi lozimki, bunda quyidagi shart bajarilsin:

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.



7.3-rasm. Kuchlanishni qarama-qarshi rostdash:
a)- almashtirish sxemasi; b)- kuchlanishlar epyurasi

$$U_{2q.ekat} \geq (1,05 \div 1,1) U_n. \quad (7.2)$$

Shunday qilib, ta'minlash markazidan uzoqdagi B va unga yaqindagi A nuqtalardagi is'temolchilardagi kuchlanishlar ruxsat etilgan chegraga kiritiladi. Eng katta va eng kichik yuklama holatidagi bunday rostdashda kuchlanish mos ravishda oshiriladi va pasaytiriladi. Shu sababli bunday rostdash qarama-qarshi rostdash deb ataladi.

7.3. Elektr stansiyalarida kuchlanishni rostdash

Generatorlar kuchlanishlarini ularning qo'zg'atish tokini rostdash orqali o'zgartirish mumkin. Generator aktiv quvvatini o'zgartirmasdan turib kuchlanishni faqat $\pm 0,05 U_{n.G}$ chegarada, ya'ni $0,95 U_{n.G}$ dan $1,05 U_{n.G}$ gacha o'zgartirish mumkin.

$U_{n.G} = 6$ kV bo'lganda generatorning nominal kuchlanishi $U_{n.G} = 6,3$ kV va

rostlash diapazoni 6-6,6 kV bo‘ladi. $U_{n.G}=10$ kV bo‘lganda esa, generatorning nominal kuchlanishi $U_{n.G}=10,5$ kV va rostlash diapazoni 10-11 kV bo‘ladi.

Generator chiqishidagi kuchlanishning nominaldan $\pm 5\%$ dan ko‘p miqdorga og‘ishi uning quvvatini kamaytirishni talab etadi. Kuchlanishni rostlashning bu diapazoni mutlaqo etarli emas. Buni aniqroq ko‘rib chiqamiz.

Transformatsiyalashning har bir pog‘onasida kuchlanish isrofi nisbiy birlikda $\Delta U_{*t} \approx 0,1 S_{*t}$.

Bu yerda $S_{*t} = S_t/S_n$ - transformatorning nisbiy birlikdagi quvvati.

Uch-to‘rt transformatsiyada tarmoqdagi kuchlanish isrofi $(0,3-0,4)S_{*t}$ bo‘ladi. Agar $P_{*ekat}=1$ va $P_{*ekich}=0,4$ deb qabul qilsak, unda eng katta va eng kichik yuklama holatlarida kuchlanish mos ravishda quyidagilarni tashkil etadi:

$$\sum \Delta U_{ekat} \% \approx 30 \div 40\%, \quad \sum \Delta U_{ekich} \% \approx 12 \div 16 \%$$

Bundan ko‘rinadiki, is‘temolchida kuchlanishning o‘zgarish diapazoni $\sum \Delta U_{ekat} \% - \sum \Delta U_{ekich} \% \approx 18 \div 24\%$.

Shu sababli generatorda kuchlanishni rostlash diapazoni 10% aniq etarli emas⁸⁸.

Elektr stansiyalarining generatorlari ikkita sababga ko‘ra rostlashning faqat yordamchi vositasigina hisoblanadi: 1) generatorlar yordamida kuchlanishni rostlash diapazoni etarli emas. 2) uzoq va yaqin masofada joylashgan iste‘molchilarga kuchlanish qiyomatiga bo‘lgan talabni mostlashtirish qiyin.

Ya‘gona rostlash vositasi sifatida generatorlar faqat stansiya – tarqalmagan yuklama ko‘rinishidagi sodda sistema holatida qo‘llaniladi. Bunday holatda sanoat korxonalari izolyasiyalangan sharoitda ishlovchi elektr stansiyalarining shinalarida kuchlanishni qarama-qarshi rostlash amalga oshiriladi. Generatorlar qo‘zg‘atish tokini o‘zgartirish orqali maksimal yuklama soatlarida kuchlanish oshiriladi va minimal yuklama soatlarida pasaytiriladi.

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

Elektr stansiyalarida ChK chulgʻami nominal kuchlanishi $U_{yun}= 110$ kV boʻlgan TDS/110 va ChK chulgʻami nominal kuchlanishi $U_{yun}=220$ kV boʻlgan bir qism TDS/220 oshiruvchi transformatorlar, generatorlar singari, kuchlanishni rostdlashning yordamchi vositalari sanaladi. Chunki ular ham $\pm 2 \times 2,5\% U_{yun}$ kuchlanishni rostdlash chegarasiga ega va ular yordamida uzoq va yaqinda joylashgan is'temolchilarda kuchlanish qiymatiga boʻlgan talabni moslashtirish mumkin emas. $U_{yun}= 150, 330 - 750$ kV boʻlgan TS va TDS tipdagi oshiruvchi transformatorlar kuchlanishni rostdlash qurilmalarisiz ishlab chiqariladi. Shu sababli kuchlanishni rostdlashning asosiy vositasi boʻlib tuman podstansiyalarining transformator va avtotransformatorlari hisoblanadi⁸⁹.

7.4. Pasaytiruvchi podstansiyalarda kuchlanishni rostdlash

Pasaytiruvchi podstansiyalar transformatorlari kuchlanishni rostdlovchi qurilmalarining tuzilishi boʻyicha ikki turga boʻlinadi: a) rostdlovchi shoxobchalarni qoʻzgʻatishsiz almashlab ulovchi, ya'ni tarmoqdan uzish orqali (qisqacha, "QAULi transformatorlar"); b) rostdlovchi shoxobchalarni yuklama ostida rostdlovchi (qisqacha, "YuORli transformatorlar"). Odatda, rostdlovchi shoxobchalar transformatorning kichik ishchi tok oquvchi yuqori chulgʻami tomonida yasaladi. Bunda almashlab ulash qurilmasining ishi yengillashadi.

7.3,a-rasmda tasvirlangan sodda sxemani koʻrib oʻtamiz.

Bunda podstansiyaning ShK shinasidagi kuchlanish elektr stansiyasi generatorlari kuchlanishi U_1 dan EUL dagi kuchlanish isrofi qiymati ΔU_s ga, podstansiyaning PK shinasidagi ShKga keltirilgan kuchlanish U_{2k}^{yu} esa yana transformator qarshiligidagi kuchlanish isrofi ΔU_t ga farq qiladi:

$$U_{2yu}=U_1-\Delta U_c, \quad U_{2k}^{yo}=U_{2yu}-\Delta U_t.$$

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

Podstansiyalar PK shinalaridagi kuchlanishning haqiqiy qiymati quyidagicha topiladi:

$$U_{2k} = \frac{U_{2k}^{yu}}{K_{tr}} = U_{2k}^{yu} \frac{U_{pn}}{U_{shor}}. \quad (7.3)$$

Bu yerda $K_{tr} = U_{shox}/U_{pn}$ - transformatorning transformatsiyalash koeffitsienti; U_{shox} - ChK chulg'ami rostdash shoxobchasining kuchlanishi; U_{pn} - PK chulg'amining nominal kuchlanishi.

Transformatsiyalash koeffitsientini o'zgartirib, podstansiyaning PK tomonidagi kuchlanish U_{2q} ni o'zgartirish mumkin. Podstansiyalarda barcha kuchlanishni rostdash vositalari aynan shu prinsipda ishlaydi.

Qarama-qarshi rostdash shartlari (7.1) va (7.2) bo'yicha

$$V_{ekat}^{xoh} \% = 5\%; \quad V_{ekich}^{xoh} \% = 0 \text{ bo'lib,}$$

bu yerda $V_{ekat}^{xoh} \%$ - eng katta yuklama holatida xohlangan kuchlanish og'ishining nominal kuchlanishga nisbatan foizi; $V_{ekich}^{xoh} \%$ - shu singari eng kichik yuklama holati uchun.

$$\text{Bularga mos ravishda } U_{2\kappa,ekat}^{xoh} = U_n + V_{ekat}^{xoh}; \quad U_{2\kappa,ekich}^{xoh} = U_n + V_{ekich}^{xoh}.$$

PK tomonidagi kuchlanishning haqiqiy qiymati (7.3) ifodadan topiladi.

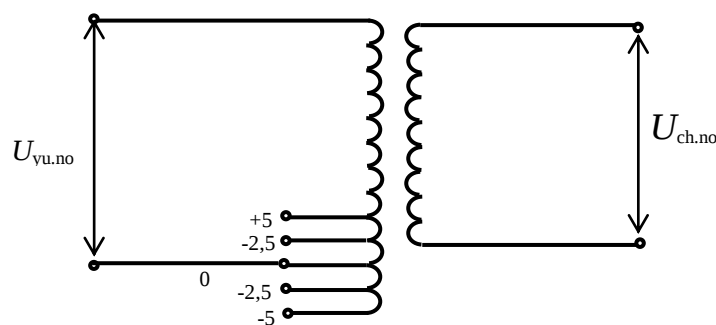
Tarmoqni elektrik hisoblash natijasida eng katta yuklama holatida PK tomonidagi kuchlanishning ChK tomoniga keltirilgan qiymati $U_{2\kappa,ekat}^{xoh}$ va eng kichik yuklama holatida PK tomonidagi kuchlanishning ChK tomoniga keltirilgan qiymati $U_{2\kappa,ekat}^{xoh}$ topiladi. $U_{2\kappa,ekat}^{xoh}$ va $U_{2\kappa,ekich}^{xoh}$ lar bo'yicha eng katta va eng kichik yuklama holatlari uchun transformator yuqori chulg'amida xohlanuvchi rostdash shoxobchasi aniqlanadi:

$$U_{shoxekat} = U_{2\kappa,ekat}^{yu} \cdot \frac{U_{pn}}{U_{2\kappa,ekat}^{xoh}}; \quad U_{shoxekich} = U_{2\kappa,ekich}^{yu} \cdot \frac{U_{pn}}{U_{2\kappa,ekich}^{xoh}} \quad (7.4)$$

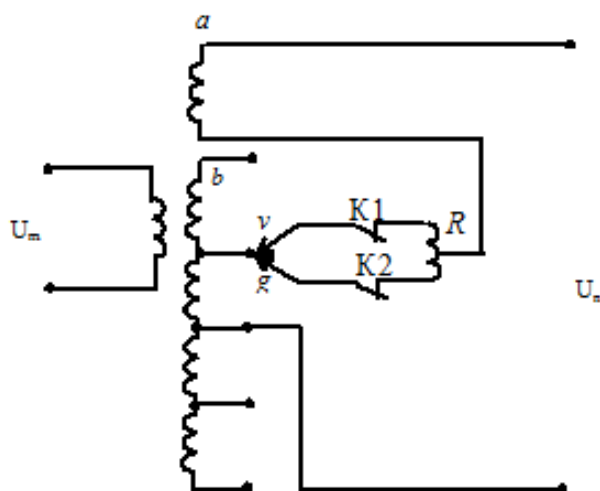
(7.4) bo'yicha aniqlanuvchi xohlanuvchi shoxobchalar (7.1) va (7.2) shartlari bajariluvchi eng yaqin standart qiymatlarga yaxlitlanadi.

7.5. Yuklama ostida rostlanmaydigan transformatorlar

(QAULi) hozirgi davrda asosiy va to'rtta qo'shimcha shoxobchali qilib ishlab chiqariladi. Bunday transformator chulg'aming sxemasi 7.4-rasmda keltirilgan. Asosiy shoxobcha kuchlanishi transformator yuqori chulg'aming nominal kuchlanishidir ($U_{yun.}$). Pasaytiruvchi transformatorlar uchun U_{yun} ushbu transformator yuqori chulg'ami ulanadigan tarmoqning nominal kuchlanishi U_n ga tengdir. (Masalan, 6, 10, 20, 35 kV va h.k). Asosiy shoxobchada transformatorning transformatsiyalash koeffitsientini nominal deb yuritiladi. To'rtta yordamchi shoxobchalardan foydalanilganda transformatsiyalash koeffitsienti nominaldan +5; +2,5; -2,5 va -5% farq qiladi. Transformatorning ikkilamchi (sxemada - quyi) chulg'ami unga ulangan tarmoqning ta'minlash markazi hisoblanadi.



7.4-rasm. QAULi transformator chulg'amlari sxemasi



7.5-rasm. YuORli transformator chulg'amlari sxemasi

Shu sababli transformatorlarda ikkilamchi chulg'amning nominal kuchlanishi

tarmoqning nominal kuchlanishiga nisbatan kattadir. Bu farq kichik quvvatli transformatorlar uchun 5% va qolganlari uchun 10% ni tashkil etadi. Faraz qilaylik, asosiy shoxobchadan foydalanilganda birlamchi shoxobchaga tarmoqning nominal kuchlanishiga teng kuchlanish berilmoqda va salt ishlash holatida PK tomonidagi kuchlanish $1,05U_{p.t.}$. Bunda qo‘shimcha kuchlanish 5%. QAULi transformator shoxobchasini o‘zgartirib yaxlitlangan qiymatlari quyidagicha bo‘lgan qo‘shimcha kuchlanishni olish mumkin:

Birlamchi chulg‘am shoxobchasi, %: +5 +2,5 0 -2,5 5

Salt ishlash holatida PK

tomonidagi kuchlanish ($U_t/U_{p.t.}$): 1 1,025 1,05 1,075 1,1

Qo‘shimcha kuchlanish, %: 0 2,5 +5 +7,5 +10

QAULi transformatorning rostlash shoxobchalarini almashlab ulash uchun avvalo uni tarmoqdan ajratish talab etiladi. Bunday almashlab ulashlar kam – yuklamalarni sezonli o‘zgarishida amalga oshiriladi⁹⁰. Shu sababli sutka davomidagi eng katta va eng kichik yuklama holatlarida (masalan, kunduzi va tunda) QAULi transformator bitta rostlovchi shoxobcha va shunga mos yagona transformatsiyalash koeffitsienti bilan ishlaydi. Bunda kuchlanishni qarama-qarshi rostlash talablarini amalga oshirish, ya’ni (7.1) va (7.2) shartlarni bajarish mumkin emas. Haqiqatdan ham (7.3) ga muvofiq

$$U_{2k.эkam} = U_{2k.эkam}^{10} \cdot \frac{U_{n.H}}{U_{uox}}.$$

Odatda $U_{2k.ekat} < U_{2k.ekich}$ va shu sababli $U_{2k.ekat} < U_{2k.ekich}$.

Bu qarama–qarshi rostlash talablari (7.1) va (7.2) ga zid keladi. Kuchlanishni qarama-qarshi rostlashni faqat U_{shox} transformatsiyalash koeffitsientini sutka davomida o‘zgartirish, ya’ni eng katta yuklama holatidan eng kichik yuklama holatiga o‘tish orqali amalga oshiriladi.

O‘rnatilgan Yu.O.R. qurilmali kuchlanishni yuklama ostida rostlovchi

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

transformatorlar QAuli transformatorlardan almashlab ulovchi maxsus qurilma va shuningdek shoxobchalar sonining ko'pligi, diapazonining kattaligi bilan farq qiladi. Masalan, ChK chulg'omini asosiy shoxobchasi kuchlanishi 115 kV bo'lgan transformator har biri 1,78% dan 18 ta rostlash darajali +16% rostlash diapazoniga ega.

7.5-rasmda YuORli transformator chulg'amlarining sxemasi tasvirlangan. Bu transformatorning ChK chulg'ami ikki qismdan – rostlanmaydigan a va rostlanadigan b qismlardan tashkil topgan. Rostlanadigan qismining 1, 4 qo'zg'almas kontaklarida bir qator shoxobchalar mavjud. 1, 2 shoxobchalar asosiy chulg'am o'ramlari bilan bir xil ulangan o'ramlar qismiga mos keladi (tokning yo'nalishi 7.5-rasmda strelkalar yordamida ko'rsatilgan). 1, 2 shoxobchalar ulanganda transformatorning transformatsiyalash ko'effitsienti oshadi. 3, 4 shoxobchalar asosiy chulg'am o'ramlariga nisbatan qarama – qarshi o'ramlar qismiga mos keladi. Ularning ulanishi transformatsiyalash ko'effitsientini kamaytiradi, chunki ular asosiy chulg'am o'ramlari bir qismining ta'sirini kompensatsiyalaydi. Transformator ChK chulg'amining asosiy chiqish joyi bo'lib 0 nuqta hisoblanadi⁹¹.

Asosiy chulg'am o'ramlari bilan bir yo'nalishda va qarama - qarshi ta'sir etuvchi o'ramlar soni bir xil bo'lmasligi mumkin. Chulg'amning rostlovchi qismida qo'zg'aluvchi v va g , qo'zg'almas $K1$ va $K2$ kontaktlardan hamda R reaktorlardan tashkil topgan almashlab ulovchi qurilma mavjud. Reaktorning o'rtasi transformator chulg'amining rostlanmaydigan a qismi bilan tutashgan. Normal sharoitda ChK chulg'ami toki reaktor chulg'ami yarimlariga teng bo'linadi. Shu sababli reaktorda magnit oqimi va shuningdek kuchlanish isrofi kamdir.

Faraz qilaylik, qurilmani shoxobcha 2 dan shoxobcha 1 ga almashlab ulash talab etiladi. Bunda kontaktor $K1$ uziladi. Qo'zg'aluvchan kontakt v

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

shoxobcha kontakti 1 ga o'tkaziladi va K1 kontakt qayta ulanadi. Shunday qilib, chulg'amning 1, 2 seksiyalari R reaktorning chulg'ami orqali yopiq ulanib qoladi. Bu vaqtda reaktorning induktivligi chulg'amning 1, 2 seksiyasidagi kuchlanish ta'sirida hosil bo'luvchi tenglashtiruvchi tokni cheklaydi. Shundan so'ng kontaktor K2 uziladi, qo'zg'aluvchan kontakt 2 shoxobcha kontakti 1 ga o'tkaziladi va K2 kontakt qayta ulanadi⁹².

YuOR yordamida transformatorning shoxobchasini va transformatsiyalash koeffitsientini sutka davomida yuklama ostida o'zgartirish orqali qarama-qarshi rostlash talabi (7.1), (7.2) ni bajarish mumkin.

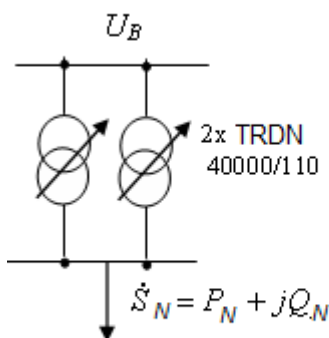
7.1-masala. Kuchlanishni pasaytiruvchi podstantsiyada rostlash diapazoni $\pm 9,78\%$ bo'lgan YuOR qurilmasiga ega ikkita TRDN-40000/110 tipdagi ikki chulg'amli transformatorlar o'rnatilgan (7.6-rasm). Ikkita parallel ulangan transformatorlarning ekvivalent qarshiliklari quyidagicha: $r_{T\Sigma}=0,7 \text{ Om}$, $x_{T\Sigma}=17,35 \text{ Om}$.

Maksimal, minimal va yuklama maksimal bo'lganda avariya dan keyingi holatlarida podstantsiyaning yuqori kuchlanish shinasidagi kuchlanish qiymatlari quyidagicha: $U_{maks}=112,5 \text{ kV}$, $U_{min}=113,7 \text{ kV}$, $U_{av/k}=102 \text{ kV}$. Ushbu holatlarda yuklamaning quvvatlari quyidagi miqdorni tashkil etadi (7.7-rasm):

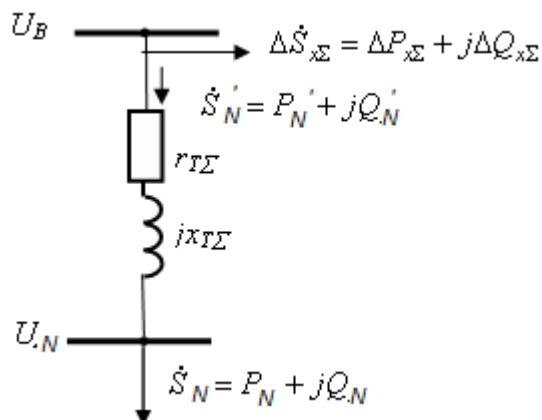
$$R_{maks}=R_{av/k}=64,91 \text{ MVt}; \quad Q_{maks}=Q_{av/k}=28,68 \text{ MVAR};$$

$$R_{min}=22,47 \text{ MVt}; \quad Q_{min}=8,96 \text{ MVAR}.$$

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.



7.6-rasm
Ikki chulgʻamli transformator



7.7-rasm
Quvvat oqimlarini aniqlaymiz

Kuchlanishni qarama-qarshi rostlash shartlariga mos ravishda quyi tomonda kuchlanishni rostlash uchun zarur boʻlgan rostlovchi shoxobchani tanlash talab etiladi. Transformatorlarga kirish joyidagi quvvat oqimlarini aniqlaymiz (7.7-rasm):

$$P_{maks}' = P_{ab/\kappa}' = P_{maks} + \Delta P_{T,maks} = P_{maks} + \frac{P_{maks}^2 + Q_{maks}^2}{U_{nom}^2} \cdot r_{T\Sigma} = 64,91 + \frac{64,91^2 + 28,68^2}{110^2} \cdot 0,7 = 65,2 \text{ MVt};$$

$$Q_{maks}' = Q_{ab/\kappa}' = Q_{maks} + \Delta Q_{T,maks} = Q_{maks} + \frac{P_{maks}^2 + Q_{maks}^2}{U_{nom}^2} \cdot x_{T\Sigma} = 28,68 + \frac{64,91^2 + 28,68^2}{110^2} \cdot 17,35 = 35,9 \text{ MVAR};$$

$$P_{min}' = P_{min} + \Delta P_{T,min} = P_{min} + \frac{P_{min}^2 + Q_{min}^2}{U_{nom}^2} \cdot r_{T\Sigma} = 22,47 + \frac{22,47^2 + 8,96^2}{110^2} \cdot 0,7 = 22,5 \text{ MVt};$$

$$Q_{min}' = Q_{min} + \Delta Q_{T,min} = Q_{min} + \frac{P_{min}^2 + Q_{min}^2}{U_{nom}^2} \cdot x_{T\Sigma} = 8,96 + \frac{22,47^2 + 8,96^2}{110^2} \cdot 17,35 = 9,8 \text{ MVAR};$$

Maksimal yuklama holatida quyi tomondagi kuchlanishning yuqori tomonga keltirilgan qiymatini aniqlaymiz:

$$U_{n,maks}' = \sqrt{\left(U_{b,maks} - \frac{P_T' r_{T\Sigma} + Q_T' x_{T\Sigma}}{U_{b,maks}} \right)^2 + \left(\frac{P_T' x_{T\Sigma} - Q_T' r_{T\Sigma}}{U_{b,maks}} \right)^2} = \sqrt{\left(112,5 - \frac{65,2 \cdot 0,7 + 35,9 \cdot 17,35}{112,5} \right)^2 + \left(\frac{65,2 \cdot 17,35 - 35,9 \cdot 0,7}{112,5} \right)^2} = 107,01 \text{ kV}.$$

Quyi tomondagi kuchlanishning xohlangan qiymatini qarama-qarshi

rostlash shartlariga muvofiq $U_{m.maks}^{xop} = 1,05U_{nom} = 10,5 \text{ kV}$ qabul qilib, uni ta'minlash uchun lozim bo'lgan xohlangan shoxobchani tanlaymiz:

$$U_{shox.maks}^{xoh} = \frac{U_{n.maks} \cdot U_{n.n.}}{U_{n.maks}^{xoh}} = \frac{107,01 \cdot 10,5}{10,5} = 107,01 \text{ kV};$$

$$n_{shox}^{xoh} = \frac{U_{shox.maks}^{xoh} - U_{b.nom}}{\Delta U_{rost}^0} = \frac{107,01 - 115}{0,0178 \cdot 115} = -3,9; \text{ shoxobcha nomeri } n = -4;$$

$$U_{maks.shoxst.} = U_{v.nom} - n \cdot 0,0178 \cdot U_{b.nom} = 115 - 4 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 106,81 \text{ kV}.$$

Ushbu shoxobcha tanlanganda quyi tomondagi kuchlanishning haqiqiy qiymatini xohlangan qiymatga mos kelishini tekshiramiz:

$$U_{n.maks}^{xaq} = \frac{U_{n.maks} \cdot U_{n.n.}}{U_{maks.shoxst.}} = \frac{107,01 \cdot 10,5}{106,81} = 10,52 \text{ kV} \approx 10,5 \text{ kV}.$$

Minimal yuklama holati uchun ham hisoblashni shu tarzda amalga oshiramiz:

$$U_{n.min}' = \sqrt{\left(U_{b.min} - \frac{P_{min}' r_{T\Sigma} + Q_{min}' x_{T\Sigma}}{U_{b.min}} \right)^2 + \left(\frac{P_{min}' x_{T\Sigma} - Q_{min}' r_{T\Sigma}}{U_{b.min}} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(113,7 - \frac{22,5 \cdot 0,7 + 9,8 \cdot 17,35}{113,7} \right)^2 + \left(\frac{22,5 \cdot 17,35 - 9,8 \cdot 0,7}{113,7} \right)^2} =$$

$$= 112,12 \text{ kV}.$$

Kuchlanishni qarama-karshi rostlash shartlariga muvofiq ushbu holat uchun quyi tomondagi kuchlanishning xohlangan qiymatini

$$U_{n.min}^{xoh} = 1,0 \cdot U_{n.nom} = 10,0 \text{ kV} \text{ qabul qilamiz.}$$

U holda,

$$U_{shox.min}^{xoh} = \frac{U_{n.min} \cdot U_{n.nom}}{U_{n.min}^{xoh}} = \frac{112,12 \cdot 10,5}{10} = 117,73 \text{ kV};$$

$$n_{shox}^{xoh} = \frac{U_{shox.min}^{xoh} - U_{b.nom}}{\Delta U_{rost}^0} = \frac{117,73 - 115}{0,0178 \cdot 115} = 1,33; \quad n = 1.$$

$$U_{min.shoxst.} = U_{b.nom} + n \cdot 0,0178 \cdot U_{b.nom} = 115 + 1 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 117,05 \text{ kV}.$$

Tekshirish:

$$U_{n.min}^{xaq} = \frac{U_{n.min} \cdot U_{n.n.}}{U_{min.shoxst.}} = \frac{112,12 \cdot 10,5}{117,05} = 10,06 \text{ kV} \approx 10 \text{ kV}.$$

Avariya dan keyingi holat uchun hisoblashlarni amalga oshiramiz:

$$U_{n.ab/\kappa}' = \sqrt{\left(102 - \frac{65,2 \cdot 0,7 + 35,9 \cdot 17,35}{102}\right)^2 + \left(\frac{65,2 \cdot 17,35 - 35,9 \cdot 0,7}{102}\right)^2} = 96,06 \text{ } \kappa V;$$

$$U_{shoxab/\kappa}^{xoh} = \frac{96,06 \cdot 10,5}{10,5} = 96,06 \text{ } \kappa V; \quad n_{shox}^{jxoh} = \frac{96,06 - 115}{0,0178 \cdot 115} = -9,25; \quad n = -9.$$

$$U_{n.ab/\kappa.shoxst.} = U_{b,nom} - n \cdot 0,0178 \cdot U_{b,nom} = 115 - 9 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 96,58 \text{ } \kappa V.$$

Tekshirish:

$$U_{n.ab/\kappa}^{xaq} = \frac{96,06 \cdot 10,5}{96,58} = 10,44 \text{ } \kappa V \approx 10,5 \text{ } \kappa V.$$

8. ELEKTR TARMOQLARINI LOYIHALASH ELEMENTLARI

8.1. Texnik-iqtisodiy hisoblash asoslari

Xalq xo‘jaligini rivojlantirishning muhim shartlaridan biri – bu sanoatning barcha tarmoqlarida, shuningdek, elektr energetikada yonilg‘i – energiya zahiralarini asosli ravishda iqtisod qilish va tejashdir⁹³. O‘zbekiston Respublikasida asosiy e’tibor, yonilg‘i – energetika sistemasini takomillashtirish bo‘yicha ishlarni olib borishga, energiya tejamkorligi siyosatiga, neft, gaz, ko‘mir bilan bir qatorda gidravlik energiyadan, yangilanuvchi va ikkilamchi energiya zahiralaridan foydalanishga qaratilmoqda. Shuning uchun elektr muhandislaridan energetika sistemasining hamma bosqichlarida energiyani oqilona va iqtisodiy ravishda sarflash talab qilinadi. Loyihalash jarayonida iqtisodiy samaradorlik asoslari barpo bo‘lganligi uchun bu bosqichning o‘zida chuqur iqtisodiy tahlil qilmoq va texnikaviy qarorlarni asoslab bermoq kerak. Bunda eng zarur texnik-iqtisodiy masalalar quyidagidan iborat bo‘ladi:

- elektr energiya manbalari va iste’molchilarining joylashishini hisobga olgan holda tarmoqning asoslangan maqsadga muvofiq shaklini qabul qilish;
- liniyalarning nominal kuchlanishini, o‘tkazgichlar va kabellarning kesim yuzasini tanlash;
- EUL va PS ni maqsadga muvofiq bo‘lgan tuzilishini ishlab chiqish;

Zamonaviy energetika sistemalarini murakkab, katta kenglikda va vaqt jarayonida rivojlanayotgan holda tasavvur qilsa bo‘ladi. Ularni loyihalash jarayonida ko‘p xillilik, ko‘p o‘lchovlilik, egri chiziqli bog‘lanishlar, o‘zgarishga moyillik, uzliklilik va bir qator parametrlarni cheklanganligi bilan bog‘langan texnikaviy va iqtisodiy qiyinchiliklar yuzaga keladi. Bu masalani hal qilishda maqsadga muvofiq variantni qabul qilishda faktorlarini kompleks holda e’tiborga olishni, sistemaning o‘ziga xos xususiyatlarini hisobga olib, to‘liq va

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

har tomonlama tekshirishni, katta miqyosda mantiqiy va hisoblash ishlarini talab qiladi.

Texnik-iqtisodiy hisoblardan maqsad quyidagilardan iborat bo'ladi;

- energetika sistemalarini loyihalashga, qurishga, tiklashga, kengaytirishga va ishlatishga sarflangan kapital mablag'ning xalq xo'jaligini rivojlantirish talablariga binoan samaradorligini baholash;

- iqtisodiy ko'rsatkichlarni va sistemaning iqtisodiy samaradorligiga jiddiy ta'sir ko'rsatadigan parametrlarning boshqarish usullarini to'g'ri tanlash. Bunga sistemaning ayrim qismlaridagi energiya isrofini kamaytirish, elektr energiya bilan ta'minlashning ishonchliligini va sifatini ko'tarish, kompensatsiyalovchi va rostlovchi qurilmalarni qo'llash, elektr uskunalarning quvvat koeffitsientlarini oshirish va boshqalar kiradi⁹⁴.

- elektr energetika sistemalarini keyingi rivojlanishini (navbatdagi iste'molchilarni paydo bo'lishi, yuklamalarni o'sish sur'ati, sistemaning navbatma-navbat qurilish mumkinligi va boshqalar) hisobga olib loyihalash.

Energetik sistema, tarmoq yoki uniing ayrim qismlari loyihalanayotganda ushbu aytib o'tilgan mulohazalarga rioya qilib, texnik-iqtisodiy nuqtai nazardan bir necha variant taqqoslanadi. Bunday taqqoslash maxsus texnik-iqtisodiy hisoblash usullari (metodlari) asosida bajariladi va eng kam harajatli variant qabul qilinadi.

Ko'p yillar davomida qo'llanib kelinayotgan «keltirilgan harajatlar» usuli hozirgi paytda respublikamiz bozor iqtisodiyotiga o'tayotgan jarayonda har doim ham o'zini oqlamaydi.

Hozirgi kunda «kumulyativ harajatlar» usulidan foydalanishga ko'proq e'tibor berilmoqda. (kumulyativ so'zi «jamg'arish, to'plash, yig'ish» ma'nosini beradi). Albatta bir necha variantni taqqoslanayotganimizda uskunani qurilishiga ajratilgan kapital mablag' (investitsiya), joriy inflyasiya va uskunani

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

ishlatishdagi barcha chiqimlarni (odatda bir necha yil davomidagi) hisobga olishimiz kerak. Kumulyativ harajatlar usuli shularni hammasini hisobga oladi va uning asosida variantlarni taqqoslash quyidagi formula yordamida amalga oshiriladi:

$$Z_K = (1 + E_K) \cdot K_{\Sigma} + S_{\Sigma} \quad (8.1)$$

Bu yerda Z_K - har bir variantga to'g'ri keladigan kumulyativ harajat; K_{Σ} -uskuna qismlariga ajratilgan kapital mablag'lar yig'indisi; E_K -kapital mablag'ga bank orqali qo'yilgan foizning darajasi bo'lib, u inflyasiyani hisobga olgan holda o'zgarib turadi; S_{Σ} - bir yil davomida uskunani ishlatish harajatlari.

S_{Σ} quyidagi tashkil etuvchilardan iborat:

$$S_{\Sigma} = S_{\Sigma ren} + S_{\Sigma tx} + S_{\Sigma AE}. \quad (8.2)$$

(8.2) dagi tarkibiy qismlarni ko'rib chiqamiz. Bunda $S_{\Sigma ren}$ — bir variantga tegishli barcha uskunalarining «renovatsiya»siga (yangilashga) sarf bo'luvchi harajatlar yig'indisi. Uning ma'nosi quyidagidan iborat. Har bir inshoot, uskuna (elektr tarmoqlari uchun transformatorlar, liniyalar va boshqalar) qandaydir n yil davomida ishga loyiq bo'lishi mumkin. Ularni ishlatib, ishga yaroqsiz holga kelganidan so'ng almashtirish kerak. Buning mos mablag' kapital mablag'dan har yili yangilashga (to'liq yoki qisman almashtirish uchun) asosiy fond sifatida ajratib borish orqali to'planadi. Demak renovatsiyani asosiy mablag' (fond) narxini shu fondni keyinchalik qisman yoki to'liq yangilash maqsadida asta-sekin ishlab chiqarilayotgan maxsulotni qiymatiga o'tkazish deb tushunsa bo'ladi. Renovatsiya harajati har bir uskuna uchun alohida berilgan maxsus koeffitsientlar r_{ren} yordamida topiladi.

(8.2) formuladagi $S_{\Sigma tx}$ uskunalarini davriy ta'mirlash va ularga tegishli xizmatlar uchun bo'lgan bir yillik harajatlar yig'indisidir. $S_{\Sigma AE}$ bir yil davomida tarmoqdagi elektr energiya isrofini qoplash uchun sarf bo'luvchi umumiy harajatdir. Bu harajatlar yillik elektr energiya isrofi birlik elektr energiya narxiga ko'paytirish orqali topiladi.

Shunday qilib, texnik jihatdan bir xil bo'lgan bir nechta variant taqqoslanayotganda ularni har biri uchun (8.1) asosida kumulyativ harajatlar hisoblanadi va so'ngra bu harajatlar eng kam bo'lgan variant optimal variant sifatida qabul qilinadi⁹⁵.

8.2. Asosiy texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar

Muhim texnik iqtisodiy ko'rsatkich – kapital harajatlar (investitsiya), ya'ni tarmoqlarni, stansiyalarni, energetika ob'ektlarini qurish harajatlardir.

Elektr tarmoqlari uchun investitsiya uning liniya va podstansiyalar uchun qiymatlari yig'indisi sifatida aniqlanadi:

$$I = I_L + I_{PS}. \quad (8.3)$$

Bu yerda I_L – liniyani qurish uchun investitsiya, so'm; I_{PS} – podstansiyaning qurish uchun investitsiya, so'm.

Liniyani qurish uchun investitsiya qidiruv ishlari va trassani tayyorlash, tayanchlar, o'tkazgichlar, izolyatorlar va boshqa uskunalarni sotib olish, ularni tashish, yig'ish va boshqa ishlar uchun sarflanuvchi harajatlardan iborat. Podstansiya qurilishi uchun investitsiya hududni tayyorlash, transformator, o'chirgich va boshqa uskunalarni sotib olish, moylash va boshqa ishlar uchun harajatlar yig'indisidan iborat. Investitsiya tarmoq elementlari narxining yaxlitlangan ko'rsatkichlari asosida yoki maxsus tuzilgan smeta asosida aniqlanadi.

Ikkinchi muhim texnik iqtisodiy ko'rsatkich – ishlatish harajatlardir. Ular energetika uskunalari va tarmoqlarini bir yil davomida ishlatish uchun sarf bo'luvchi harajatlardan iborat bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$C = C_L + C_{PS} + C_{\Delta E} = \frac{P_{al} + P_{tl} + P_{xl}}{100} \cdot I_L + \frac{P_{aPS} + P_{tPS} + P_{xPS}}{100} \cdot I_{PS} + C_{\Delta E} \quad (8.4)$$

Bu yerda C_L , C_{PS} – liniya va podstansiya uchun ishlatish harajatlari, ming

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

so‘m/yil; $C_{\Delta E}$ – yillik elektr energiya isrofini qoplash harajatlari, ming so‘m/yil; p_{al}, p_{tl}, p_{xl} – bir yil davomida liniya uchun amortizatsiya, joriy ta‘mir va xizmat ko‘rsatish chegirmalari, %; $p_{aPS}, p_{tPS}, p_{xPS}$ – bir yil davomida podstantsiya uchun amortizatsiya, joriy ta‘mir va xizmat ko‘rsatish chegirmalari, %. Bu koeffitsientlarning qiymatlari ma‘lumotnomada keltiriladi. Agar liniya va podstantsiya uchun amortizatsiya, joriy ta‘mir va xizmat ko‘rsatish harajatlari birlashtirilsa, unda butun tarmoq uchun ishlatish harajatlari ifodasini quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$C = C_a + C_t + C_x + C_{\Delta E} \quad (8.5)$$

Amortizatsiya chegirmasi kapital ta‘mirlash va yeyilib, ishdan chiqqan va ma‘naviy eskirgan uskunalarni almashtirish uchun kerak bo‘ladigan harajatlarni o‘z ichiga oladi. Uskunanaing xizmat vaqti qancha kam bo‘lsa, amortizatsiya chegirmasi shuncha katta bo‘ladi⁹⁶.

Joriy ta‘mirlash uchun chegirma uskunolari normal ish holatida saqlab turish uchun sarf bo‘luvchi harajatlardan iborat. Joriy ta‘mirlashda izolyatorlarni almashtirish, tayanchlar va podstantsiya uskunalarining sirtlarini bo‘yash, kichik shikastlanishlarni tuzatish kabi ishlar amalga oshiriladi. Shikastlanishning oldini olish uchun tarmoqning barcha elementlari vaqti-vaqti bilan tekshirilib turiladi va profilaktik sinovdan o‘tkaziladi. Bu tadbirlarni amalga oshirish harajatlari joriy ta‘mirlash chegirmalari mablag‘lari hisobidan qoplanadi.

Xizmat ko‘rsatish chegirmalari ishchi xodimlarning maoshi, transport va a‘loqa vositalari xizmatlari, xodimlarni uy-joy va zaruriy sharoitlar bilan ta‘minlash kabi faoliyatlarga sarf bo‘luvchi harajatlarni o‘z ichiga oladi.

Amortizatsiya va joriy ta‘mirlash harajatlarini quyidagicha birlashtirish mumkin:

$$C_a + C_e = p_E K \quad (8.6)$$

¹ S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008.

Bu yerda p_e - amortizatsiya va joriy ta'mirlash uchun yillik chegirma, 1/yil.

Isrof bo'lgan elektr energiyasi narxi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

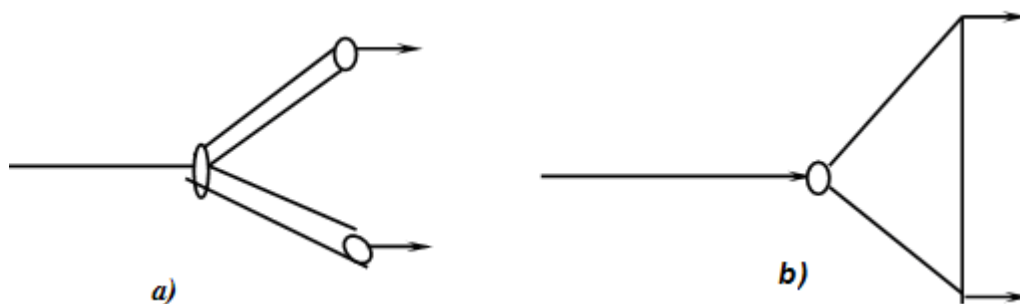
$$C_{\Delta E} = \beta \cdot \Delta E \quad (8.7)$$

Bu yerda ΔE - yillik elektr energiya isrofi, kVt.soat; β - 1 kVt.soat isrof bo'lgan elektr energiyaning narxi, so'm/kVt.soat.

Asosiy texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarga, shuningdek, uzatiluvchi elektr energiyaning tan narxi ham kiradi. U quyidagicha aniqlanadi:

$$G = C / E. \quad (8.8)$$

Bu yerda C – tarmoqni ishlatish harajatlari, so'm/yil; E – iste'molchilar bir yil davomida tarmoqdan olgan elektr energiya, kVt.soat



8.1-rasm. Tarmoq sxemasining variantlari:
a) radial; b) berk

8.3. Elektr tarmoq variantlarini solishtirish

Texnik-iqtisodiy solishtirishda faqat texnik talablarga javob beradigan, ya'ni iste'molchilarini talab etilgan sifatdagi elektr energiya bilan bir xil ishchilikda ta'minlovchi variantlar solishtiriladi.

Texnik-iqtisodiy solishtirishning birinchi bosqichida ruxsat etilgan texnik talablar bo'yicha variantlar ishlab chiqiladi, ikkinchi bosqichida esa texnik-iqtisodiy (TI) ko'rsatkichlar bo'yicha ular orasidan optimal variant tanlanadi.

Masalan, 8.1- rasmda ko'rsatilgan tarmoq variantlarini solishtirish talab

etilsin.

Solishtirishning eng oson yo‘li – bu K va C larni aniqlash va ularni solishtirishdir. Agar $K_1 > K_2$ va $C_1 > C_2$ bo‘lsa, unda ikkinchi variant (b) tanlanadi. Agar $K_1 > K_2$ va $C_1 < C_2$ bo‘lsa, unda bu usulni qo‘llab bo‘lmaydi.

Eng qulay variantni tanlashning universal iqtisodiy mezon sifatida kumulyativ harajatlar ishlatiladi:

$$Z_k = (1 + E_k)K + C \quad (8.9)$$

Bu yerda K – jami kapital harajatlar (investitsiya), so‘m; E_k – kapital harajatlar uchun foiz, %; C – yillik ishlatish harajatlari, so‘m/yil⁹⁷.

Tarmoq rivojlanishining barcha solishtirilayotgan variantlarida berilgan ite‘mol holatida (yuklamalar quvvatida) iste‘molchilar bir xil sifatli elektr energiya bilan ta‘minlanishi kerak. Tarmoqning har bir varianti kerakli ishonchlilikni ta‘minlashi lozim. Elektr ta‘minoti ishonchliligiga talablar elektr iste‘molchilarining toifalariga bog‘liq holda elektr usunalarining tuzilish qoidalari (EUTQ-PUE)da ko‘rsatilgan.

EUTQga asosan barcha elektr iste‘molchilari zaruriy ishonchlilik darajasi bo‘yicha uchta toifaga (I, II, III) bo‘lingan.

Energetika sistemasi tarmoqlarining ishonchliligiga qo‘yiluvchi talablar normativ hujjatlarda aniq belgilangan. Bu hujjatlarda zahiralash, zanjirlar soni, podstansiyada transformatorlar soni, ulanish sxemalari va boshqalar bo‘yicha talablar keltirilgan.

I toifa iste‘molchilari uchun elektr ta‘minotidagi uzilish oqibatidagi zararni iqtisodiy ekvivalent tarzida ifodalash mumkin emas. I va II toifa iste‘molchilarini ta‘minlovchi tarmoq sxemalarining ishonchliligini baholash mezonlari sifatida ishonchlilikning quyidagi texnik ko‘rsatkichlari qabul qilinadi:

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

- uzilish oqimi parametri (bir yilda o'rtacha uzilishlar soni);
- bir yilda uzluksiz ishlash extimoli, %;
- elektr ta'minoti tiklanishining o'rtacha vaqti T_T , yil uzilish.

Harajatlar bo'yicha shunday I – toifa iste'molchilarini ta'minlovchi tarmoq variantlarini solishtirish mumkinki, bunda ular uchun ishonchlilikning texnik ko'rsatkichlari tegishli normativ hujjatlarda aniq belgilangan talablarni qoniqtiradi.

II – toifa iste'molchilarining elektr ta'minotidan uzilish oqibatlarini iqtisodiy ekvivalent tarzida ifodalash mumkin. Bu ko'rsatkich elektr ta'minotining buzilishi natijasida kutilayotgan o'rtacha yillik xalq xo'jalik ziyoni (zarari)dir, ming so'm/yil⁹⁸.

Elektr energiyaning uzatilmay qilinishi natijasi ko'riluvchi iqtisodiy zarar U harajat tarkibiga kiritiladi va II – toifa iste'molchilarini ta'minlovchi tarmoq variantlarini tanlashda hisobga olinadi. Agar tarmoq variantlari ishonchlilik bo'yicha bir biridan unchalik farq qilsa, bunda, elektr ta'minotining buzilishi natijasidagi zararni o'z ichiga olgan harajatlar eng kam bo'lgan variant qabul qilinadi.

Shunday qilib, ishonchlilik elektr ta'minotining buzilishi natijasida ko'riluvchi zarar orqali hisobga olinganda variantlar uchun kumulyativ harajatlar quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} Z_1 &= C_1 + (1 + E_1)K_1 + Y_1 \\ Z_2 &= C_2 + (1 + E_2)K_2 + Y_2 \end{aligned} \quad (8.10)$$

Zarar quyidagicha aniqlanadi:

$$Y = \omega T_T R_{maks} E_N V_{ob} \quad (8.11)$$

Bu yerda ω - uzilish oqimi parametri (bir yilda o'rtacha uzilishlar soni); T_T – o'rtacha qayta tiklanish vaqti, yil/uzilish; R_{maks} – normal holatdagi maksimal yuklama, kVt; E_N – iste'molchi yuklamasini cheklash koeffitsienti; U_{ov} – elektr

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

ta'minotining majburiy uzilishi oqibatidagi hisobiy solishtirma yillik zarar, ming so'm/kVt.yil.

Elektr tarmoqlari elementlari uchun ω va T_T ko'rsatkichlar ma'lumotnomadan olinadi. E_N koeffitsienti shu holatdagi uzilishda o'chirilishi zarur bo'lgan yuklamani normal holatdagi maksimal yuklamaga nisbatiga teng. Elektr ta'minoti batamom uzilsa $E_N=1$ ga teng. To'la zahiralangan tarmoqda $E_N=0$. $r_N E_N$ kattaligi uzilishda o'chiriladigan yuklama quvvatiga teng.

Zararning solishtirma ko'rsatkichlari egri chiziqli tipik bog'lanishlar bo'yicha yuklama tarkibiga va E_N ga bog'liq holda aniqlanadi.

Yuqorida ko'rsatilgan zararning ifodasi elektr tarmog'ining bitta elementi avariya tufayli uzilib qolgan holat uchun o'rinalidir. Amalda elektr tarmog'ida avariya natijasida bir nechta elementlar–liniyalar, transformatorlar, o'chirgichlar, shinalar va boshqalar uzilishi mumkin. Shuning uchun, bu holatdagi o'rganilayotgan tarmoq uchastkasining tarkibiy almashtirish sxemasi tuziladi.

Ketma-ket ulangan elementlardan tashkil topgan tarmoqning tarkibiy sxemasi shoxobchasi uchun uzilish natijasidagi zararning matematik ko'tilishi U quyidagicha aniqlanadi:

$$Y = K_b \cdot R_{maks} \cdot E_n V_{ob} \quad (8.12)$$

Bu yerda K_V – uzilish natijasida majburiy to'xtab turish koeffitsienti, nisbiy birlik tarmoqning bitta elementi uchun

$$K_b = \omega T_T \quad (8.13)$$

Elektr tarmoqlarini loyihalash vaqtida ishonchlilikni hisobga olish uchun tarmoq elementlarini avariya o'chirilishidan tashqari ulanish va reja asosida o'chirilishini ham (rejali ta'mirlash paytida) hisobga olish kerak. Bunda, avariya va rejali to'xtab turish sababli elektr ta'minotini uzulishidan ko'riluvchi zararlarning matematik kutilishlari harajat tarkibiga kiritiladi.

8.4. Nominal kuchlanishni tanlash

Elektr tarmog'ining nominal kuchlanishining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlariga, hamda texnik harakteristikalariga jiddiy ta'sir etadi. Masalan, agar nominal kuchlanish ko'tarilsa, quvvat va energiya isrofi kamayadi, ya'ni ish harajatlari kamayadi, o'tkazgichlarning kesim yuzasi va liniya qurilishi uchun sarflangan metal kamayadi, liniyalarda uzatilayotgan quvvat oshadi, lekin tarmoq qurilishi uchun sarflanadigan kapital harajatlari ortadi⁹⁹.

Past nominal kuchlanishli tarmoq kam kapital harajatlari talab qiladi lekin quvvat va elektr energiya isrofi oshishi sababli katta ishlatish harajatlari olib keladi, bundan tashqari o'tkazish qobiliyati kamayadi. Shuning uchun, tarmoqni loyihalash vaqtida nominal kuchlanishni to'g'ri tanlash muhim hisoblanadi.

Elektr tarmoqlarning nominal kuchlanishlari amaldagi standartlarda ko'rsatilgan.

Iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'lgan nominal kuchlanish bir necha omillarga bog'liq:

- yuklama quvvatiga;
- TM va yuklama orasidagi masofaga;
- yuklamalarning joylashishiga;
- elektr tarmog'ining tuzilishiga;
- kuchlanishni rostlash usullariga va boshqalarga.

Nominal kuchlanishning taxminiy qiymatini uzatilayotgan quvvat qiymati va masofa bo'yicha aniqlash mumkin. Liniya orqali uzatilayotgan masofa qancha katta bo'lsa, texnik-iqtisodiy me'yorlar bo'yicha elektr tarmog'ining nominal kuchlanishi shuncha yuqori bo'lishi kerak.

Nominal kuchlanishni quyidagi usullardan biri bilan taxminiy baholash mumkin:

a) – tipik egri chiziqlar bo'yicha;

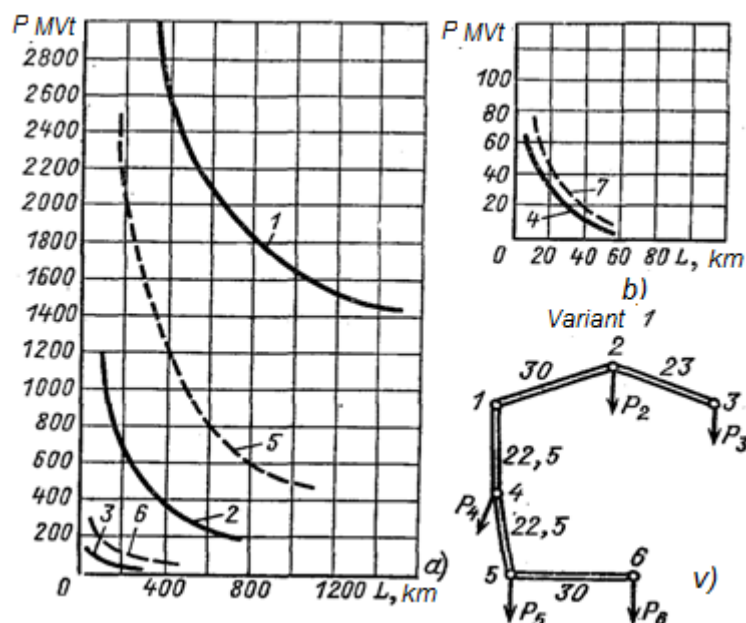
²

Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

b) – empirik ifodalar bo'yicha;

v) – jadval bo'yicha;

Tipik egri chiziqlar turli nominal kuchlanishli elektr



8.2-rasm. Turli nominal kuchlanishli elektr tarmoqlarining qo'llanilish sohalari:

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

tarmoqlarni qo'llashning iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq sohalarini ko'rsatadi. Bu bog'lanishlar uzatiluvchi quvvat R , liniya uzunligi l va nominal kuchlanish U_{nom} har xil bo'lgan tarmoq variantlari uchun harajatlarni solishtirish natijasida hosil qilingan.

Nominal kuchlanishni aniqlashning imperik formulalari bilan tanishamiz.

Ma'lum bo'lgan uzatilayotgan quvvat R (MVt) va liniya uzunligi l (km) bo'yicha nominal kuchlanishni Still ifodasi yordamida aniqlash mumkin:

$$U_{nom} = 4,34\sqrt{l+16P} \quad (8.14)$$

Bu ifoda uzunligi 250 km gacha bo'lgan va uzatilayotgan quvvati 60 mVt dan oshmagan liniyalar uchun samarali qo'llanilishi mumkin.

Katta miqdordagi quvvatni 1000 km gacha masofaga uzatuvchi liniyalarning nominal kuchlanishlari A.M.Zalleskiy formulasi bo'yicha aniqlanishi mumkin:

$$U_{nom} = \sqrt{P(100+15l)} \quad (8.15)$$

G.A. Illarionov quyidagi imperik formulani taklif qilgan:

$$U_{nom} = \frac{1000}{\sqrt{500/I + 2500/P}} \quad (8.16)$$

Oxirgi formula 35 kV 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, avvalo ko'p yuklangan bosh uchastkalarining nominal kuchlanishlari aniqlanadi. Xalqasimon tarmoq uchastkalari, odatda, bitta nominal kuchlanishda bajarilishi lozim.

Yuqoridagi usullardan biri bo'yicha topilgan kuchlanish yaqin nominal kuchlanishga yaxlitlanadi. Barcha usullar U_{nom} ning faqat taxminiy qiymatini aniqlash imkonini beradi.

Nominal kuchlanishning taxminiy qiymatlari aniqlanganidan so'ng har bir konkret tarmoq uchun turli nominal kuchlanishlar variantlarining chegaralangan soni belgilanadi va ular texnik iqtisodiy solishtiriladi.

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

8.5. Liniya o'tkazgichlarining kesim yuzalarini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash

Elektr tarmoqlarini loyihalashda o'tkazgichlarning iqtisodiy kesim yuzalarini tanlash eng muhim masalalardan biri hisoblanadi. EULni qurish va ishlatish juda katta miqdordagi kapital mablag', o'tkazgich materiallarining sarfi, elektr sistemalarida quvvat va elektr energiyaning isrofi bilan bog'liqdir. Faqat 10 kV va undan past kuchlanishli tarmoqlarning o'zidagi elektr energiya isrofi, elektr sistemasi tarmoqlaridagi umumiy energiya isrofining 60-70% ni

tashkil qiladi¹⁰⁰. Shu bilan birga bu tarmoqlarning o'tkazgichlari va kabellariga butun tarmoqlarda sarf bo'luvchi rangli metallarning yarmidan ko'pi to'g'ri keladi.

Hozirgi vaqtda o'tkazgichlarni iqtisodiy kesim yuzasini tanlashda asosan keltirilgan harajatlarga asoslangan usuldan foydalaniladi. Shunga asosan o'tkazgichning iqtisodiy kesim yuzasi deb, keltirilgan harajatning minimum qiymatiga mos keluvchi kesim yuzasi aytiladi. O'tkazgichning 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 o'tkazgichning qurilish narxi va o'tkazgichning kesim yuzasi orasidagi bog'lanish to'g'ri chiziqli bog'lanishga yaqin degan taxminga asosan tanlanadi:

$$K = a + bF \quad (8.17)$$

Bu yerda a - kesim yuzasiga bog'liq bo'lmagan narxning o'zgarish tashkil etuvchisi (qidiruv ishlariga, loyihalashga, yo'llarni, aloqa liniyalarini yotqizishga va boshqalarga sarflanuvchi mablag'); v - 1 km liniyani qurishda o'tkazgichning kesim yuzasiga qarab narx o'zgarishini hisobga oladigan qimmatlashish koeffitsienti. (so'm/km.mm²).

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

$$C_{\Delta E} = 3I^2(\rho / F) \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} \quad (8.18)$$

Bu yerda I – normal holatda liniyaning maksimal toki, A; ρ - o'tkazgich materialining solishtirma qarshiligi; τ - maksimal isroflar vaqti, soat; β - elektr energiya isrofining solishtirma narxi (so'm/kVt.soat);

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

$$Z = (E_{\kappa} + p)(a + bF) + 3I^2(\rho / F) \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} \quad (8.19)$$

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

Keltirilgan harajatning eng kichik qiymati quyidagi shart bajarilgan holatda ta'minlanadi

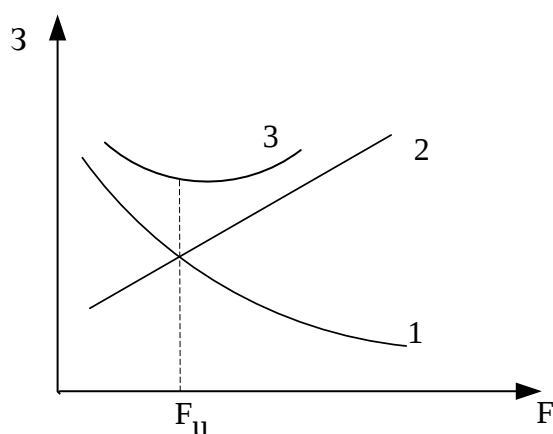
$$\frac{dZ}{dF} = (E_k + p)\epsilon - 3I^2(\rho/F)\tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} = 0 \quad (8.20)$$

Bundan tokning iqtisodiy zichligi uchun ifodani hosil qilamiz:

$$j_n = I/F = \sqrt{(E_k + p)b/Z\rho \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}} \quad (8.21)$$

Yuqorida aytib o'tilganidek, liniyani ishlatishdagi yillik harajatlarning o'tkazgich kesim yuzasiga bog'liqlanish egri chizig'i 8.3-rasmda ko'rsatilgan. Undan ko'rinib turibdiki, energiya isrofini qoplash harajatlari $C_{\Delta E} = 3I^2(\rho/F) \cdot \tau \cdot \beta$ (1-egri chiziq) o'tkazgichning kesim yuzasiga teskari proporsional tartibda o'zgaradi. Shuningdek, keltirilgan harajatlarning kapital mablag'ga bog'liq bo'lgan qismi $C = (E_n + p) \cdot (a + bF)$ (2- to'g'ri chiziq) kesim yuzasiga taxminan to'g'ri chiziqli bog'lanishdadir.

O'tkazgichning kesim yuzasi kattalashgan sari elektr energiya isrofining narxi kamayadi, lekin liniyani ishlatish bilan bog'liq bo'lgan mablag' ko'payadi. Bunda umumiy egri chiziq (3)dagi minimumga mos keluvchi kesim yuzasi iqtisodiy kesim yuzasi deb yuritiluvchi F_i ga to'g'ri keladi.



8.3-rasm. Yillik keltirilgan harajatning o'tkazgichni kesim yuzasiga bog'lanishi

Shunday qilib, o'tkazgichni iqtisodiy kesim yuzasini aniqlash uchun matematik funksiya $Z=f(F)$ ni bilish, bu funksiyaning minimumini va unga mos

keluvchi F_i ni topishning o'zi etarlicha o'xshaydi¹⁰¹. Ammo, iqtisodiy kesim yuzasining 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, hamda har xil maksimal yuklamadan foydalanish vaqti T_{maks} uchun iqtisodiy kesim yuzasini aniqlashda quyidagi ifodadan foydalanish tavsiya etiladi.

$$F = \frac{I_{maks}}{j_i} \quad (8.22)$$

Bu yerda I_{maks} - tarmoqni normal ish holatida o'tkazgichdagi maksimal yuklama toki, A; j_i – tokning iqtisodiy zichligi bo'lib, u tok oquvchi o'tkazgichning materialiga, liniyaning tuzilishiga, maksimal yuklamadan foydalanish vaqtiga bog'liq holda qo'llanmadan aniqlanadi, A/mm².

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

j_i va F_i ni maksimal yuklamalardan foydalanish vaqti T_{maks} ga bog'liqligi teskari proporsionaldir, ya'ni T_{maks} ni kattalashishi bilan u kamayadi, F esa kattalashadi, chunki T_{maks} ni o'sishi bilan keltirilgan harajatdagi elektr energiya narxi oshadi.

Ishlatish sharoitiga asosan tavsiya etilgan tokning iqtisodiy zichligi qo'llanma jadvallarda keltirilgan.

Shu yo'l bilan topilgan kesim yuzasi F_i standartga yaxlitlanadi.

Agarda tarmoqdagi yuklama maksimumi tungi (kechki) vaqtga to'g'ri kelsa, unda EUTQga asosan tokning iqtisodiy zichligining qo'llanma jadval bo'yicha aniqlangan qiymati 40% ga oshiriladi. 16 mm² va undan kichik kesim

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

yuzali izolyasiya qilingan o'tkazgichlarda ham j_i ni 40% ga kattalashtirish mumkin.

Uchastkalari katta bo'lmagan va ulardagi yuklamalar uchun T_{maks} lar har xil bo'lgan tarmoqlarda iqtisodiy kesim yuzasi har bir uchastka uchun alohida aniqlanadi, lekin bunda uchastkalardagi har xil T_{maks} o'rniga butun tarmoq uchun uning o'rtacha qiymati $T_{o'r.maks}$ quyidagi ifodaga asoslanib qabul qilinishi ham mumkin:

$$T_{ur.maks} = \frac{E}{P_{maks}} = \frac{P_{1.maks} \cdot T_{1.maks} + P_{2.maks} \cdot T_{2.maks} + \dots + P_{n.maks} \cdot T_{n.maks}}{K_o (P_{1.maks} + P_{2.maks} + \dots + P_{n.maks})} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{i.maks} \cdot T_{i.maks}}{K_o \sum_{i=1}^n P_{i.maks}} \quad (8.23)$$

Bu yerda K_o – yuklamalar maksimumi bir vaqtga to'g'ri kelishini hisobga oluvchi koefitsient.

Agar iste'molchilar liniyaga o'zaro katta bo'lmagan masofalarda ulangan bo'lsa, unda amaliy jihatdan va liniyaning tuzilishi jihatidan har bir uchastka uchun har xil kesim yuzasini qabul qilish maqsadga muvofiq emas. Bunday holda eng katta yuklangan uchastka (liniyaning boshi) uchun olinadigan bir xil iqtisodiy kesim yuzasi qabul qilinadi. Bunda j_i qiymatiga tuzatish koefitsienti K_U kiritiladi, ya'ni uning o'rniga ekvivalent iqtisodiy zichlik $j_{ie} = j_i K_U$ qabul qilinadi (bu yerda j_i – oxirida bitta yuklamaga ega bo'lgan va $T_{maks} = T_{o'r.maks}$ bo'lgan holdagi bitta liniya uchun mos tokning iqtisodiy zichligi).

K_U koefitsienti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$K_{u_y} = \sqrt{\frac{I_2 L}{I_1 l_1 + I_2 l_2 + \dots + I_n l_n}} \quad (8.24)$$

Bu yerda I_1, I_2, I_n – ayrim uchastkalardagi yuklama toklari; $l_1, l_2, \dots, l_n$ - ayrim uchastkalarining uzunliklari; L – liniyaning to'liq uzunligi.

O'tkazgichlarning kesim yuzalari kuchlanishi 500 kV gacha bo'lgan HL larda tokning iqtisodiy zichligi asosida tanlanadi.

Bu usul quyidagi hollarda qo'llanilmaydi:

a) sanoat korxonalarining va qurilmalarining kuchlanishi 1000 V gacha

bo'lgan tarmoqlarda maksimal yuklamadan foydalanish vaqti 4000-5000 s ortiq bo'lmasa;

b) 1000 V gacha bo'lgan ayrim elektr iste'molchilargacha cho'zilgan shoxobchalar va yorituv tarmoqlarida;

v) vaqtinchalik qurilmalarning va ish muddati 3 yildan 5 yilgacha bo'lgan qurilmalarning tarmoqlarida.

Tokni normallangan iqtisodiy zichligi bo'yicha o'tkazgichlarning kesim yuzasini tanlash usuli shundayin kamchilikka egaki, bu zichligi har xil turdagi liniyalar uchun amortizatsiyaga bo'lgan mablag' ajratish qayd qilingan deb aniqlanadi va o'tkazgichlarning solishtirma narxi kesim yuzasiga nisbatan to'g'ri chiziqli bog'lanishda deb hisoblanadi. Keltirilgan omillar ayrim hollarda o'tkazgichning iqtisodiy kesim yuzasini tanlashda katta xatoliklarga olib keladi, bu ayniqsa bir turda bo'lmagan tarmoqlarda, xususan, ayrim uchastkalari har xil texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlarga (o'tkazgich materialini shaklan ishlanishi, amortizatsiyaga ajratish va boshqalar) ega bo'lganda bilinadi. Maksimal yuklamadan foydalanish vaqti katta oraliqda ham sezilarli xatoni yuzaga keltiradi. Masalan uchinchi oraliq uchun (qo'llanma jadval bo'yicha) $T_{maks}=5000$ soat bo'lganda F_i ni aniqlashdagi xatolik 30%; $T_{maks}=8760$ soat bo'lganda esa xatolik intervali o'rtacha vaqt qiymati uchun tanlangan kesim yuzasiga nisbatan 20% ni tashkil etadi.

O'tkazgichlar kesim yuzalarini tanlashning iqtisodiy intervallar usuli aniqroq yechimini topish imkonini beradi. Bunda o'tkazgichlarning standart kesim yuzalari parametrlarning keltirilgan harajatga ta'sir qiladigan uzluksizligi hisobga olinadi.

O'tkazgichlarning ma'lum bir kesim yuzasi uchun shunday yuklamalar oraliq'i iqtisodiy deyiladiki, shu oraliqlardagi yuklamalarga mos birlik tokni (yoki quvvatni) birlik uzunlikka uzatish uchun bo'ladigan keltirilgan harajat boshqa kesim yuzalaridagiga nisbatan eng kichik bo'ladi.

Uzunlik birligidagi aktiv qarshiligi r (Om) bo'lgan F_m kesim yuzali 1 km

liniyaga mos keltirilgan harajat tok I ga bog‘liq ravishda quyidagi ifoda bo‘yicha aniqlanadi:

$$Z_{(m)} = (E_{\kappa} + p)K_{(m)} + 3I^2 r \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} \quad (8.25)$$

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

$$I_{(m)\kappa, \min} = \sqrt{(E_{\kappa} + p)(K_{(m)} - K_{(m-1)}) \cdot 10^3 / Z\tau\beta(r_{(m-1)} - r_{(m)})} \quad (8.26)$$

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

$$I_{(m)\kappa, \max} = \sqrt{(E_{\kappa} + p)(K_{m+1} - K_{(m)}) \cdot 10^3 / Z\tau \cdot \beta(r_{(m)} - r_{(m+1)})} \quad (8.27)$$

O‘tkazgichlarning iqtisodiy kesim yuzasini (8.26) va (8.27) ga asosan tuzilgan iqtisodiy interval jadvallari orqali, yoki (8.25) ifodaga asosan har xil kesim yuzalari uchun qurilgan keltirilgan harajatning yuklama tokiga bog‘lanish grafiklariga asosan (8.4-rasm) aniqlash mumkin.

8.4-rasmda keltirilgan harajatlarning bog‘lanishlari F_1 , F_2 va F_3 kesim yuzalari uchun ko‘rsatilgan. Bunda $F_3 > F_2 > F_1$.

F_1 va F_2 egri chiziqlarning kesishish nuqtasi yuzalar F_1 va F_2 bo‘lgan variantlarda keltirilgan harajatlar teng bo‘ladigan eng katta tok $I_{e.kat1}$ ni aniqlaydi. Agar EUL toki $I_{e.kat1}$ dan kichik bo‘lsa, u holda eng kichik harajatlar F_1 kesim yuzasiga to‘g‘ri keladi, ya’ni aynan shu kesim yuzani tanlash iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir. Agar tok $I_{e.kat1}$ va $I_{e.kat2}$ oralig‘ida bo‘lsa, ikkinchi kesim yuza F_2 , $I_{e.kat2}$ dan katta bo‘lsa uchinchi kesim yuza F_3 iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo‘ladi¹⁰².

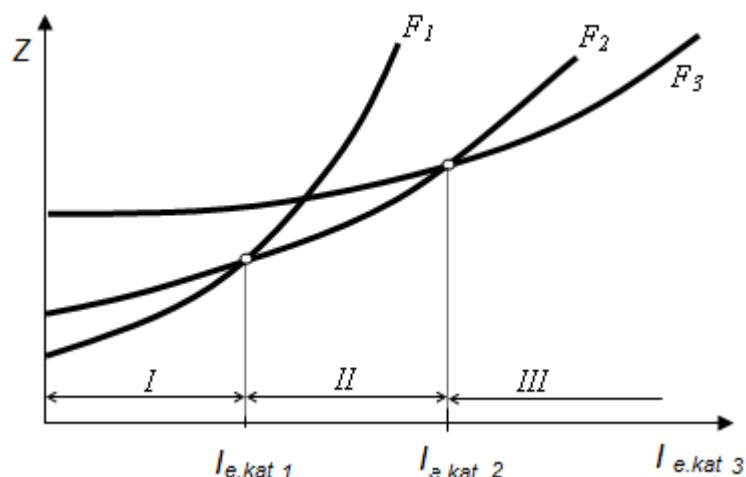
Tokning iqtisodiy intervallaridan foydalanilganda EULning eng katta toki tushunchasini aniqlashtirish kerak. O‘tkazgichlarning yuzalarini tokning

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

quyidagi formula bo'yicha aniqlanuvchi hisobiy yuklamasi bo'yicha tanlash lozim.

$$I_x = I_{e.kat} \alpha_i \alpha_t, \quad (8.28)$$

Bu yerda $I_{e.kat}$ - foydalanishning beshinchi yilida EULning normal holatidagi eng katta tok. U ta'minlovchi va taqsimlovchi tarmoq EULLari uchun elektr sistemasining maksimal yuklamali



8.4-rasm. Iqtisodiy intervallarni qurish

holatini hisoblash natijasida aniqlanadi; α_i - EUL yillar davomida foydalanishda yuklama o'zgarishini hisobga oluvchi koeffitsient; α_t - uning maksimal yuklamadan foydalanish vaqti $T_{e.kat}$ va uning energetika sistemasi maksimumi to'g'ri kelishi K_o ni hisobga oluvchi koeffitsient.

110-220 kV EULLar uchun α_i ning qiymati 1,05 ga teng qilib, bundan yuqori kuchlanishdagi EUL uchun bu koeffitsient qiymati esa jadvaldan olinadi.

35-750 kV EULLarining kesim yuzalari uchun tokning iqtisodiy intervallari qo'llanmalarda jadval ko'rinishida keltirilgan bu jadvallar barcha standart kesim yuzalari va har xil regionlar uchun tuzilgan¹⁰³.

Shunday qilib, iqtisodiy nuqtai nazardan topilgan (tokning iqtisodiy

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

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

8.6. Liniya o'tkazgichining kesim yuzasini kuchlanishning ruxsatlangan isrofi bo'yicha tanlash

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

Elektr energiya sifatiga tegishli talablar bajarilishi uchun normal va avariya holatlarida $\Delta U < \Delta U_{rux}$ sharti qanoatlantirilishi kerak¹⁰⁴.

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

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

$$\Delta U = \sum_{i=1}^n P_i \cdot R_i / U_n + \sum_{i=1}^n Q_i X_i / U_n \quad (8.29)$$

Bu ifodadan ko'rinadiki, kuchlanish isrofi liniyaning aktiv va reaktiv quvvatlari va qarshiliklari bilan belgilanuvchi ΔU_a va ΔU_p dan tashkil topgan. Bunda aktiv qarshilik liniya o'tkazgichlarining kesim yuzasiga bog'liqdir (yuzaga teskari proporsional), induktiv qarshilikni bog'liqligi esa murakkab bo'lib (diametr $D_{o'r}$ logarifm belgisi ostida joylashgan), bu yuzani tanlash

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

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 isrofining ΔU_p tarkibiy qismini taxminan aniqlash mumkin:

$$\Delta U_p = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot l_i \cdot x_0}{U_n} \quad (8.30)$$

ΔU_{rux} dan ΔU_p ni ayirib, ruxsat etilgan kuchlanish isrofining aktiv qarshilik r_0 ga bog‘liq bo‘lgan tashkil etuvchisini aniqlash mumkin:

$$\Delta U_{a.rux} = \Delta U_{rux} - \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot l_i \cdot x_0}{U_n} \quad (8.31)$$

(8.29) ga asosan,

$$\Delta U_{a.rux} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i l_i \cdot r_0}{U_n}$$

Bundan o‘tkazgichning kesim yuzasini aniqlash formulasi hosil bo‘ladi:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n P_i l_i}{\gamma \cdot \Delta U_{a.rux} \cdot U_n} \quad (8.32)$$

Agarda uzoqdagi iste’molchilar uchun kuchlanish isrofi ruxsat etilgan maksimal qiymatdan kichik bo‘lsa, bu iste’molchi qabul qiladigan energiya sifatini qoniqarli deb aytish mumkin. Dastlabki hisoblashlarda, rostdlash uskunalari mavjud bo‘lsa, taqsimlovchi elektr tarmoqlarda ruxsatlangan kuchlanish isrofini normal hollarda 15%, avariya dan keyingi hollarda esa 20% deb hisobga olish mumkin.

O‘tkazgichning kesim yuzasini, bu yuza liniyaning butun uzunligi davomida o‘zgarmas bo‘lganida aniqlash¹⁰⁵.

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

Ko‘pincha amaliy nuqtai nazarda loyihalanayotgan liniyaning tuzilishini bir turda bajarish maqsadida, uning butun uzunligi davomida markasi va kesim yuzasi bir xil bo‘lgan o‘tkazgich qo‘llaniladi. Bu esa tayanchlarni qismlarini, o‘tkazgichlarni tayyorlashda osonlik kiritadi va o‘tkazgichning qurilishga mo‘ljallangan uzunligini yaxshi ishlatishga (barabandagi o‘tkazgich qoldig‘ini kamaytiradi) imkon beradi.

Bu holda, qachonki qurilayotgan liniyaning butun uzunligi davomida $F=const$ bo‘lganda, o‘tkazgichning kesim yuzasini ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo‘yicha aniqlash juda soddalashadi.

$$\Delta U_{a.rux} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i l_i \cdot r_o}{U_n} = \frac{\rho}{FU_n} \sum_{i=1}^n P_i l_i \quad (8.33)$$

Bundan qidirilayotgan yuza quyidagicha aniqlanadi:

$$F = \frac{\rho}{\Delta U_{a.rux} \cdot U_n} \sum_{i=1}^n P_i l_i \quad (8.34)$$

yoki xuddi shuning o‘zi

$$F = \frac{\rho \sum_{i=1}^n P_i l_i}{\Delta U_{a.rux} \cdot U_n} \quad (8.35)$$

Olingan yuza standartgacha yaxlitlanadi, buning uchun ma’lumotnomadagi jadvaldan r_0 va x_0 aniqlanadi va keyin tekshiruv hisobi orqali haqiqiy kuchlanish yo‘qotilishi ΔU aniqlanadi, agarda bu ruxsat etilgan qiymatdan katta bo‘lsa, bir pog‘ona yuqori kesim yuzasi qabul qilinadi.

Agarda kesim yuzasi yaqin katta qiymatgacha yaxlitlangan bo‘lsa va o‘tkazgichning haqiqiy x_0 qiymati oldindan qabul qilingan o‘rtacha qiymatdan kichik bo‘lsa tekshiruv hisoblarini bajarish shart emas. Qabul qilingan o‘tkazgichning qat’iy kesim yuzasi yuklama tokining qizdirish darajasi bo‘yicha tekshirilishi lozim.

O‘tkazgichning kesim yuzasini quvvat isrofining minimumi shartiga

asosan aniqlash¹⁰⁶.

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 r_0 aktiv qarshilikka bog'liq ruxsat etilgan kuchlanish isrofi orqali aniqlanadi.

$$\begin{aligned}\Delta U_{a.rux} &= \frac{\rho}{U_n} \sum_{i=1}^n \frac{P l_i}{F_i} = \frac{\rho}{U_n} \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt{3} U_n I_i (\cos \varphi_i) l_i}{F_i} = \\ &= \sqrt{3} \rho \sum_{i=1}^n \frac{I_i (\cos \varphi_i) l_i}{F_i}\end{aligned}\quad (8.36)$$

Shart bo'yicha $I_i/F_i = j_{\Delta p} = \text{const}$ bo'lgani uchun uni yig'ish belgisidan tashqaridan chiqarsak, hosil bo'ladi:

$$\Delta U_{a.rux} = \sqrt{3} \rho j_{\Delta p} \sum_{i=1}^n (\cos \varphi_i) l_i \quad (8.37)$$

Bundan

$$j_{\Delta p} = \frac{\Delta U_{a.rux}}{\sqrt{3} \rho \sum_{i=1}^n l_i \cos \varphi_i}$$

Minimum isrofga to'g'ri keladigan tok zichligini bilib, har bir uchastkadagi o'tkazgichning kesim yuzasini topamiz.

$$F_i = \frac{I_i}{j_{\Delta p}}$$

Bu yerda I_i ko'rilayotgan uchastkadan oqayotgan tok.

Tokning iqtisodiy zichligi j_i bo'yicha o'tkazgichlarning 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 o'tkazgichlarning kesim yuzasi ruxsat etilgan kuchlanish

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

isrofini ta'minlamasligi ehtimoli bor, bu esa qaytadan hisoblash zaruriyatini keltirib kelishi mumkin¹⁰⁷.

Qaytadan hisoblamaslik uchun ruxsat etilgan kuchlanish isrofi ta'minlaydigan tokning zichligi $j_{\Delta p}$ oldindan aniqlanadi. Agar $j_{\Delta p} > j_k$ bo'lib qolsa, u holda kesim yuzasi iqtisodiy zichlik j_u orqali, teskari hollarda esa $j_{\Delta p}$ 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 isrofini kamaytiradigan maxsus choralarni ishga solish, masalan, reaktiv quvvatni ko'ndalang yoki bo'ylama kompensatsiya qilish kerakligini ko'rsatadi.

8.7. Liniya o'tkazgichlarining kesim yuzalarini qizish darajasi bo'yicha tanlash

O'tkazgichdan o'tayotgan tok uni va izolyasiyani qizdiradi. O'tkazgichlarni uzoq ishlashini ta'minlash uchun ularning harorati ruxsat etilgan 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.

O'tkazgichlarning uzoq muddatli ruxsat etilgan haroratini qiymati va atrof muhitning o'rtacha harorati quyida keltirilgan:

Shinalar va ochiq o'tkazgichlar	70 ⁰ C	+25 ⁰ C
kabellar, kV gacha	3	80 ⁰ C
	6	65 ⁰ C
	10	60 ⁰ C
	20	55 ⁰ C
	35	50 ⁰ C

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

Rezina izolyasiyali oddiy kabel va o'tkazgichlar	55°C	+15°C
Izolyasiyasi issiqlikka bardosh beruvchi rezinadan bo'lgan oddiy kabel va o'tkazgichlar	65°C	+15°C

Har xil turdagi o'tkazgichlar uchun ruxsat etilgan harorat har xil sharoitlar uchun aniqlangan, masalan, HL larini ochiq o'tkazgichlari uchun yuqorida keltirilgan ruxsat etilgan harorat, o'tkazgichlarning uchastkalarini bir-biri bilan elektr va mexanik ravishda ulaydigan biriktiruvchi kontaktlarini normal ishlash sharoitini hisobga olib aniqlangan. Binolar ichida o'tkazilgan ochiq o'tkazgichlar uchun ruxsat etilgan harorat yong'indan saqlash talablariga asosan aniqlanadi.

Kabellar uchun, yuqori haroratda kabel qog'ozini shikastlanishidan saqlash va kabel ichidagi tarkibiy gaz qismlarining sonini oshib ketishiga yo'l qo'ymaslik ko'zda tutiladi, chunki bu gazni ionlashishiga va kabelni teshilishiga olib keladi.

Agar, ruxsat etilgan qizish harorati θ_{rux} va θ_{ur} ma'lum bo'lsa, unda I_{rux} toki tufayli vaqt birligi davomidagi o'tkazgichdagi ajralayotgan issiqlikni quyidagi ifodadan aniqlash mumkin:

$$P = RI_{rux}^2$$

Bu vaqt davomida atrof muhitga tarqalayotgan issiqlikning miqdori

$$P' = cF(\theta_{rux} - \theta_{ur})$$

Bu yerda C-issiqlik uzatish koeffitsienti bo'lib, u 1 sm² o'tkazgich yuzasining haroratlar farqi 1°C bo'lganda tarqatadigan issiqlik miqdoriga tengdir; F -o'tkazgichning kesim yuzasi, sm².

Ma'lumki, joriy tokning doimiy oqishida issiqlik muvozanati $P = P'$ ta'minlanadi, ya'ni

$$RI_{RUX}^2 = cF(\theta_{RUX} - \theta_{UR})$$

$F = \pi dl$ bo'lganda (d – o'tkazgichning diametri, sm; l - uning uzunligi, sm):

$$R = \rho l / F = \rho l / (\pi d^2 / 4) = 4\rho l / \pi d^2$$

$$4\rho I_{RUX}^2 / \pi d^2 = C\pi d(\theta_{RUX} - \theta_{UR})$$

Bu yerdan

$$I_{RUX} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{Cd^3(\theta_{RUX} - \theta_{UR})}{\rho}}$$

Ko'rinib turibdiki, qizish sharoitlari o'zgargan holda (o'tkazgichdagi ruxsat etilgan harorat - θ' . atrof muhitning harorati θ_0) o'zaro munosabat quyidagicha:

$$\frac{I'}{I_{RUX}} = \sqrt{\frac{\theta' - \theta_0}{\theta_{RUX} - \theta_{UR}}}$$

Yangi qizdirish toki quyidagi ifodadan topilishi mumkin

$$I' = I_{RUX} \sqrt{\frac{\theta' - \theta_0}{\theta_{RUX} - \theta_{UR}}}$$

Demak, har qanday kesim yuzali o'tkazgich uchun jadvaldagi ma'lumotlarga ko'ra qizish sharoitlarining har xil o'zgarishlariga tegishli mumkin bo'lgan qizdirish tokini aniqlash mumkin.

Amaliy hisoblarda boshlang'ich shartlarni aniqlash murakkab bo'lganligi uchun yuqoridagi ifodadan odatga ko'ra foydalanilmaydi, balki har xil turli o'tkazgichlar uchun ularni ishlatilish sharoitlariga bog'liq bo'lgan ruxsatlangan yuklama toklari keltirilgan jadvaldan foydalaniladi. O'tkazgichlarning kesim yuzasini qizishiga tekshirish quyidagidan iboratdir: faraz qilaylik, shu berilgan yuklama uchun o'tkazgichning kesim yuzasi tokning iqtisodiy zichligi yoki boshqa shartlar bo'yicha tanlangan. Bu kesim yuzasi uchun jadvaldan qizish darajasi bo'yicha ruxsat etilgan yuklama tokini aniqlaymiz. Agarda bunda

$$I_{ISH} \leq I_{RUX} = K_{TOK} \cdot I_{RUX.YU.T}$$

bo'lsa, tanlangan kesim yuzasi qizish darajasi bo'yicha qiziqtiradi¹⁰⁸.

Tuzatuv koeffitsienti K_{tuz} o'tkazgichni rasmiy ish sharoitidan haqiqiy ish sharoitining farqini hisobga oladi. Tuzatuv koeffitsienti 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 koeffitsientlar tegishli jadvallarda keltirilgan. Agarda bir necha tuzatuv koeffitsientlarini hisobga olish kerak bo'lsa, unda umumiy tuzatuv koeffitsienti K_{tuz} ularni ko'paytmasiga teng bo'ladi.

Shunday hollarda kesim yuzasi qizish shartiga asosan topilgan o'tkazgichlarning uzoq muddatli ruxsat etilgan qizdirish toki quyidagi ifodadan aniqlanadi.

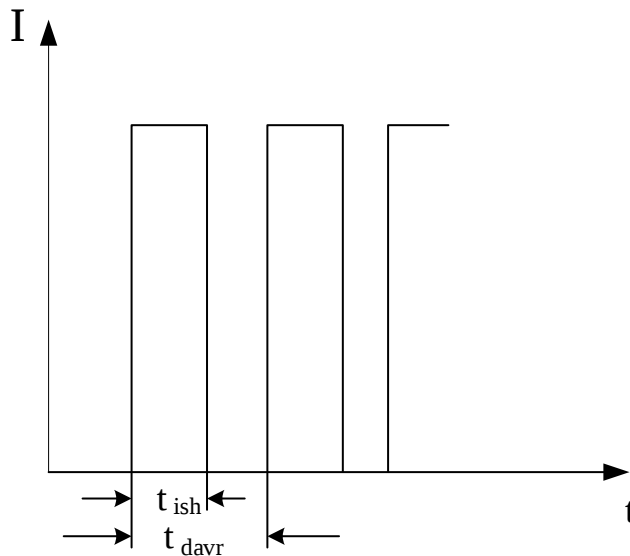
$$I_{RUX.E.K.T.} \geq \frac{I_{ISH}}{K_{TUZ}}.$$

Bu yerda I_{ish} – uzoq muddatli maksimal yuklama tokining qiymati. So'ngra jadvaldan qidirayotgan kesim yuzasi aniqlanadi.

Bir qator iste'molchilar (4.4- rasm) qaytariladigan – qisqa vaqtli yuklama bilan ishlaydi. Bu yuklamalarni ta'minlaydigan o'tkazgichlar uchun quyidagi ifodadan aniqlanadigan uzoq muddatli toklarni qiymatiga qaraganda katta toklarga ruxsat etiladi:

$$I'_{RUX.T} = 0,8751_{RUX.T} / \sqrt{UV}$$

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.



8.5-rasm. Qaytariladigan qisqa vaqtli yuklama holati

bu yerda UV - ulanish vaqti koeffitsienti bo'lib, u ish vaqti t_{ish} ning davr vaqti t_D ga nisbatiga teng bo'ladi. Bu ifodadan foydalanish mis o'tkazgichlarning kesim yuzasi 6 mm^2 dan va alyumin o'tkazgichlarning kesim yuzasi 10 mm^2 dan katta bo'lganda mumkin.

Kesim yuzasi katta bo'lganda bir kabelning o'rniga bir necha kichik yuzali kabellarni qo'llash qulaydir. Ammo almashtiriladigan kabelning yuzasi 150 mm^2 dan kichik bo'lmasligi kerak. Buni quyidagicha tushuntirsa bo'ladi: kesim yuzasi katta bo'lgan o'tkazgichlar va kabellarda qizish darajasi bo'yicha ruxsat etilgan tokning zichligi kichik yuzalilarga qaraganda kichik bo'ladi, chunki o'tkazgich va kabellarning kesim yuzasi qancha katta bo'lsa uning o'lchov birligiga to'g'ri keladigan sovitish maydoni shuncha kichik bo'ladi.

8.8. 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 o'tkazgichlari tojlanishni paydo bo'lish sharoitlari va

radio aloqa uskunalariga halaqit darajasi bo'yicha tekshirilishi shart¹⁰⁹.

Tojlanishga bo'lgan isrof elektr maydonining kuchlanganligiga bog'liqdir. O'tkazgichning diametri oshishi bilan maydonning ish paytidagi kuchlanganligiga teskari bog'langan holda kamayadi. Shunday qilib, tojlanishga bo'lgan isrofni kamaytirish uchun o'tkazgichning kesim yuzasini oshirish (yoki fazani bo'lish) kerak. 2- jadvalda tojlanishga bo'lgan energiya isrofi sharti bo'yicha o'tkazgichning 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 o'tkazgichlarini 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 o'tkazgichga egadir, 500 kV kuchlanishli liniyalarning fazasi esa 3 o'tkazgichga egadir.

Tojlanishga bo'lgan energiya isrofini aniqlash uchun avval elektr maydonining ish paytidagi kuchlanganligini aniqlash kerak. Chetdagi o'tkazgichlar uchun faza bo'lingandagi kuchlanganlik, kV/sm, teng:

$$E = \frac{0,354U}{n\tau\ell g \frac{D_{ur}}{\tau_{EKV}}} (1 + 0,25\ell gn)$$

bu yerda U – liniya kuchlanishi; n – fazadagi o'tkazgichlar soni; r - har bir o'tkazgichning radiusi.

O'rtadagi o'tkazgich uchun kuchlanganlikni qiymati 10% ga katta qilib

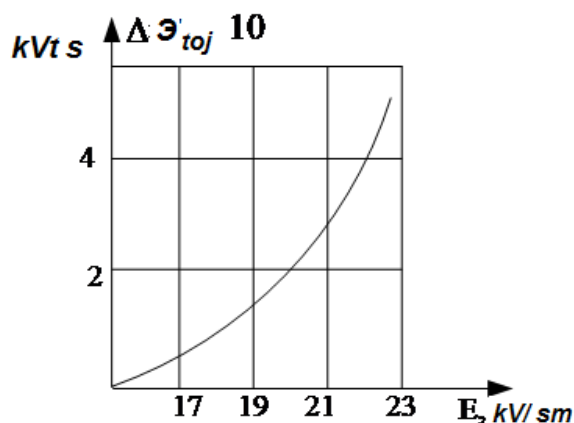
²

Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

olinadi, chunki bu o'tkazgich ikki chetki o'tkazgichning ta'sirida bo'ladi. 4.5.1-rasmda faza o'tkazgichning radiusi 1 sm bo'lgan liniyaning 1 km uzunligi uchun o'rtacha yillik solishtirma energiya isrofi $\Delta \mathfrak{E}_{toj}$ ni kuchlanganlikka bog'liqlik tahminiy egri chizig'i keltirilgan.

Shunday qilib, chekka(chet) va o'rta o'tkazgichlarning atrofidagi kuchlanganlikni aniqlab tojlanishga bo'lgan solishtirma energiya isrofining hamma faza uchun yig'indisini aniqlash mumkin.

Tojlanishga bo'lgan isrofning normativ qiymatlari ham jadvallarda keltirilgan.



8.6-rasm. 1km liniyaning 1 fazasidagi tojlanishga bo'lgan isrofining elektr maydoni kuchlanganligiga bog'liqligi

Kabellar qisqa tutashuv toklari qizdirishiga chidamliligi bo'yicha ham tekshiriladi. Qisqa tutashuv toki o'tkazgichdan oqib, uni tez qizdirgani tufayli izolyasiya shikastlanishi va kabelning bir qismi yonib ketishi mumkin.

Hajm birligi uchun qisqa tutashuv paytida ajraladigan energiya miqdori quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$E = \frac{R}{l \cdot F} \int_0^{t_k} i_k^2 \cdot dt \quad (8.38)$$

yoki $R = \frac{l}{\gamma \cdot F}$ -ni qo'yib topamiz

$$\mathfrak{E} = \frac{R}{\gamma \cdot F^2} \int_0^{t_k} i_k^2 \cdot dt \quad (8.39)$$

bu yerda, i_q - lahzali tutashuv toki;

t_q - qisqa tutashuv davom etgan vaqt;

i_q - ning qiymati qisqa tutashuv davomida o'zgarganligi uchun amaliyotda (5.4.3) integralni hisoblashda soddalashtirilgan ifodasi qo'llaniladi. Bunda, yoki haqiqiy vaqt t_q va soxta tok ishlatiladi (shunday o'zgarmas tokki, bunda ajraladigan energiyaning miqdori haqiqiy tokdagiga teng bo'ladi) yoki $I_{q,t}$ toki vaqtning ayrim lahzalarida, masalan $I_{o'm}$ va soxta vaqt (shunday vaqtqi, bunda shunday energiya ajratadiki bu haqiqiy vaqtdagiga teng).

Kabel yonmasligi uchun (5.4.3) orqali hisoblangan energiya qiymati mumkin bo'lganidan oshmasligi kerak. E - ning qiymatini kamaytirish uchun quyidagi mumkin bulgan tadbirlar ko'riladi:

- kabelning kesim yuzasini kattalashtirish;
- t_q vaqtini kamaytirish uchun tezda harakat qiluvchi himoyani qo'llash;
- tokni cheklovchi qurilmalar (reaktorlar va boshqalar) yordamida q.t. tokini kamaytirishi.

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 qoidalariga) asosan saqlagichlar yordamida himoyalangan o'tkazgichlar va kabellar qisqa tutashuv toklari qizdirishiga chidamlilik buyicha tekshirilmaydi, chunki kabel ruxsatlangan temperaturaga qizib yetguncha saqlagich oldinroq yonib ketadi.

Jadvallarda o'tkazgichlar uchun qisqa tutashuv vaqtidagi mumkin bo'lgan temperatura keltirilgan bo'ladi¹¹⁰.

8.9. Po'lat o'tkazgichlardan tayyorlangan liniyalarni hisoblash

Ko'p hollarda kichik qishloq yoki temir yo'l inshootlarini (masalan avtomatik boshqarish liniyalarini) ta'minlaydigan tarmoqlarda va boshqa

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

yuklamasi zich bo'lmagan mahalliy elektr tarmoqlarida rangli metall o'tkazgichlari etarli darajada ishlatilmaydi.

Bundan kelib chiqdiki, qachonki mis va alyumin o'tkazgichlarining kesim yuzasi kuchlanishni yo'kotilishi yoki ruxsatlangan yuklama toki bo'yicha emas, balki mexanik mustahkamligi buyicha olinsa, demak u havo liniyalari uchun ruxsatlangan minimal yuzadan kattalashtirilib tanlaniladi.

Shuningdek, 6 kV-li havo liniyalari uchun EUTQ-da minimal kesim yuzasi sifatida A-25 alyumin o'tkazgichi ruxsat etiladi.

Faraz qilamiz, masalan 6 kV-li liniya 12 km uzunlikka $R=60$ kVt quvvatni ($\cos\varphi=0,8$; $\sin\varphi=42,6$ kVAr) uzatish kerak. A-25 o'tkazgichli liniya uchun $r_0=1,88$ Om/km $x_0=0,377$ Om/km bo'lganda, kuchlanish yukotilishini topamiz.

$$\Delta U_{\%} = \frac{l \cdot (P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_N^2 \cdot 10^3} = \frac{12 \cdot (60 \cdot 1,28 + 42,6 \cdot 0,377)}{6,6000} \cdot 100\% \approx 3\%$$

bu esa mumkin bulgan 10% kuchlanish yo'qotilishidan ancha kichikdir. Demak mexanik mustahkamligi nuqtai nazaridan minimal kesim yuzali o'tkazgichi yetarli ishlatilmaydi, chunki berilgan holatda ruxsat etilgan kuchlanish yukotilishi ΔU_{rux} -ga asosan kesim yuzasi 6 mm alyumin o'tkazgichni qullash maqsadga muvofiq. Ammo, bu mumkin emas, shuning uchun bunday hollarda alyumin o'tkazgichlari katta mexanik mustahkamlikka, lekin past elektrik kursatkichlarga ega bulgan pulat o'tkazgichlar bilan almashtirilishi kerak.

Po'lat o'tkazgichlarni qo'llanishi liniyani qurishdagi harajatlarni kamaytirishga va eng muhimi rangli metallardan tayyorlangan kamyob o'tkazgichlarni kamyob bulmagani bilan almashtirishga imkon beradi.

Pulat o'tkazgichlardan tayyorlangan tarmoklarni hisoblash kuyidagi ketma-ketlikda bajariladi: liniya uchastkalaridagi tokni qiymatlari aniqlanadi, keyin har bir uchastkaga tegishli bir-ikki variantda o'tkazgichning kesim yuzasi mo'ljallaniladi (bir tola yoki ko'p tolali) va jadvaldan ruxsatlangan qizish toki

I_{rux} bo'yicha tanlaniladi¹¹¹.

So'ngra har bir uchastka uchun aktiv karshilik va induktiv karshilik $x_0 = x'_0 + x''_0$ aniqlanadi (jadval). Aktiv qarshilik va ichki reaktiv qarshilik x''_0 -ni kurilayotgan uchastkadan oqayotgan tokni qiymati bo'yicha, tashqi reaktiv qarshilik x'_0 -ni esa liniyaning geometrik kursatkichlariga asosan aniqlanadi.

Jadvalda har xil diametr uchun oqayotgan tokning qiymatiga bog'liq bulgan, tajribadan aniqlangan r_0 va $x_0 = x'_0 + x''_0$ ning qiymatlari keltirilgan. So'ngra kuchlanish isrofi quyidagi ifoda orqali topiladi va javob ruxsat etilgan kuchlanish isrofining qiymati bilan taqqoslanadi.

$$\Delta U_{\%} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i \cdot r_0 \cdot l_i + Q_i \cdot (x'_0 + x''_0) \cdot l_i}{U_n}$$

Shuni qayd qilish kerakki qizish bo'yicha ruxsat etilgan tok I_q ga acosan tanlangan o'tkazgichni kesim yuzasi odatda juda katta kuchlanish yo'qotilishga olib keladi.

Bunday natijada o'tkazgichni kesim yuzasini kattalashtirib, qaytadan kuchlanish isrofi bo'yicha tekshiriladi. Yakuniy kesim yuzasini tanlash bir qancha ketma-ket yaqinlashishlardan kelib chiqadi. Tokning iqtisodiy zichligiga asosan po'lat o'tkazgichlarni tanlash amaliyotda qo'llanilmaydi.

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

9. Elektrlashgan temir yo‘llar tortuvchi yuklamalarning elektr ta‘minoti

Tortuvchi nimstansiya (TP) bu elektr energiyasining iste‘molchi nim stansiyasi bo‘lib u elektrlashgan temir yo‘l, yer usti yo‘nalishi transporti, metropoliten, elektr tarmog‘ini yuqori sifatli elektr energiyasi bilan uzluksiz ta‘minlab turishga mo‘ljallangan. Tortuvchi nim stansiyalardan boshqa notortuvchi ist‘molchilar ham elektr energiyasi bilan ta‘minlanadilar. Tortuvchi nim stansiyasi kontakt tarmog‘i orqali transport vositalariga bog‘liq elektr tortish tizimlarining elektr ta‘minotini amalga oshiruvchi nimstansiyadir¹¹².

Tortuvchi nim stansiyalar quyidagi sifatlari bilan bir-biridan farqlanadi va bo‘linadi: -tashqi energiya ta‘minoti tizimiga ulanishlari bilan: tayanch (TP), oraliq - tranzit (TP), shahobcha yoki ulama (TP) va chekka yoki boshi berk (TP) tortuvchi nim stansiyalarga; - elektr tortishga xizmat ko‘rsatuvchi amaldagi elektr energiya tizimlari bilan: 1) 27,5 kV yuqori kuchlanishli 50 Gs chastotali o‘zgaruvchan tok tizimi; 2) 2x27,5 kV yuqori kuchlanishli 50 Gs chastotali o‘zgaruvchan tok tizimi; 3) 3,2 kV yuqori kuchlanishli o‘zgarmas tok tizimi; 4) o‘zgaruvchan tok va o‘zgarmas tok to‘qnashuvchi oraliq tizimiga ega tortuvchi nim stansiyalarga; - tok o‘zgartgich turlari bilan: o‘zgaruvchan tokni o‘zgarmas tokka aylantiruvchi to‘g‘rilagichli (TP) va to‘g‘rilagich ham inventarli (TP) tortuvchi nim stansiyalarga; -trasformatsiyalash usuli bilan: bir pog‘onalik yuqori kuchlanishi 6 kV, 10 kV, 35 kV va ikki pog‘onalik yuqori kuchlanishi 110 kV, 220 kV nim stansiyalarga; -tortuvchi nim stansiyalarga kirib keluvchi tarmoq kuchlanishi bilan: 6 kV, 10 kV, 35 kV 110 kV, 220 kV nim stansiyalarga; -boshqarish sxemasi bilan: masofadan - teleboshqaruvli nim stansiya, mikroprotessorli va kompyuterli boshqaruvli nim stansiya, teleboshqaruvsiz nim stansiyaga; - xizmat ko‘rsatish

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

usuli bilan: navbatchi xizmatchisi yo‘q nim stansiyaga, navbatchilikni uyda bajaradigan xizmatchili nim stansiya, muayyan navbatchi xizmatchili nim stansiyaga; -harakat turi bilan: turg‘un nim stansiya va harakatlanuvchi nim stansiyaga.

Tortuvchi nim stansiyalarga 35 kV kuchlanish kirib kelsa, o‘zgartgichga qarab $1,52 \div 3,79$ kV kuchlanish beradigan bir pog‘onali transformator o‘rnatiladi. Agar uning shinalarga 110 kV kuchlanish kirib kelsa, uni maxsus transformator yordamida avvalo 10 kV yoki 35 kVga pasaytirib beriladi¹¹³.

Tayanch tortuvchi nim stansiya (TP) elektr energiyani tashqi elektr taqsimoti tarmog‘idan soni ikki va undan ortiq bo‘lgan 35 kV, 110 kV yoki 220 kV kuchlanishli havo elektr uzatuvchi yo‘llardan oladi hamda tranzit, shahabcha va tupiksimon tortuvchi nim stansiyalarning elektr ta‘minoti tarmog‘ini elektr energiya bilan ta‘minlaydi.

Tranzit - oraliq tortuvchi nim stansiya (TP) tayanch nim stansiyalar elektr ta‘minotining ikki tarmog‘idan elektr energiyasini olib, kontakt tarmog‘ining tayanch stansiyalari oralig‘ini energiya bilan ta‘minlaydi.

Shaxobcha tortuvchi nim stansiya (TP) yopiq shaxobchalangan bo‘lib, tayanch nim stansiyalar elektr ta‘minotining ikki tarmog‘idan elektr energiyasini olib, kontakt tarmog‘ining tranzit tortuvchi nim stansiyalari oralig‘ini energiya bilan ta‘minlaydi.

Tupiksimon - boshi berk tortuvchi nim stansiya (TP) boshqa tortuvchi nim stansiyalar elektr ta‘minotining ikki tarmog‘idan elektr energiyasini olib, kontakt tarmog‘ining mazkur nim stansiyasigacha bo‘lgan oralig‘ini energiya bilan ta‘minlaydi.

Pasaytirgich nim stansiya SSB qurilmalarining elektr ta‘miniga va notortuvchi elektr iste‘molchilarga mo‘ljallangandir. Temir yo‘l bo‘ylab qayerga joylashganiga qarab bekat xo‘jaliklari, tonnel, depo xo‘jjatlarini qondirish uchun

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

10 kV li yuqori kuchlanishni 400 V va 230/133 V kuchlanishga aylantirib beradi. Bunday kuchlanish yoritish yuklamalarida ham ishlatiladi.

Ba'zi hollarda tortuvchi nim stansiya boshqa elektr ta'minoti qurilmalari bilan birlashtirib uyg'unlashtiriladi: jumladan, rayon nim stansiyasi bilan, yoki kontakt tarmog'i distansiyasi bilan, yo ularning navbatchilik punktlari bilan. Bunday nim stansiya birlashgan tortuvchi nim stansiya deb ham yuritiladi¹¹⁴.

9.1. O'zgaras va o'zgaruvchan toklarda elektr tortishni ta'minlash xususiyatlari

Elektrlashgan temir yo'l elektr ta'minoti qurilmalari yuqori kuchlanishli (110, 220 kV) uch fazali o'zgaruvchan tok tarmoqlaridan ta'minlanadi. Elektr harakat tarkibida o'zgaras tok yuritgichlari qo'llanilgani uchun elektr ta'minoti tizimida kuchlanishni transformatsiyalash va uch fazali o'zgaruvchan tokni o'zgaras toka aylantirish ko'zda tutilgan. Elektr ta'minoti tizimining ikki turi mavjud.

O'zgaras tok tizimida uch fazali o'zgaruvchan tokni o'zgaras tokka aylantirish tortuvchi nimstansiyalarda amalga oshiriladi va bu maqsadda u yerda o'rnatilgan yarim o'tkazgichli (kremniyli) to'g'rilagichlardan foydalaniladi. O'zgaras kuchlanish kontakt tarmog'iga uzatiladi va undan o'zgaras tok elektrovozlarining tortuvchi yuritgichlariga beriladi. Bunday tizimlarning asosiy kamchiliklaridan biri tortuvchi yuritgich kollektoridagi eng katta ruxsat etilgan kuchlanish qiymati cheklanganligi tufayli kontakt tarmoqdagi kuchlanishning nisbatan kichikligidadir (3 kV). Shuning uchun o'zgaras tok tortuvchi nimstansiyalari orasidagi masofalar unchalik uzoq emas va yo'l bo'laklaridagi yuklama kattaligiga qarab 15-20 km ni tashkil etadi.

So'nggi vaqtlarda elektrlashgan temir yo'llarning ba'zi bo'laklarida tortuvchi yuklama birmuncha ortganligi poezdlar vaznining ortishiga olib keldi

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

va bu o'z navbatida elektrovozlar quvvatini oshirishni toqozo etadi. Og'ir yukli sostavlarni tortish uchun ayniqsa, qiya uzun yo'llarda yuqoriga tortish chog'ida bir nechta elektrovozlardan foydalanishga to'g'ri keladi. Bunday sharoitlarda kontakt osmalari simlarining kesim yuzasini oshirish yoki tortuvchi nimstansiyalar orasidagi masofani qisqartirish talab etiladi.

O'zgarmas tok tortuvchi nimstansiyalari yuklamalari simmetrik, shuning uchun ularning energotizim tarmoqlaridan ta'minlanishi shartlari rayon istemolchilarini ta'minlovchi nimstansiyalar shartlaridan unchalik farq qilmaydi. O'zgaruvchan tokni to'g'rilagichlarning ish xususiyatlaridan yuzaga keluvchi yuqori garmonikalarning tok va kuchlanishlar tarkibida mavjudligi ba'zi bir mushkulliklarni keltirib chiqaradi¹¹⁵.

O'zgaruvchan tok elektr ta'minoti tizimida o'zgaruvchan tokni to'g'rilash elektrovozda amalga oshiriladi. Tortuvchi nimstansiyalarda energotizimning ta'minlovchi tarmog'idagi 110 yoki 220 kV kuchlanishni kontakt tarmog'idagi 25 kV kuchlanishga pasaytirib beruvchi transformator o'rnatiladi. Transformatorning ikkilamchi chulg'ami uchburchak sxema bilan ulangan bo'lib, uchburchakning bir uchi relslarga, qolgan ikkitasi qaralayotgan nimstansiyadan o'ng va chap tomonlardagi kontakt tarmoq bo'laklarini ta'minlash uchun kontakt simlariga ulanadi (9.1 - rasm).

O'zgaruvchan tok elektrovozlari bitta fazadan ta'minlanadigan qilib bajarilgan, shuning uchun nimstansiya va energotizimning yuqori kuchlanishli tarmog'i transformatorlari uchun nosimmetrik yuklama hisoblanadi.

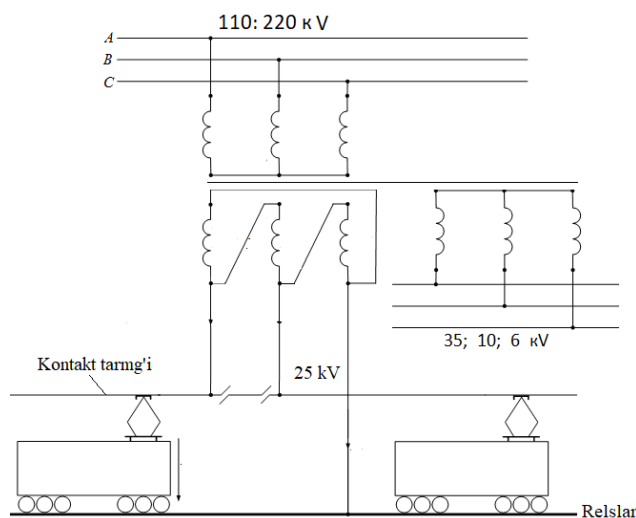
Nisbatan yuqori kuchlanish (25 kV) qo'llanilishi sababli o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiyalari orasidagi masofa kattaroq, taxminan 40-60 kilometrni tashkil etadi. Tayanch nimstansiyalarni imkon qadar elektr tizimlarning rayon nimstansiyalari atrofida barpo etiladi.

Tortuvchi nimstansiyalar transformatorlari odatda yaqin atrof

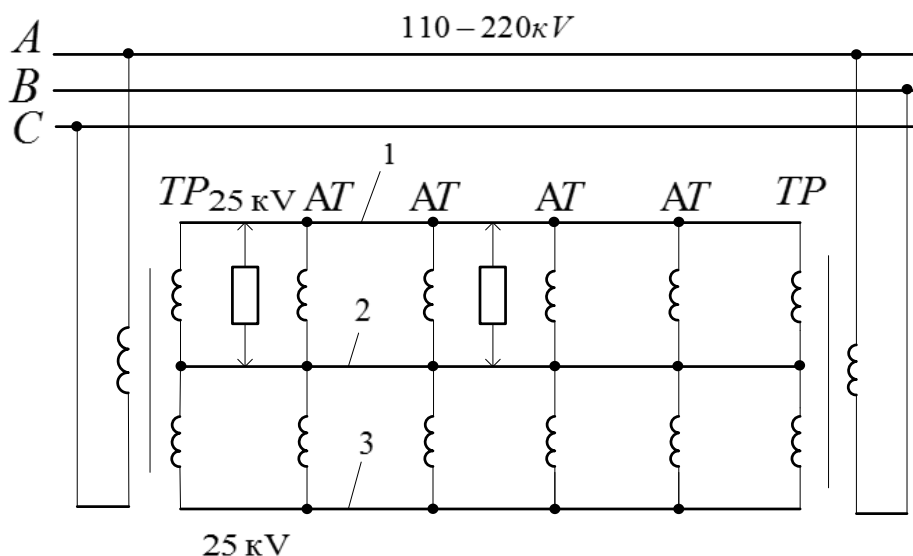
²

Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

hududlaridagi yuklamalarni ta'minlash uchun uchinchi chulg'amga ega. Elektr tortishning nossimetrik yuklamasi rayon iste'molchilarning ishlash sharoitlarini qiyinlashtiradi va shuningdek ta'minlovchi tarmoqdagi tok va kuchlanishlarning sifatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi.



9.1 – rasm. O'zgaruvchan tokda tortuvchi nimstansiyaning sxemasi



9.2 – rasm. Kuchlanishi 2*25 kV tortuvchi tarmoq bo'lagining uch simli sxemasi: 1 – kontakt simi; 2 – rels; 3 – ta'minlovchi sim

O'zgaruvchan tokda elektrlashgan temir yo'lining o'tkazish qobiliyatini oshirish uchun kuchlanishi 2x25 kV bo'lgan yangi tizim ishga tushirilgan (9.2 – rasm). Bu tizimda 25 kV kuchlanish ostida bo'lgan kontakt sim 1 dan tashqari shu kontakt simdagi kuchlanish bilan qarama-qarshi fazada bo'lgan va huddi shunday kattalikdagi kuchlanishga ega bo'yлама ta'minlovchi sim 3 montaj

qilingan. Shunday qilib, energiya uzatuvchi umumiy kuchlanish elektrovozdagiga qaraganda ikki marta ko'p bo'ladi. Elektrovozlar ta'minlanishini amalga oshiruvchi mazkur bir simli tizimlar (kontakt sim-rels va rels-ta'minlovchi sim) orasidagi elektromagnit bog'lanish tortuvchi nimstansiya TP lar orasidagi peregonda biri-biridan 10-15 km masofada o'rnatilgan bir fazali avtotransformator AT lar yordamida amalga oshiriladi.

9.2. Yuqori kuchlanish bo'ylama liniyasining tortuvchi yuklamasi

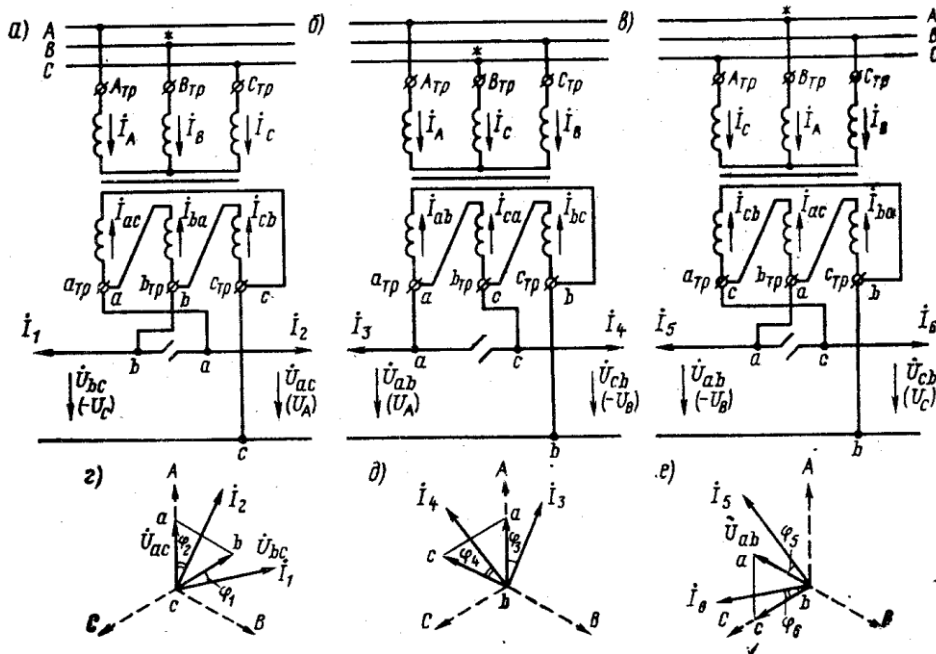
Tortuvchi nimstansiyalar transformatorlarining ishlash shartlarini ko'rib chiqamiz (9.3-rasm). Avval transformatorning uchinchi chulg'amidan ta'minlanuvchi mahalliy (rayon) iste'molchilar yuklamalarining ta'sirini hisobga olmaymiz. Agar elektrovozlardagi toklarning musbat yo'nalishi deb kontakt simdan relsga yo'nalishini, ya'ni energiya uzatilishiga mos keluvchi yo'nalish qabul qilinsa, u holda kontakt tarmog'ida qaralayotgan nimstansiyadan chap va o'ng tomonga ketuvchi toklar musbat yo'nalishli bo'ladi.

Transformator chulg'amlarining ulanish sxemasi $U_N/D-11$ guruhiga mos holda bajarilgan. Yuqori kuchlanish chulg'amlari (110 yoki 220 kV) yulduz sxemaga ko'ra ulangan va A_{TP} , B_{TP} , S_{TP} deb belgilangan; tortuvchi chulg'am chiqishlari (25 kV) uchburchak sxemaga ko'ra ulangan va a_{TP} , b_{TP} , s_{TP} deb belgilangan. Qaralayotgan nimstansiyaning barcha transformatorlari shartli ravishda bitta ekvivalent transformator bilan almashtirilgan.

Tortuvchi yuklamalar yuzaga keltiruvchi toklar nosimmetrikligini kamaytirish uchun tortuvchi nimstansiyalarni ta'minlovchi liniyaga ulashning fazalari almashtirilgan uchta sxemasi qo'llaniladi (9.3 – rasmga qarang).

Tortuvchi nimstansiya I turining ishlash shartini ko'ramiz. Faraz qilamiz, tok va kuchlanishlar sinusoidal. Elektr tortish yuklamasi ma'lum, ya'ni kontakt tarmoqni ta'minlovchi toklar I_1 va I_2 ning qiymatlari va siljish burchaklari ma'lum. Transformatorning uchburchak sxema bo'yicha ulangan ikkilamchi chulg'amidagi toklarni topish uchun "a" va "b" tugundagi toklar uchun

tenglamalar tuzamiz:



9.3 – rasm. Ta'minlovchi uch fazali liniya va tortuvchi tarmoqqa I (a), II (b), III (v) tipdagi nimstansiyalarni ulash sxemalari; tok va kuchlanishlarning vektor diagrammalari (g,d,e)

$$\dot{I}_{SB} - \dot{I}_{BA} = \dot{I}_1; \quad \dot{I}_{BA} - \dot{I}_{AS} = \dot{I}_2. \quad (9.1)$$

Berk uchburchak uchun faza kuchlanishlar yig'indisi nolga tengligini va chulg'amlar qarshiliklari tengligini hisobga olgan holda quyidagini olamiz:

$$\dot{I}_{AS} + \dot{I}_{SB} + \dot{I}_{BA} = 0 \quad (9.2)$$

(9.1) va (9.2) tenglamalarni birgalikda echib faza toklarini aniqlaymiz:

$$\dot{I}_{BA} = (\dot{I}_2 - \dot{I}_1)/3; \quad \dot{I}_{AC} = (-\dot{I}_1 - 2\dot{I}_2)/3; \quad \dot{I}_{CB} = (2\dot{I}_1 + \dot{I}_2)/3. \quad (9.3)$$

Ikki kuchlanishli tarmoqlarni hisoblash chog'ida toklar va barcha parametrlarni kuchlanishlardan biriga nisbatan olinadi (keltiriladi). Qaralayotgan transformator chulg'ami U_N/D ulanish sxemasiga ega bo'lgani uchun transformatsiya koeffitsienti:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \sqrt{3} U_{1f} / U_2 = \sqrt{3} w_1 / w_2,$$

bunda w_1 - yulduz sxema bo'yicha ulangan yuqori kuchlanish (BN) chulg'am

o‘ramlari soni; w_1 - uchburchak sxema bo‘yicha ulangan o‘rta kuchlanish (SN) chulg‘aming o‘ramlari soni.

Salt ishlash tokini hisobga olmagan holda quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\dot{I}_A w_1 = -\dot{I}_{CA} w_2,$$

bundan yuqorida keltirilgan munosabatlar asosida A liniya tokini topamiz:

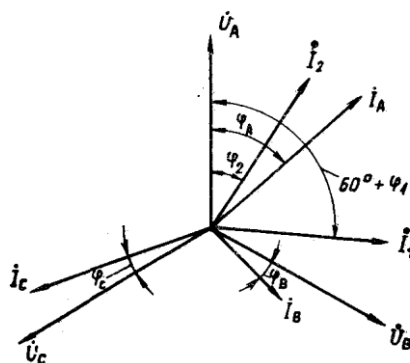
$$\dot{I}_A w_1 = -\dot{I}_{SA} w_2 / w_1 = -\sqrt{3} \dot{I}_{SA} / K = -\sqrt{3} \dot{I}_{AS}.$$

Shuning uchun transformatorning birlamchi chulg‘amlaridagi toklari, ya’ni tortuvchi nimstansiyaning ta’minlovchi uch fazali liniya fazalari yuklamasi (9.3 – rasmga qarang) mos holda quyidagilarga teng:

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= -\sqrt{3} \dot{I}_{AS} = (\dot{I}_1 + 2\dot{I}_2) / \sqrt{3}; \\ \dot{I}_B &= -\sqrt{3} \dot{I}_{BA} = (\dot{I}_1 - \dot{I}_2) / \sqrt{3}; \\ \dot{I}_S &= -\sqrt{3} \dot{I}_{SB} = (-2\dot{I}_1 - \dot{I}_2) / \sqrt{3}.\end{aligned}\tag{9.4}$$

Bu toklar nosimmetrik bo‘lib, ular o‘zaro teng emas va kuchlanish vektorlariga nisbatan turli burchaklarga siljigan (9.4 – rasm). Transformatorning uchburchak sxema bilan ulangan ikkilamchi chulg‘amida **as** va **bs** fazalar eng katta yuklangan, chunki ular tortuvchi yuklamani ta’minlovchi kontakt tarmoq bo‘laklariga bevosita ulangan. Bu fazalar transformatorning birlamchi chulg‘ami A va B fazalari bilan magnit bog‘lanishga ega va ishchi fazalar deb ataladi. Shuning uchun I turdagi tortuvchi nimstansiyaning ta’minlovchi uch fazali liniyalar yuklamalari tarkibida $\dot{I}_A$ va $\dot{I}_S$ toklar eng katta qiymatli bo‘ladi.

Vektor diagramma (9.4 – rasm) dan ko‘rinib turibdiki, A faza toki $\dot{I}_A$ kuchlanishi U_A dan ancha orqada qoladi, ya’ni bu tok katta reaktiv tashkil etuvchiga ega. S faza toki $\dot{I}_S$ ning kuchlanish U_S ga nisbatan siljish burchagi uncha katta emas, ya’ni bu tokda aktiv tashkil etuvchi nisbatan katta qiymatga ega.



9.4 – rasm. I – tipdagi tortuvchi nimstansiyadan ta'minlovchi bo'ylama liniya yuklamasi toklarining vektor diagrammasi

Tortuvchi chulg'amda **av** faza kontakt tarmog'iga bevosita ulangan . Bu faza boshqa fazalar bilan uchuburchak hosil qilgani uchun undan ham tok o'tadi, lekin bu faza boshqalariga nisbatan ancha kam yuklangan. Yuqori kuchlanish chulg'ami B fazasi ham yuklamaga ega bo'ladi va u bo'sh faza deb yuritiladi¹¹⁶.

Shunday qilib, o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiyasi uni ta'minlovchi yuqori kuchlanish uch fazali liniyasi uchun nosimmetrik yuklamani hosil qiladi. Shuning uchun elektr ta'minoti sxemasini hisoblash simmetrik tashkil etuvchilar usuliga ko'ra amalga oshirilishi kerak.

Yuqori kuchlanish uch fazali liniyasining to'g'ri ketma-ketlik toki:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{to'g'} &= \frac{1}{3}(\dot{I}_A + a \dot{I}_B + a^2 \dot{I}_C) = \frac{1}{3\sqrt{3}}(\dot{I}_1 + 2\dot{I}_2 + a\dot{I}_1 - \dot{I}_2 - a\dot{I}_2 - 2a^2\dot{I}_1 - a^2\dot{I}_2) = \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}}(-a^2\dot{I}_1 + \dot{I}_2) = \frac{1}{\sqrt{3}}(\dot{I}_1 e^{-j\varphi_1} + \dot{I}_2 e^{-j\varphi_2}), \end{aligned} \quad (9.5)$$

bunda $a = e^{j120^\circ}$; $-a^2\dot{I}_1 = e^{j180^\circ} \cdot e^{j240^\circ} \dot{I}_1 e^{j(-60^\circ - \varphi_1)} = \dot{I}_1 e^{-j\varphi_1}$

To'g'ri ketma-ketlik tokining kompleks quvvati qiymati:

$$S_{to'g'} = 3\dot{U}_{to'g'} \dot{I}_{to'g'} = 3\dot{U}_{to'g'}(\dot{I}_1 e^{j\varphi_1} + j\dot{I}_2 e^{j\varphi_2})/\sqrt{3} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 ,$$

ya'ni tortuvchi nimstansiyaning yuqori kuchlanish (TN) shinalarida simmetrik kuchlanish bo'lganda uch fazali liniya yuklamasida to'g'ri ketma-ketlik quvvati

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

shu liniyadagi simmetrik va nosimmetrik iste'molchilarning ular fazalar bo'yicha taqsimlanganligini hisobga olinmagan holdagi quvvatlari yig'indisiga teng. Bu yuklamalar tarkibiga kontakt tarmog'idagi, mahalliy taqsimlash tarmog'idagi va tortuvchi nimstansiya transformatorlaridagi quvvat isroflarini ham kiritish lozim¹¹⁷.

Elektr tortishning yuklamalari nossimetrikligi teskari ketma-ketlik tokining yuzaga kelishida namayon bo'ladi.

$$\begin{aligned}\dot{I}_{tes} &= \frac{1}{3}(\dot{I}_a + a^2 \dot{I}_b + a \dot{I}_c) = \frac{1}{\sqrt{3}}(\dot{I}_1 + 2\dot{I}_2 + a^2 \dot{I}_1 - a^2 \dot{I}_2 - 2a \dot{I}_1 - a \dot{I}_2) = (-a \dot{I}_1 + \dot{I}_2) / \sqrt{3} = \\ &= (\dot{I}_1 e^{j(-120^\circ - \varphi_1)} + \dot{I}_2 e^{-j\varphi_2}) / \sqrt{3}\end{aligned}\quad (9.6)$$

bunda $-a \dot{I}_1 = e^{-j180^\circ} e^{j120^\circ} \dot{I}_1 e^{j(-60^\circ - \varphi_1)} = \dot{I}_1 e^{j(-120^\circ - \varphi_1)}$

Quyida ikki hususiy holni ko'ramiz.

1. Qaralayotgan tortuvchi nimstansiyadan ta'minlanuvchi kontakt tarmoq bo'laklari yuklamalari bir xil:

$$\dot{I}_1 e^{j\varphi_1} = \dot{I}_2 e^{-j\varphi_1} = \dot{I}_T e^{-j\varphi_1}$$

Ifodalar (9.5) va (9.6) ga ko'ra nimstansiya yuklamalarining to'g'ri va teskari ketma-ketliklari toklari:

$$\dot{I}_{to'g'} = \frac{2}{\sqrt{3}} \dot{I} e^{-j\varphi_T}; \quad \dot{I}_{to'g'} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{I}_T e^{-j\varphi_T}$$

Bundan ko'rinib turibdiki, teskari ketma-ketlik toki to'g'ri ketma-ketlik tokining yarmiga teng ekan: $I_{tes} = 0,5 I_{to'g'}$.

2. Kontakt tarmoq bo'laklaridan biri yuklamasi nolga teng: $I_2 = 0$. U holda (9.5) va (9.6) ifodalarga ko'ra teskari ketma-ketlik toki to'g'ri ketma-ketlik tokiga teng: $I_{tes} = I_{to'g'}$.

Umumiy holda kontakt tarmoq bo'laklari yuklamalari bir xil bo'lmaganda teskari ketma-ketlik toki qiymatlari quyidagi oraliqda bo'ladi: $0,5 I_{to'g'} \leq I_{tes} \leq I_{to'g'}$.

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

Shunday qilib, o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiya yuklamasi nosimmetrik ekan. Toklarning nosimmetrikligi liniya simlari va transformatorning qo'shimcha qizishini keltirib chiqaradi. Bo'ylama liniya odatda bir nechta tortuvchi nimstansiyaning ta'minlaydi. Tortuvchi nimstansiya transformatorlarining chulg'amlarini bo'ylama liniya fazalariga ulash sxemasini o'zgartirib tortuvchi yuklama tokini sezilarli darajada simmetriklash mumkin, bu o'z navbatida tortuvchi nimstansiya shinalarida shuningdek elektr tarmoqlarida kuchlanish nosimmetrikligining kamaytirilishiga olib keladi¹¹⁸.

Buning uchun kam yuklangan fazalarning navbatma-navbat ulanish sxemalarini qo'llash kerak. Kontakt tarmoq bo'laklari yuklamalari teng bo'lgan chog'da tortuvchi nimstansiyalarning teskari ketma-ketlik toklari 120° ga siljigan bo'ladi va uchta nimstansiyalar toklari yig'indisida teskari ketma-ketlik toklari bo'lmaydi.

Shuning uchun qo'shni uchta nimstansiyalarning yuklamalari yig'indisi simmetrik bo'ladi.

Nimstansiyaning I tip ulanish sxemasida uning B fazasi eng kam yuklangan (9.3 – rasimga qarang). Shuning uchun qo'shni nimstansiyalarda shunday ulanish sxemalarini qo'llash kerakki, bunda S va A fazalar eng kam yuklangan bo'lishi kerak..

Ma'lumki, transformator tortuvchi chulg'aming eng kam yuklangan fazasi - bu kontakt tarmoq bo'lagini bevosita ta'minlamaydigan fazasidir.

Masalan, II tip sxema bo'yicha ulangan nimstansiyada transformator ikkilamchi chulg'aming A_{TP} va B_{TP} qisqichlari orasidagi faza eng kam yuklangan. Bu faza bilan transformatorning B_{TP} qisqichiga ulangan birlamchi chulg'ami magnit bog'langan. III tip sxema bo'yicha ulangan nimstansiyada S faza eng kam yuklanishi uchun qisqich B_{TP} ni shu fazaga ulash kerak.

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

Xuddi shunday, III tip sxema bo'yicha ulangan tortuvchi nimstansiyada qisqich B_{TP} ni A fazaga ulash kerak¹¹⁹.

Tortuvchi nimstansiyaning II va III tip sxemalari bo'yicha (9.4) – (9.6) ifodalarga o'xshash tenglamalar yordamida bajarilgan hisoblashlar natijalari, shuningdek I tip sxemaga ko'ra ulangan nimstansiya uchun ma'lumotlar 9.1 – jadvalda keltirilgan. Bu jadvalda tortuvchi nimstansiyalarning tokli yuklamalari bo'yicha bo'ylama ta'minlovchi liniya toklari hisoblangan.

9.1 - Jadval

Tortuvchi nimstansiya	Faza toklari			To'g'ri ketma-ketlik toki, $i_{T\check{y}F}$	Teskari ketma-ketlik toki, i_{rec}
	$\sqrt{3} i_A$	$\sqrt{3} i_B$	$\sqrt{3} i_C$		
I	$\dot{I}_1 + 2\dot{I}_2$	$\dot{I}_1 - \dot{I}_2$	$-2\dot{I}_1 - \dot{I}_2$	$I_1 e^{i\varphi_2} + I_2 e^{-i\varphi_1}$	$I_1 e^{-i(120^\circ)\varphi_1} + I_2 e^{-i\varphi_2}$
II	$2\dot{I}_3 + \dot{I}_{42}$	$-\dot{I}_3 - 2\dot{I}_4$	$-\dot{I}_3 + 2\dot{I}_4$	$I_3 e^{-i\varphi_3} + I_4 e^{-i\varphi_4}$	$I_3 e^{i\varphi_3} + I_4 e^{i(120^\circ - \varphi_4)}$
III	$\dot{I}_5 - \dot{I}_6$	$-2\dot{I}_5 - \dot{I}_6$	$2\dot{I}_5 + \dot{I}_6$	$I_5 e^{-i\varphi_5} + I_6 e^{-i\varphi_6}$	$I_5 e^{i(120^\circ - \varphi_5)} + I_6 e^{i(120^\circ - \varphi_6)}$

Elektrlashgan temir yo'llarda o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiyalari parallel ishlaydi, chunki ular kontakt tarmoq bilan ulangan bo'ladi. Shuning uchun ikki qo'shni tortuvchi nimstansiyalarning mos liniya kuchlanishlari teng bo'lishi va faza bo'yicha farq qilmasligi kerak. Ba'zi hollarda bunga tortuvchi nimstansiyalardan kontakt tarmoq bo'laklariga boruvchi fiderlarni ayqashtirish bilan ham erishiladi.

9.3 – rasmda qavs ichida transformatorning birlamchi tomonidagi faza kuchlanishlari parallel ishlayotgan ikki tortuvchi nimstansiya transformatorlari tortuvchi chulg'amlarining liniya kuchlanishlari fazasi bilan taqqoslangan holda ko'rsatilgan.

Tortuvchi nimstansiyalarning 25kV kuchlanishga mo'ljallangan

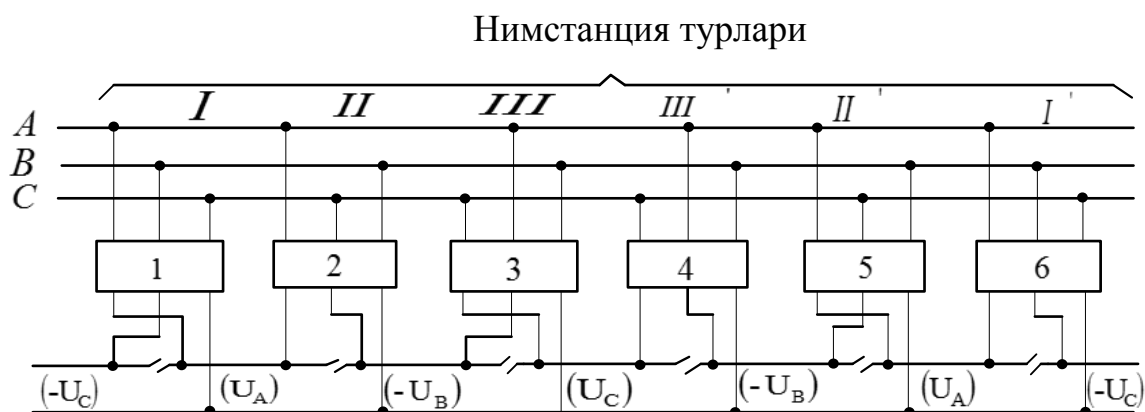
² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

taqsimlash qurilmalarini bir tipda yasash uchun (bu loyihalash va montaj ishlarini osonlashtiradi) transformator tortuvchi chulg'aming S_{TP} qisqichini doimiy holda relslar bilan ulanadi.

Elektr ta'minoti ishonchligiga ko'ra elektr tortish birinchi toifa yuklamalarga kiradi. Shuning uchun tortuvchi nimstansiyalar qoidaga ko'ra elektr stansiyalar yoki enyergotizimning katta quvvatli rayon nimstansiyalaridan ikki tomonlama ta'minlangan bo'lishi kerak¹²⁰.

Tortuvchi nimstansiyalar bir tomondan ta'minlanganda elektr uzatish liniyasi ikki zanjirli bo'lishi kerak.

Agar qaralayotgan bo'lakda bo'ylama liniya yuqori kuchlanishi (YK) bir xil quvvatli oltita nimstansiyaning ta'minlayotgan bo'lsa, uch fazali bo'ylama ta'minlash manbai yuklamasi deyarli simmetrik bo'ladi (9.5 – rasimga qarang).



9.5 – rasm. Bo'ylama uch fazali liniyadan ikki tomonlama ta'minlangan oltita tortuvchi nimstansiyalarning ulanish sxemasi

Bunda nimstansiya 4 ning fazalarga ulanishini III tip bo'yicha amalga oshiriladi, ammo tortuvchi tarmoqqa ulanish boshqacha bajariladi, ya'ni nimstansiya 4 da fiderlar ayqashtirilmaydi bu esa nimstansiyalar 3 va 4 orasidagi bo'lakda ularni ayni bir ta'minlovchi faza (U_s) ga ulash imkonini beradi.

Shuningdek tortuvchi nimstansiyalar 5 va 6 da ham ularning fazalanishi

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

mos holda II va I tip bajarilishi va fiderlarning tortuvchi tarmoqqa ulanishi o'zgartirilishi kerak¹²¹.

Agar nimtsansiyalar soni 4 ta yoki 5 ta bo'lsa toklarning simmetrikligini ta'minlash mutlaqo mumkin emas. Aslini olganda tortuvchi nimstansiyalar iste'mol qiluvchi quvvatlar har doim ham bir xil bo'lavermaydi. Quvvat vaqt bo'yicha o'zgarib turadi va juda kam hollardagina biri biriga teng bo'ladi. Shuning uchun hattoki uchta yoki oltita tortuvchi nimstansiya bo'lganda ham tok simmetrikligiga to'liq erishilmaydi; bu holda o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiyalarni ta'minlovchi elektr tizim tarmoqlari fazalari bo'yicha notekis yuklangan bo'ladi.

9.3. Bo'ylama elektr ta'minoti liniyalarini elektr hisoblash

Bo'ylama elektr ta'minoti liniyalarini elektr hisoblashni to'rtta nimstansiyaning ikki tomonlama ta'minlash sxemasi namunasida (9.6, a - rasm) ko'ramiz. Ikki chetdagi a va g (tayanch) nimstansiyalarning har biri ikki parallel liniyalar bo'yicha enyergotizim rayon nimstansiyalarning 110 yoki 220 kV kuchlanishli shinalaridan ta'minlanadi.

Tortuvchi nimstansiyalarning ta'minlash sxemalaridagi tok va kuchlanishlarni aniqlash uchun ikkita hisobiy almashtirish sxemasini tuzamiz: to'g'ri va teskari ketma-ketliklar (9.6, b va v - rasm).

To'g'ri ketma-ketlik sxemasida ta'minlash punktlari simmetrik o'zgarmas kuchlanish (e.yu.k.) E_A va E_B lar va ekvivalent qarshilik Z_A va Z_B lar orqali ko'rsatilgan.

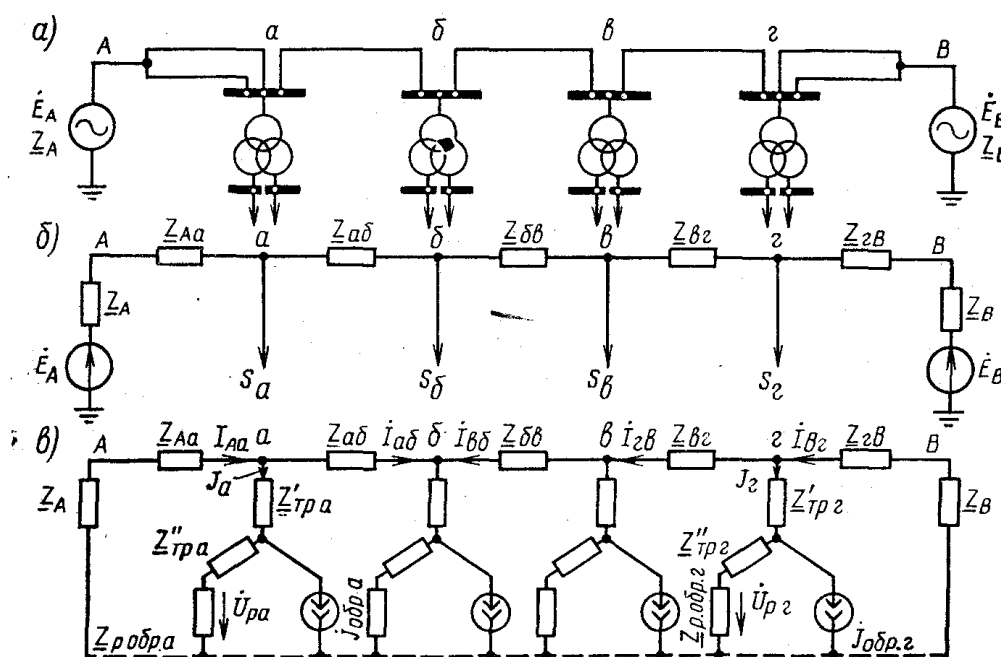
To'g'ri ketma-ketlik sxemasini (9.6, b - rasm) hisoblash faza yuklamalari bir tekis bo'lgandagi ta'minlash tarmog'ini odatdagi hisoblashdan hech bir farq qilmaydi. Avval nimstansiyalar ulangan nuqtalardagi hisobiy yuklamalar S_a, S_b, S_v, S_g aniqlanishi kerak. Ular kontakt va taqsimlash (mahalliy)

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

tarmoqlardagi quvvat isrofini o'z ichiga olgan tortuvchi va rayon iste'molchilar yuklamalaridan iborat. Shuningdek tortuvchi nimstansiya transformatorlaridagi quvvat isrofi va yuqori kuchlanish liniyalari tabiiy sig'imi reaktiv quvvatini ham hisobga olinadi¹²².

To'g'ri ketma-ketlik sxemasida tortuvchi yuklama fazalar bo'yicha birmuncha tekis taqsimlangan. Ta'minlovchi tarmoqni hisoblash chog'ida bajariladigan barcha hisoblashlar yuklamalar (toklar emas) quvvat ko'rinishida hisobga olingan holda bajariladi.

Teskari ketma-ketlik sxemasida (9.6, v – rasm) uch fazali liniyalar qarshiliklari bilan mos tushadi. Generatorlar va elektr yuritgichlar (mahalliy tarmoq yuklamalari) ning teskari ketma-ketlik qarshiliklari to'g'ri ketma-ketlik qarshiliklaridan sezilarli darajada farq qiladi.



9.6 – rasm. Bo'yлама liniya (a) va uning to'g'ri (b) va teskari (v) ketma-ketliklar toklari uchun almashtirish sxemasi

Asinxron yuritgichning teskari ketma-ketlik reaktiv qarshiligi uning to'g'ri ketma-ketlik reaktiv qarshiligining 0,2-0,35 ulushini tashkil etadi. Aktiv

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

qarshilik uchun bu nisbat taxminan 0,1 ga teng. To'g'ri va teskari toklarga yoritish, to'g'rilash qurilmalari va elektr pechlarning uch fazali yuklamalari qarshiliklari bir xil.

Tahminiylar hisoblashlarda odatda mahalliy tarmoqlar yuklamalarining teskari ketma-ketlik to'liq qarshiligi sof reaktiv deb qabul qilinadi, uning nisbiy kattaligi $x^*=0,35$ ga teng, omlardagi qiymati quyidagicha:

$$X_{tes} = 0,35 U_{nom}^2 / \underline{S}_P, \quad (9.7)$$

bunda U_{nom} - nominal kuchlanish; $\underline{S}_P$ - yaqin atrofdagi yuklamalarning to'liq quvvati.

Teskari ketma-ketlik sxemasida (9.6,v – rasmga qarang) ta'minlash manbalari E.Yu.K. lari yo'q, chunki ular simmetrik va teskari ketma-ketlik tashkil etuvchilariga ega emas. Elektr tortishning nosimmetrik yuklamasi manbaning bunday sxemasida teskari ketma-ketlik tokini yuzaga keltiradi.

Qo'rilayotgan tortuvchi yuklamaning teskari ketma-ketlik toki $I_{tes,K}$ (bunda K – nimstansiya raqami) kattaligi qaralayotgan nimstansiyadan ta'minlanuvchi kontakt tarmoq bo'laklari yuklmalari nisbatiga bog'liq. Teskari ketma-ketlik tokining siljish burchagi tortuvchi nimstansiyalarning transformatorlarini bo'ylama uch fazali liniyaga va kontakt tarmog'iga ulash usullariga (9.3 – rasm va 9.1 – jadvalga qarang) bog'liq. 9.6, v – rasmdagi sxemada teskari ketma-ketlik tok va kuchlanishlarini topish uchun tok $I_{tes,K}$ manbalarini va ularni shuntlovchi qarshiliklar $\underline{Z}_{PK} = \underline{Z}_{TPK} + \underline{Z}_{PTES,K}$ ni mos holda qarshiliklar $\underline{Z}_{PK}$ ga ketma-ket ulangan ekvivalent e.yu.k lar:

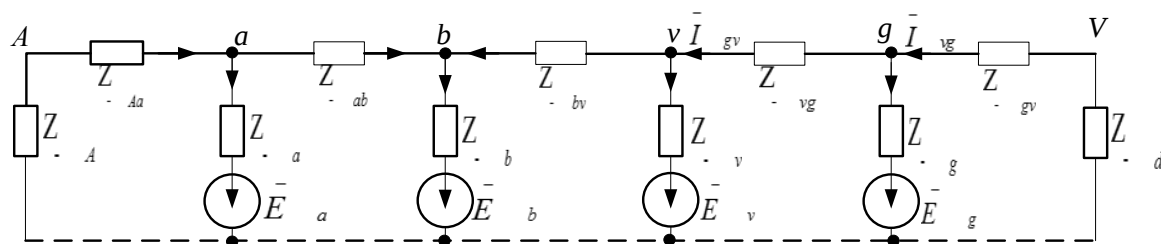
$$\dot{E}_K = \dot{I}_{TES,K} \underline{Z}_{P,K} \quad (9.8)$$

bilan almashtirish tavsiya etiladi. U holda ekvivalent e.yu.k lar $\dot{E}_K$ bilan to'liq qarshiliklar ketma-ket ulangan bo'ladi (9.7 – rasm):

$$\underline{Z}_K = \underline{Z}_{TPK} + \underline{Z}_{P,K} \quad (8.9)$$

9.7- rasmda keltirilgan teskari ketma-ketlikning o'zgartirilgan sxemasini

hisoblashni tugun kuchlanishlar usuli bilan bajarish tavsiya etiladi¹²³.



9.7. – rasm. Teskari ketma-ketlik toklari uchun o‘zgartirilgan almashtirish sxemasi

Toklar uchun qabul qilingan musbat yo‘nalishlarda teskari ketma-ketlik kuchlanishlari manfiy bo‘ladi va tok bo‘linish nuqtasi b ga yaqinlashgan sari (9.6, v – rasmga qarang) orta boradi. Tortuvchi nimstansiyalarining rayon yuklamalari shinalaridagi teskari ketma-ketlik kuchlanishlari muhim ahamiyatga ega; bu kuchlanish mahalliy tarmoqlar yordamida tortuvchi nimstansiyalar shinalaridan ta‘minlanuvchi korxonalar elektr yuritgichlarining ishlash shartlarini aniqlab beradi. Bu kattalik nimstansiya b shinalarida eng katta bo‘ladi.

Generatorlar, trasformatorlar, liniyalar va elektr energiya istemolchilari fazalari yuklamasini sxemadagi to‘g‘ri va teskari ketma-ketliklar toklarini bilgan holda aniqlash mumkin:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{TO'G'} + \dot{I}_{TES}; \quad \dot{I}_B = a^2 \dot{I}_{TO'G'} + a \dot{I}_{TES}; \quad \dot{I}_S = a \dot{I}_{TO'G'} + a^2 \dot{I}_{TES}.$$

Bundan tashqari toklar nosimmetrik koeffitsientlari kompleks qiymatini topish mumkin:

$$\alpha_A = \dot{I}_{TES} / \dot{I}_{TO'G'} \quad (8.10)$$

Kuchlanishlar:

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{TO'G'} + \dot{U}_{TES}; \quad \dot{U}_B = a^2 \dot{U}_{TO'G'} + a \dot{U}_{TES}; \quad \dot{U}_C = a \dot{U}_{TO'G'} + a^2 \dot{U}_{TES}$$

Kuchlanishlar nosimmetriklik koeffitsienti:

²

Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

$$\dot{\alpha}_U = \dot{U}_{TES} / \dot{U}_{TOG} \quad (9.11)$$

Nosimmetrik toklar va kuchlanishlar elektr tizimining alohida elementlari ishiga qanday ta'sir etishini ko'raylik. Generatorlarning yuklamasi nosimmetrikligi qizishning ortishiga va uning alohida qismlarining titrashi kuchayishiga olib keladi.

GOST 183-74 ga binoan turbo va gidrogeneratorlar fazalaridagi toklar farqi faza nominal toklaridan 10% ga kam bo'lgan holda uzoq muddatli ishlashga ruxsat etiladi. Shu bilan birga biror bir fazadagi tok nominal qiymatdan katta bo'lmashligi kerak¹²⁴.

Elektr tortish yuklamasi odatda energetik tizim umumiy yuklamasining katta bo'lmagan qismini tashkil etadi; tortuvchi nimstansiyalarni ta'minlovchi liniyalarga ulash usullari turlicha va toklarni simmetriklash imkonini beradi. Shuning uchun elektr stansiyalar generatorlarida toklar nosimmetrikligi odatda chegaraviy qiymatlariga yetmadi. Elektrlashgan temir yo'l bo'ylama liniyalari ta'minlovchi katta quvvatli enyergotizim transformatorlari ham xuddi shunday sharoitlarda ishlaydi.

Tortuvchi nimstansiyalar transformatorlarining birlamchi chulg'am toklari nosimmetrikligi juda katta, shuning uchun bu transformatorlarning quvvatini fazalar yuklamalarining bir xil emasligini hisobga olgan holda tanlanadi.

Mahalliy tarmoqlar yuklamalari qisqichlarida yuzaga keluvchi teskari ketma-ketlik kuchlanishi yoritish va boshqa bir fazali iste'molchilarda kuchlanishlar notekisligini keltirib chiqaradi va ayniqsa asinxron yuritgichlar ishiga salbiy ta'sir etadi.

Asinxron yuritgichlarning teskari ketma-ketlik tokiga qarshiligi to'g'ri ketma-ketlik tokiga qarshiligidan bir necha marta kichik bo'lganligi tufayli, teskari ketma-ketlik toki I_{TEC} kuchlanishning uncha katta bo'lmagan

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

nosimmetrikligida ham juda sezilarli qiymatga ega bo'ladi. Yuritgich chulg'aming to'g'ri va teskari ketma-ketlik toklari fazalari bo'yicha mos keluvchi qismlarida chulg'am haddan tashqari qizib ketadi va natijada yuritgichning xizmat qilish muddatini qisqartiradi. Teskari ketma-ketlik toki shuningdek qarama-qarshi aylantiruvchi momentni ham yuzaga keltiradi. Ammo elektr yuritgich maksimal momentning kamayishi bunday hollarda uning ishlash sharoitiga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi. Barcha iste'molchilar uchun kuchlanish nosimmetrikligining 2% gacha bo'lishi uzoq ruxsat etilgan kattalik hisoblanadi. Agar kuchlanish og'ishi va garmonikalari chegaraviy ruxsat etilgan qiymatlardan kichik bo'lsa asinxron yuritgichlar uchun bu ko'rsatkich orttirilishi mumkin.

Nosimmetrik tortuvchi yuklamani ta'minlovchi bo'ylama liniya uchta fazalaridagi bir xil emas. Shuningdek o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiyalari transformatorlarning toklari ham nosimmetrik bo'ladi. Bunday hollarda quvvat isrofini simmetrik tashkil etuvchilar usulini qo'llagan holda oddiy hisoblash mumkin.

Nolinchi ketma-ketlik toklari bo'lmagan holda nosimmetrik yuklamalai liniya simlaridagi quvvat isrofi to'g'ri va teskari ketma-ketlik sxemalaridagi isroflar yig'indisiga teng:

$$\begin{aligned}\Delta S &= \Delta P + j\Delta Q = (I_A^2 + I_B^2 + I_S^2)(R + jX) = \\ &= 3I_{to'g'}^2(R + jX) + 3I_{tes}^2(R + jX) = \Delta S_{to'g'} + \Delta S_{tes}\end{aligned}\quad (9.12)$$

Bu (9.12) formula tortuvchi nimstansiya transformatorlari chulg'amlaridagi quvvat isrofini ham hisoblash uchun yaroqli.

Elektr hisoblashlar natijasi bo'yicha tortuvchi nimstansiya transformatorlaridagi va liniyaning barcha bo'laklaridagi to'g'ri $I_{to'g'}$ va teskari I_{tes} ketma-ketlik toklari ma'lum. Demak, elektr ta'minoti tizimida quvvat isrofini hisoblash mumkin.

Agar elektr hisoblash maksimal yuklamalar rejimi uchun bajarilgan

bo'lsa, aktiv energiyaning yillik isrofi $\Delta W_{a.yil} = \Delta P_{\max} \tau$ (bunda τ - maksimal isroflar vaqti) ga teng¹²⁵.

Tortuvchi nimstansiyalarni bo'ylama liniyalarga uchta turli sxemalar yordamida ulashni amalga oshirish orqali tortuvchi yuklamani simmetriklash bo'ylama liniyada teskari ketma-ketlik toklarining kamayishiga, va demak, elektr energiya isrofi pasayishiga imkon beradi.

Tortuvchi yuklama tarkibida yuqori garmonikalarning mavjudligi liniya simlaridagi quvvat isrofini bir muncha oshiradi va uni tok egri chizig'ining buzilishi koeffitsienti yordamida hisobga olish mumkin:

$$K_u = \frac{I_{(1)}}{I},$$

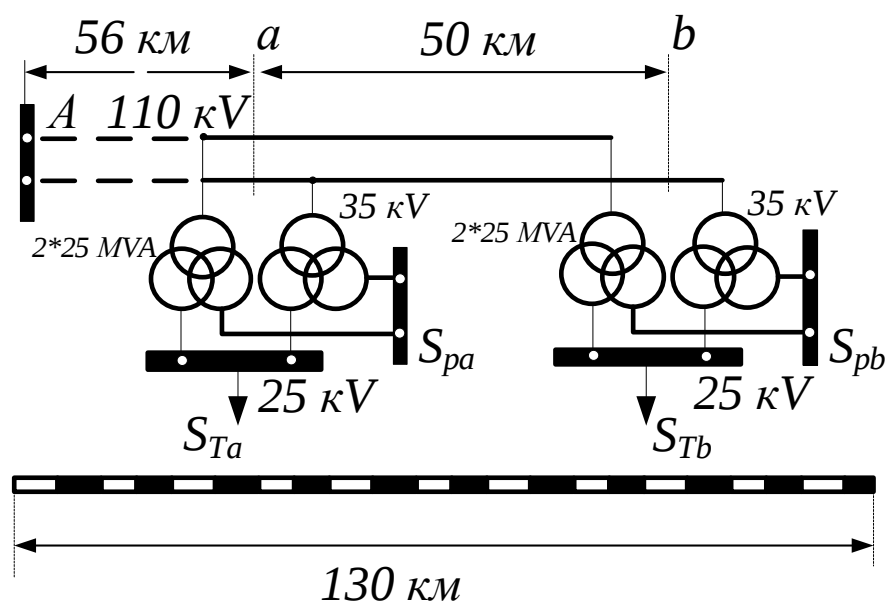
bunda $I_{(1)}$ - asosiy tok garmonikasi (50 Gs) ning ta'sir etuvchi qiymati; I - nosinusoidal tokning ta'sir etuvchi qiymati.

Liniyada o'zgaruvchan tok elektrovozi bo'lgan chog'da tokning buzilishi koeffitsienti sezilarli darajada birdan farq qiladi, jumladan tortuvchi tok tarkibia eng katta qiymatga uchinchi garmonika ega bo'lib, u taxminan asosiy tokning 19-24% ni tashkil etadi. Barcha yuqori garmonikalar hisobga olinganda tortuvchi yuklamaning toki buzilishi koeffitsienti $K_u = 0,97$ bo'lib, u mos holda liniyadagi quvvat isrofining 6% ga ortishiga olib keladi. Tortuvchi nimstansiyalarni ta'minlovchi bo'ylama liniyalarining boshqa iste'molchilarga ham elektr energiya berishini va bu iste'molchilar tok egri chizig'ini buzmasligini hisobga olsak, u holda liniyadagi quvvat isrofi ko'rsatilgan qiymatdan kichik bo'ladi deb hisoblasa bo'ladi.

Namuna 9.1. Ikki nimstansiyani ta'minlovchi kuchlanishi 110 kV bo'lgan bo'ylama liniyaning to'g'ri ketma-ketlik sxemasi (9.8 – rasm) hisobiy yuklamasini aniqlang. Liniyaning barcha uzunligi ikki zanjirli ko'rinishda AS-

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

95 simlardan iborat. Har 1 km masofada solishtirma tortuvchi yuklama 300 kvtkm ($\cos \varphi_T = 0,8$) ga teng. Har bir nimstansiyaning rayon yuklamalari quvvati $R=6$ t ($\cos \varphi_p = 0,85$). Tortuvchi nimstansiyalarda har birining quvvati 25 MV·A bo'lgan ikkitadan uch chulg'amli transformatorlar o'rnatilgan. Transformatorlar chulg'amli bir xil quvvat (100%) ga ega.



9.8 – rasm. Namuna 9.1 ga doir hisoblash sxemasi

Kontakt tarmoq bo'laklarining tortuvchi yuklamasi quvvatini solishtirma yuklama qiymatini temir yo'l liniyasiga yaqin bo'lak uzunligiga qaytarib aniqlaymiz. Masofaning birinchi bo'lagi yarim A- a bevosita A punktdan ta'minlanishini hisobga olgan holda a nimstansiyaning tortuvchi yuklamasini topamiz:

$$\underline{S}_{m.a} = (28 + 25)0,3(1 + j0,75) = 15,9 + j11,9 = 19,8e^{j36,50^\circ} \text{ MV} \cdot \text{A}$$

Nimstansiya a dagi rayon yuklamasi $\underline{S}_{pa}$ ni hisobga olgan holda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\underline{S}_{m.a} + \underline{S}_{pa} = 15,9 + j11,8 + 6,0(1 + j \cdot 0,621) = 21,9 + j \cdot 15,6 = 26,9e^{j35,10^\circ} \text{ MV} \cdot \text{A}$$

Nimstansiya transformatorlarining tortuvchi yuklamasi:

$$\underline{S}_{m.b} = (25 + 24)0,3(1 + j0,75) = 14,7 + j11,0 = 18,4e^{j36^\circ 50'} \quad MV \cdot A$$

Ayni shu nimstansiyaning barcha yuklmasi:

$$\underline{S}_{m.b} + \underline{S}_{pb} = 14,7 + j11,0 + 6,0(1 + j \cdot 0,621) = 20,7 + j \cdot 14,7 = 25,4e^{j35^\circ 20'} \quad MV \cdot A$$

Tortuvchi nimstansiya transformatorlaridagi quvvat isrofini hisoblaymiz. Nominal quvvati 25 MV·A, kuchlanishi 115/38,5/27,5 kV bo'lgan uch chulg'amli transformatorning parametrlarini ma'lumotnomadan olamiz: salt ishlash toki $I_0 = 0,9 \%$; salt ishlash quvvat isroqi $\Delta P_0 = 45 \text{ kVt}$; qisqa tutashuv quvvat isrofi $\Delta P_K = 140 \text{ kVt}$; yuqori va o'rta kuchlanish chulg'amlari orasidagi qisqa tutashuv kuchlanishi $U_{12} = 10,5 \%$; yuqori va quyi kuchlanish chlg'amlari orasida $U_{13} = 17 \%$; o'rta va quyi kuchlanish chlg'amlari orasida $U_{23} = 6 \%$:

Nimstansiya A deb transformatorlar chulg'amlarining yuklanish koefitsientlari quyidagi qiymatlarga teng:

$$\beta_1 = \frac{26,9}{2 \cdot 25} = 0,539; \quad \beta_2 = \frac{6,0}{0,85 \cdot 2 \cdot 25} = 0,141; \quad \beta_3 = \frac{19,8}{2 \cdot 25} = 0,397$$

Nimstansiya A ning ikkala transformatorlaridagi aktiv quvvat isrofi quyidagi formulaga ko'ra aniqlanadi:

$$\Delta P_{mp.a} = 2(\Delta P_0 + \Delta P_{nom 1} \beta_1^2 + \Delta P_{nom 2} \beta_2^2 + \Delta P_{nom 3} \beta_3^2) = 2[\Delta P_0 + \Delta P_K (\beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_3^2)]$$

Bu formulaga ko'ra aktiv quvvat isrofini hisoblaymiz:

$$\Delta P_{mp.a} = 2[45 + 140(0,539^2 + 0,141^2 + 0,397^2)] = 221 \quad \kappa Vm$$

Transformator har bir chulg'amiga to'g'ri keluvchi qisqa tutashuv kuchlanishi:

$$U_1 = 0,5(U_{12} + U_{13} - U_{23}) = 0,5(10,5 + 17,0 - 6,0) = 10,75 \%$$

$$U_2 = U_{12} - U_1 = 10,5 - 10,75 \approx -0,25 \approx 0;$$

$$U_3 = U_{13} - U_1 = 17,0 - 10,75 = 6,25 \%$$

Nimstansiya A ikkala transformatoridagi reaktiv isrofi:

$$\Delta Q_{mp.a} = 2(I_0 + \beta_1^2 U_1 + \beta_2^2 U_2 + \beta_3^2 U_3)10^{-2} S_{nom} =$$

$$= 2(0,9 + 0,539^2 \cdot 10,75 + 0,397^2 \cdot 6,25)10^{-2} \cdot 25 = 2,5 \quad Mvar$$

Nimstansiya B uchun huddi shu kattaliklar qiymatini topamiz:

$$\beta_1 = \frac{25,4}{2 \cdot 25} = 0,509; \quad \beta_2 = \frac{6}{0,85 \cdot 2 \cdot 25} = 0,141; \quad \beta_3 = \frac{18,4}{2 \cdot 25} = 0,368$$

$$\Delta P_{mp,b} = 2[45 + 140(0,509^2 + 0,141^2 + 0,368^2)] = 205,4 \quad \kappa Vt;$$

$$\Delta Q_{mp,b} = 2(0,9 + 0,509^2 \cdot 10,75 + 0,368^2 \cdot 6,25)10^{-2} \cdot 25 = 2,25 \quad M \text{ var};$$

Nimstansiya A ga yondashgan kuchlanishi 110 kV bo'lgan liniya bo'laklarining zaryadli quvvati:

$$Q_{ba} = U_{nom}^2 \cdot 2Bo \frac{\ell_{Aa} + \ell_{Ab}}{2} = 110^2 \cdot 2 \cdot 2,64 \cdot 10^{-6} \frac{56 + 50}{2} = 3,46 \quad M \text{ var};$$

Nimstansiya B ga yondash bo'laklarining zaryadli quvvati:

$$Q_{ab} = 110^2 \cdot 2 \cdot 2,64 \cdot 10^{-6} \frac{50}{2} = 1,60 \quad M \text{ var}$$

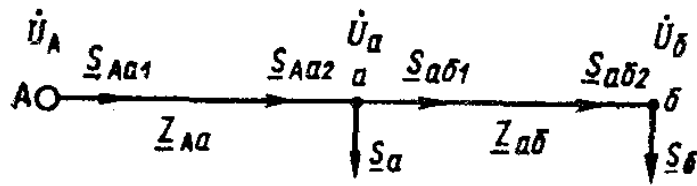
nimstansiya A ga ulanish nuqtasida hisobiy yuklama quvvati:

$$\underline{S}_a = \underline{S}_{ma} + \underline{S}_{pa} + \underline{P}_{mp,a} + j\underline{Q}_{ba} = 21,9 + j15,60 + 0,221 + j2,5 - j3,46 = \\ 22,12 + j14,64 = 26,5e^{j33^{\circ}50'} \quad MV \cdot A$$

Nimstansiya B ga ulanish nuqtasida hisobiy yuklanishi quvvati:

$$\underline{S}_b = 20,7 + j14,7 + 0,205 + j2,25 - j1,60 = 20,90 + j14,97 = 25,7e^{j33^{\circ}36'} \quad MB \cdot A$$

Namuna 9.2. Bundan oldingi namunada keltirilgan ma'lumotlar asosida 9.9 – rasmda keltirilgan hisoblash sxemasi bo'yicha kuchlanishi 110 kV bo'lgan liniyaga ikkilamchi nimstansiya ulanish nuqtasi B dagi to'g'ri ketma-ketlik kuchlanishini va bu nimstansiyaning rayon va tortuvchi yuklama va shinalaridagi kuchlanishni aniqlang.



9.9 – rasm. Namuna 9.2 ga doir hisoblash sxemasi

Liniya boshlanishidagi kuchlanish $U_A = 118 \text{ kV}$. Transformator chulgʻamlari nominal kuchlanishi 115/38,5/27,5 kV. Yuqori kuchlanish chulgʻamlari $\alpha_1 = -5 \%$ boʻlgan shaxobchaga, oʻrta kuchlanish chulgʻami $\alpha_2 = +5 \%$ boʻlgan shaxobchaga ulangan.

Koʻrilayotgan masala ikkinchi tipdagi masala boʻlib, liniya boʻlaklaridagi aktiv va reaktiv quvvatlar isrofini taxminan aniqlaymiz. Kuchlanishi 110 kV boʻlgan liniyaning ikki zanjiri birinchi boʻlagidagi toʻliq qarshiligi:

$$\underline{Z}_{Aa} = 0,5(0,33 + j \cdot 0,430) \cdot 56 = 9,22 + j \cdot 12 \quad \text{Om};$$

ikkinchi boʻlagidagi toʻliq qarshilik:

$$\underline{Z}_{Ab} = 0,5(0,33 + j \cdot 0,430) \cdot 50 = 8,25 + j \cdot 10,7 \quad \text{Om}.$$

boʻlak a-b dagi liniya simlaridagi quvvat isrofi:

$$\Delta \underline{S}_{Ab} = \frac{S_b^2}{U_{nom}^2} \underline{Z}_{Ab} = \frac{25,7^2}{110^2} (8,25 + j \cdot 10,7) = 0,45 + j \cdot 0,58 \quad \text{MV} \cdot \text{A}$$

boʻlak a-b boshlanishidagi quvvat:

$$\underline{S}_{A\delta,1} = \underline{S}_{\delta} + \Delta \underline{S}_{a\delta} = 20,90 + j \cdot 14,97 + 0,45 + j \cdot 0,58 = 21,35 + j \cdot 15,55 \quad \text{MB} \cdot \text{A}$$

birinchi A-a ohiridagi quvvat:

$$\underline{S}_{Aa,2} = \underline{S}_{ab,1} + \Delta \underline{S}_a = 21,35 + j \cdot 15,55 + 22,12 + j \cdot 14,64 = 43,47 + j \cdot 30,19 \quad \text{MV} \cdot \text{A}$$

birinchi boʻlak A-a dagi liniya simlaridagi quvvat isrofi:

$$\underline{S}_{Aa} = \frac{43,47^2 + 30,19^2}{110^2} (9,22 + j \cdot 12,0) = 1,92 + j \cdot 25 \quad \text{MV} \cdot \text{A}$$

taʼminlash punkti A dan olinuvchi quvvat:

$$\underline{S}_{Aa.1} = \underline{S}_{Aa.1} + \Delta \underline{S}_{Aa} = 43,47 + j \cdot 30,19 + 1,92 + j \cdot 2,5 = 45,5 + j \cdot 32,7 \quad MV \cdot A$$

liniya boshlanishidagi kuchlanish $U_A = 118 \text{ kV}$ ekanligini hisobga olib, nuqta a dagi kuchlanishni aniqlaymiz:

$$\dot{U}_a = U_a - \frac{\underline{S}_{Aa.1} \underline{Z}_{Aa}}{U_a} = 118 - \frac{(45,5 - j \cdot 32,7)(9,22 + j \cdot 12,0)}{118} = 111,5 - j \cdot 2,06 = 111,2 e^{-j1^\circ 00'} \quad \text{KV}$$

Ikkinchi nimstansiyaning ulanish nuqtasi b dagi kuchlanishi:

$$\begin{aligned} \dot{U}_b = \dot{U}_a - \frac{\underline{S}_{ab1} \underline{Z}_{ab}}{\dot{U}_a} &= 111,5 - j \cdot 2,06 - \frac{(21,35 - j \cdot 15,55)(8,25 + j \cdot 10,7)}{111,5 + j \cdot 2,06} = 108,0 - j \cdot 2,89 \\ &= 108,0 e^{j1^\circ 30'} \text{KV} \end{aligned}$$

Tortuvchi nimstansiyalarda o'rnatishga mo'ljallangan quvvati 25 MV·A bo'lgan uch chulg'amli transformatorning parametrlari namuna 9.1. da keltirilgan.

Uch chulg'amli transformator fazasi almashtirish sxemasidagi yulduzning nolinch nuqtasidagi keltirilgan kuchlanish:

$$\dot{U}_o = 108,0 - j \cdot 2,89 - \frac{(20,9 - j \cdot 4,97)(0,74 + j \cdot 28,5)}{108,0 + j \cdot 2,89} = 103,8 - j \cdot 8,36 = 103,8 e^{-j4^\circ 30'} \text{KV}$$

Rayon yuklamasining 35 kV kuchlanishli shinasidagi keltirilgan kuchlanish:

$$\dot{U}_2 = 103,8 - j \cdot 8,36 - \frac{(6,0 - j \cdot 3,7) \cdot 0,74}{103,8 + j \cdot 8,36} = 103,3 - j \cdot 8,39 = 103,3 e^{-j4^\circ 40'} \text{KV}$$

Transformatsiya ko'effitsientini hisobga olib, ya'ni $K_{12} = 115 \cdot 0,95 / (38,5 \cdot 1,05) = 2,70$ orqali 35 kV li shinadagi kuchlanishni topamiz:

$$U_2 = \dot{U}_2 / K_{12} = 103,2 / 2,70 = 38,4 \quad \text{KV}$$

Tortuvchi nimstansiyaning 25 kV li shinalaridagi keltirilgan kuchlanish:

$$\dot{U}_3 = 103,8 - j \cdot 8,36 - \frac{(14,7 - j \cdot 11,0) \cdot (0,74 + j \cdot 16,6)}{103,8 + j \cdot 8,36} = 101,9 - j \cdot 10,63 = 102,4 e^{-j5^\circ 57'} \text{KV}$$

Transformatsiya ko'effitsienti:

$$K_{13} = 115 \cdot 0,95 / 27,5 = 3,97$$

Tortuvchi yuklamaning 25 kV li shinalaridagi kuchlanish:

$$U_3 = \dot{U}_3 / K_{13} = 102,4 / 3,97 = 25,8 \text{ kV}$$

9.4. Kuchlanishi 25 kV o'zgaruvchan tok tortuvchi tarmoqlarning ish rejimlari

O'zgaruvchan tok tortuvchi nim stansiyalarning pasaytiruvchi transformatorlari yuklama ostida kuchlanishni rostlash qurilmasi (RPN)dan iborat bo'lib, uning vazifasi yuklamaning sutkalik yoki mavsumli tebranishlariga bog'liq holda tortuvchi nimstansiyaning kuchlanishi 25 KVli shinasidagi zarur kuchlanishni ta'minlashga mo'ljallangan. Shuning uchun kuchlanishi 25 kV li tortuvchi tarmoqlarni elektr hisoblashni, o'rta va past kuchlanishli taqsimlash tarmoqlarining rejimlarini hisoblash chog'ida qabul qilinganidek, yuqori kuchlanish (110 va 220 kV) li ta'minlovchi tarmoqlarga bog'liq bo'lmagan holda amalga oshirish mumkin. Ammo yuklama ostida kuchlanishni rostlash qurilmasi tortuvchi yuklamaning qisqa vaqtli, lekin tez – tez o'zgarishlarga mos ishlay olmaydi. Bu esa tortuvchi nimstansiya almashtirish sxemasining tashqi qarshiligidagi kuchlanish isrofi ko'rinishida hisobga olinadi. Bunda tortuvchi tarmoqning qaralayotgan bo'lagi qatorida unga ikki tomondan qo'shni bo'lgan yuklamalar o'zgarishlari ham hisobga olinadi.

Elektr tarmoqlarni hisoblash chog'ida $\pm 10\%$ xatolikka ruxsat etiladi, shuning uchun bunday usul to'liq qoniqtiradi. Shuni ta'kidlash kerakki, odatda tortuvchi yuklamalar $\pm 15\%$ xatolik bilan aniqlanadi.

Yuklama I_2 ni (9.3.a - rasmga qarang) ta'minlovchi tortuvchi nimstansiya shinalaridagi kuchlanish U_{as} ni topamiz. Formula (9.3) ni hisobga olgan holda salt ishlash, ya'ni tortuvchi yuklama bo'lmagan chog'dagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{asx} = U_{as} - \underline{Z}, I_{as} = U_{as} + \underline{Z}, (2I_2 + I_1)/3,$$

bunda $\underline{Z}_1$ - nominal kuchlanish (25 kV) ga keltirilgan nimstansiyaning elektr tizimi va transformatorlari qarshiligini inobatga olgan, 1 turdagi tortuvchi

nimstansiyaning tashqi harakteristikasiga mos keluvchi qarshilik.

Elektr tizimning A fazasi kuchlanishiga mos keluvchi kuchlanish U_{asx} ni haqiqiy qiymatlar o'qi bo'ylab yo'naltiraylik. U holda:

$$U_{ac}=U_{acx}-\frac{2}{3}\underline{Z}_1(I_2e^{-j\varphi_2}+\frac{1}{2}I_1e^{j(-60-\varphi)}) \quad (9.13)$$

bunda φ_1, φ_2 - tortuvchi yuklama toklarining siljish burchagi. Ekvivalent tok kattaligi deb quyidagi ifodaga aytiladi:

$$I_{e2}=I_2e^{-j\varphi_2}+\frac{1}{2}I_1e^{j(-60-\varphi)} \quad (9.14)$$

Tok I_1 faza bo'yicha orqada qoluvchi – U_c kuchlanish tufayli yuzaga keladi.

Tortuvchi yuklama I_1 ning ta'minlanish shartini ko'raylik. Tortuvchi nimstansiya shinalaridagi kuchlanish U_{vsx} salt ishlash chog'ida, ya'ni $I_1=0, I_2=0$ bo'lganda yuqorida keltirilgan - U_s kuchlanishga mos keladi. Shuning uchun:

$$U_{vsx}=-U_s=U_{vs}+\underline{Z}_1I_{sv}=U_{vs}+\underline{Z}(2I_1+I_2)/3$$

Vektor – U_s, U_{vsx} ni haqiqiy qiymatlar o'qi bo'ylab yo'naltirish uchun bu tenglikni e^{j60} ga ko'paytirish kerak. Natijada kuchlanishlar va toklar fazalari o'zgargan yangi ifodalarini olamiz:

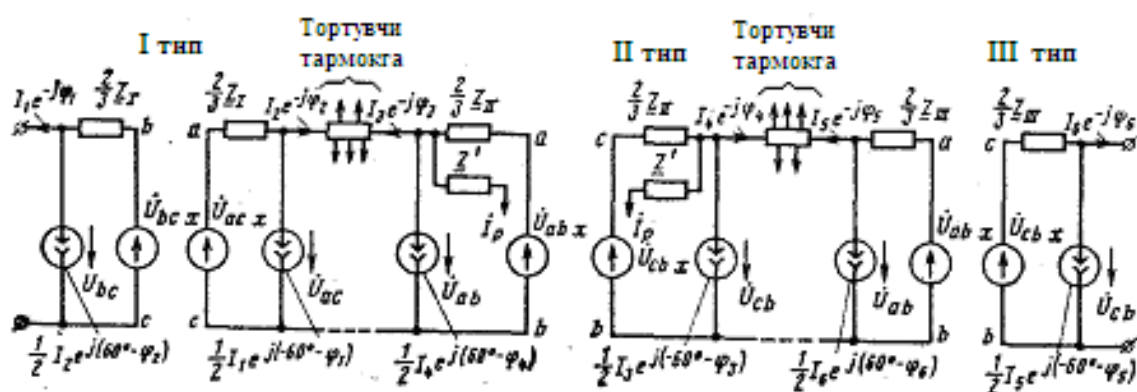
$$\dot{U}_{vs}=U_{vsx}-\frac{2}{3}\underline{Z}(I_1e^{-j\varphi}+\frac{1}{2}I_2e^{j(60-\varphi)})=U_{vsx}-\frac{2}{3}\underline{Z}I_{e1} \quad (9.15)$$

bunda $I_{e1}=I_1e^{-j\varphi}+\frac{1}{2}I_2e^{j(60-\varphi)}$

Tok I_{e2} faza bo'yicha ilgari bo'lgan U_A kuchlanish tufayli yuzaga keladi.

Tenglik (9.13) va (9.15.) larga muvofiq hisoblash sxemalarida tortuvchi nimstansiya ikkita aktiv ikki qutbli ko'rinishda (9.10-rasm) tasvirlangan bo'lib, ularning E.Yu.K. lari mos holda salt ishlash kuchlanishlari U_{asx} va U_{vsx} ga teng, kirish qarshiliklari bir xil va tortuvchi nimstansiya tashqi qarshiligining $\frac{2}{3}$ ulushiga teng. Umumiy uch fazali transformatoridan ta'minlanuvchi qo'shni bo'laklar yuklamalari qaralayotgan nimstansiyaning qo'shni shinalari tortuvchi yuklamalarining $\frac{1}{2}$ qismiga teng bo'lgan tok manbai sifatida hisobga olingan.

Agar hisoblash sxemasida yuklamalar qaralayotgan bo‘lak ta’minlovchi uch fazali tizimning ilgarilab ketuvchi fazasiga mos keluvchi transformator chulg‘amidan ta’minlanayotgan bo‘lsa, $60^\circ - \varphi_2$ burchak bilan yoki orqada qoluvchi fazadan ta’minlanayotgan bo‘lsa, $-60^\circ - \varphi_1$, burchak bilan hisobga olinadi.



9.10 – rasm. I, II va III tip tortuvchi nimstansiyalaridan ta’minlanuvchi bo‘laklarni hisoblash sxemasi

Xuddi shunday II va III turdagi nimstansiyalar uchun hisoblash sxemalari 9.10-rasmda keltirilgan. Tortuvchi transformatorning uchinchi chulg‘amidan ta’minlanuvchi rayon (mahalliy) yuklamalar toklari odatda uncha katta emas. Hisoblash sxemasida ularning ta’sirlarini II tur nimstansiya sxemasiga keltirilganidek qo‘shimcha shoxcha ko‘rinishida inobatga olinadi. Rayon yuklama toki I_p qarshiligi quyidagicha bo‘lgan shoxcha orqali o‘tadi:

$$\underline{Z}^1 = \underline{Z}_{II} / 3 + \underline{Z}_r$$

bunda $\underline{Z}_{II}$ – II turdagi tortuvchi nimstansiyaning tashqi harakteristikasiga mos keluvchi qarshilik; $\underline{Z}_r$ – rayon yuklamasini ta’minlovchi chulg‘am qarshiligi.

Shunday qilib, tortuvchi tarmoqning har bir bo‘lagini mustaqil hisoblashni tortuvchi nimstansiyalarning elektr tizimidan ta’minlanish shartlarini va tortuvchi tarmoqning qo‘shni bo‘laklari toklari ta’sirini nazarda tutilgan holda amalga oshirish mumkin; bu hisoblash odatda EHM yordamida bajariladi.

Elektrovoz tok qabul qilgichlaridagi ruxsat etilgan maksimal kuchlanish $U_{\max} = 29 \text{ kV}$. Shuning uchun salt ishlash chog‘ida, ya’ni tortuvchi tarmoqda

yuklamalar bo‘lmaganda, tortuvchi nimstansiyalar shinalaridagi kuchlanish ushbu qiymatdan katta bo‘lmasligi kerak. Tortuvchi tarmoqning o‘tkazish qobiliyatini to‘laroq amalga oshirish uchun salt ishlash kuchlanishi qiymatini shu chegaraviy kuchlanishga yaqin, ya’ni $U_{bs,x} \approx U_{as,x} \approx U_{\max}$ qilib olish maqsadga muvofiq bo‘ladi¹²⁶.

Shunday qilib, tortuvchi nimstansiyalar transformatorlarning qayta ulovchi qurilmalarini tortuvchi yuklamalar qisqa vaqtli tebranishlari hisobga olinmagan holda tortuvchi tarmoqning optimal rejimiga mos keluvchi holatiga o‘rnatiladi. Ana shu holatda olinuvchi kuchlanish odatda tortuvchi tarmoqdan foydalanish sharoitida aynan shu qiymatda ushlab turiladi.

Tortuvchi nimstansiyaning ekvivalent qarshiligi $\underline{Z} = R_E + jX_E$ qanday aniqlashini ko‘raylik.

Bu masala ikki variantda bo‘lishi mumkin. Temir yo‘lning elektrlashtirishning dastlabki loyihasida bu kattalik qaralayotgan tortuvchi nimstansiyaning 27,5 kV kuchlanishli shinalaridagi simmetrik uch fazali qisqa tutashuv qarshiligiga teng deb qabul qilinishi lozim. Agar ishlab turgan 25 kV kuchlanishli tortuvchi tarmoqni kuchaytirish loyihasi ishlab chiqilayotgan bo‘lsa tashqi qarshilik moduli tortuvchi nimstansiyaning qaralayotgan shinalaridagi kuchlanishlar va ta‘minlovchi yelkalar toklarini o‘lchash natijalari asosida olinishi mumkin.

Kuchlanishi 110 kV va 220 kV bo‘lgan liniyalarning aktiv R_L va reaktiv X_L qarshiliklari orasidagi nisbat: $R_L / X_L \approx 0,4 \div 0,7$. Katta quvvatli transformatorlarda $R_{TP} / X_{TP} \approx 0,1$. Tortuvchi nimstansiyaning ekvivalent qarshiligi uchun taxminan $R_E / X_E \approx 0,3$ deb qabul qilish mumkin:

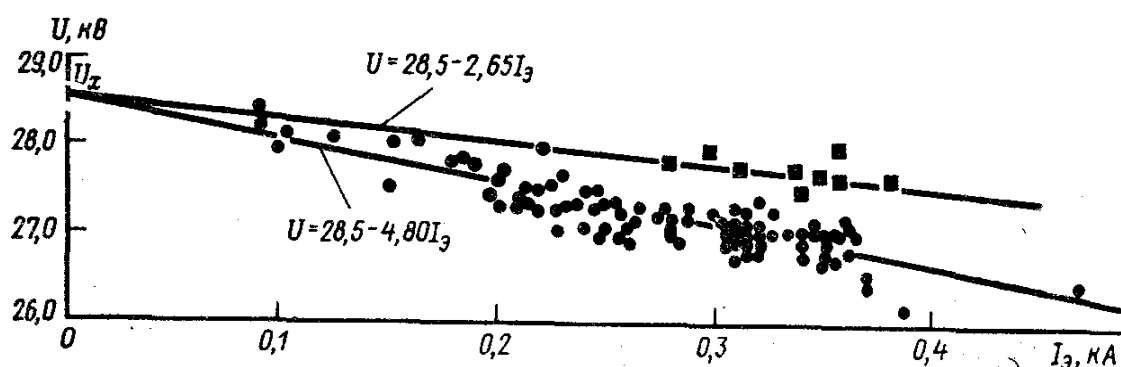
² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

$$\text{bunda } R_E = Z_E \cos \alpha = 0,28 Z_E, \quad (9.16)$$

$$X_E = Z_E \sin \alpha = 0,958 Z_E, \quad (9.17)$$

bunda $\alpha = \arctg R_E / X_E = 73^\circ 20'$.

Nazariy jihatdan kuchlanishi 25 kV li o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiyaning tashqi harakteristikasini qurish uchun tortuvchi nimstansiyaning ikki xil ish rejimlarida aniq o'lchashlarni bajarish yetarli bo'ladi. Ammo o'lchash ma'lum xatolik bilan amalga oshirilishini hisobga olsak ma'lum vaqt oralatib o'lchashlar sonini oshirish talab etiladi¹²⁷.



9.11 – rasm. Tortuvchi nimstansiya tashqi harakteristikasi

O'lchashlar natijasiga ko'ra tortuvchi nimstansiya tashqi harakteristikasi (salt ishlash kuchlanishi U_x va ekvivalent qarshilik) ni topish na'munasi bitta transformator ishlagan (aylanalarda ko'rsatilgan) va ikki transformator parallel ishlagan (kvadratlarda ko'rsatilgan) hollar uchun 9.11 – rasmda ko'rsatilgan.

9.5. Kuchlanishi 110 yoki 220 kV bo'ylama liniya bo'yicha quvvat uzatishning 25 kV kuchlanishli o'zgaruvchan tok tortuvchi tarmoqlar ishiga ta'siri

Tortuvchi nimstansiyalari ta'minlovchi kuchlanishli 110 yoki 220 kV bo'lgan bo'ylama liniyalar ba'zan elektr tizimlarining bir qismidan boshqasiga

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

quvvat uzatish uchun ham qo'llaniladi. Bu tranzit quvvat qisman tortuvchi tarmoq orqali ham o'tadi, tortuvchi yuklamalarni ta'minlash sharoitini yomonlashtiradi va undagi energiya isrofini orttiradi¹²⁸.

Tortuvchi tarmoqdagi toklar quyidagi tashkil etuvchilardan iborat:

tortuvchi toklar – tortuvchi nimstansiyalarni ta'minlovchi shinalarda kuchlanish bir xil bo'lganda tortuvchi yuklamalarni ta'minlash tufayli yuzaga keluvchi toklar;

tenglashtiruvchi toklar – kuchlanishi 110 yoki 220 kV bo'lgan bo'ylama liniya bo'yicha tranzit quvvat bo'lmagan holda tortuvchi nimstansiya shinalaridagi kuchlanishlar notekisligi tufayli yuzaga keluvchi toklar;

tranzit toklar – bo'ylama liniya bo'yicha quvvat uzatish natijasida hosil bo'luvchi toklar.

Tortuvchi tarmoqning ish sharoitiga tranzit tokning ta'sirini amalda keng tarqalgan oltita tortuvchi nimstansiyaning ikki tomondan ta'minlash sxemasi misolida ko'ramiz. Tortuvchi nimstansiyalarning fazalar bo'yicha ulanishi sxema o'rtasiga nisbatan simmetrik bajarilgan (9.5–rasm) bo'lib, bunda ma'lumki, tortuvchi yuklamalarni eng yaxshi simmetriklashtirishga erishiladi.

Ko'rilayotgan masala chiziqli va shuning uchun uni ikkita hisoblash sxemasini qo'shish (ustlash) yo'li bilan yechish mumkin.

Birinchi sxemada bo'ylama liniyada tranzit quvvat yo'q deb faraz qilamiz, ya'ni bu sxema faqat tortuvchi yuklamalarni ta'minlaydi. Bunday masala yechimi 9.4 – bo'linmada berilgan. Ikkinchi hisoiy sxemada tortuvchi yuklamaning vazifasini bajaruvchi kuchlanishi 110 va 220 kV bo'lgan uch fazali tizim e.yu.k. va manbalari mavjud emas, ammo bo'ylama liniyaga liniya boshlanishiga ulangan uch fazali simmetrik tok manbalari $\dot{J}_A = J e^{j\varphi_A}$; $\dot{J}_B = J e^{j(\varphi_A - 120^\circ)}$; $\dot{J}_S = J e^{j(\varphi_A + 120^\circ)}$ dan tranzit toklar oqib keladi. Bu toklar uch fazali bo'ylama liniya oxiridan oqib chiqadi. Hosil bo'lgan tranzit tokni topamiz.

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

9.5 – rasmda ko‘rsatilgan III', II' va I' turdagi nimstansiyalarning bo‘ylama liniyaga fazalar bo‘yicha ulanishi III, II va I larga mos holda bo‘lsada fiderlarning tortuvchi tarmoq bo‘ylamalariga ulanishi boshqacha amalga oshirilgan. Bunday ulanish sxemaning o‘rtasiga nisbatan simmetriklikni ta’minlab beradi¹²⁹.

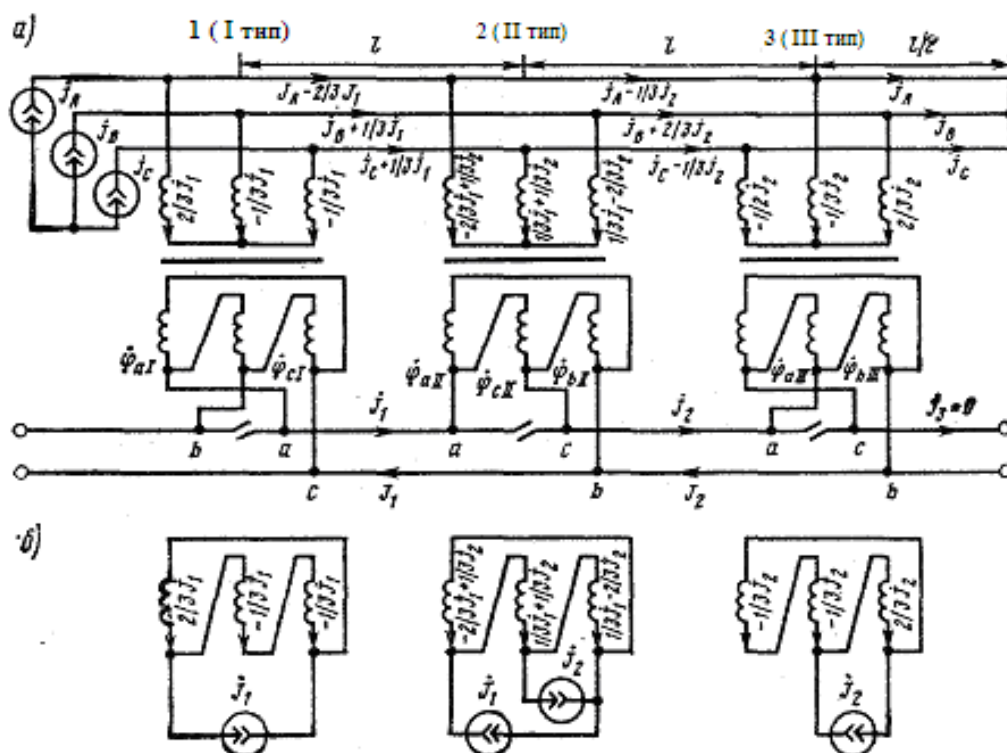
Faraz qilamiz, tortuvchi tarmoq bo‘laklari bir xil uzunliklarga ega, tortuvchi nimstansiya transformatorlar quvvatlari va ularning yuklamalari bir xil. Ana shunda hisoblash sxemasi o‘zining o‘rta kesimiga nisbatan simmetrik bo‘ladi, demak mana shu kesimda bo‘ylama liniyaning uchta fazalari toklari yig‘indisi nolga teng bo‘ladi va u qisqa tutashtirilishi mumkin. Ayni shu joydagi, ya’ni nimstansiya 3 dan o‘ngdagi tortuvchi tarmoq manbadan uziladi va shuning uchun uni ochiq deb hisoblash mumkin. Demak, hisoblash sxemasining birinchi yarmini alohida ko‘rilsa bo‘ladi (9.12-rasm).

Agar nimstansiya 1 dan chap tomonida tortuvchi nimstansiyalar bo‘lmasa, bunda kontakt tarmoq ochiq deb hisoblanadi. Xuddi shunday shartlar chap tomonda nimstansiyalar mavjud bo‘lib, ularning bo‘ylama liniyalarga ulanish fazalari simmetriklangan holda ham qabul qilinadi. 9.12.-rasmdagi sxemaning barcha elementlarini bitta bazis (asos) kuchlanish – tortuvchi tarmoq kuchlanishiga keltiramiz. Aniqlanishi kerak bo‘lgan kattaliklar sifatida tortuvchi tarmoqning birinchi va ikkinchi bo‘laklariga mos toklari J va J_2 ni qabul qilamiz. Aytish lozimki, rels (yer) dagi toklar kontakt tarmoqdagi toklarga teng va teskari tomonga yo‘nalgan.

Tortuvchi tokning birinchi bo‘lagiga nimstansiya 1 tomonidan $\varphi_{ai} - \varphi_{ci}$ potentsiallar ayirmasi qo‘yilgan, bo‘lakning qarama-qarshi oxirida nimstansiya 2 yaqinida $\varphi_{aII} - \varphi_{eII}$ potentsiallar farqi hosil bo‘ladi.

²

Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.



9.12 – rasm. Bo‘ylama liniya bo‘yicha elektr energiya uzatish (trasformatsiya koefitsienti hisobga olinmagan) chog‘ida nimstansiya transformatorlari chulq‘amlaridagi toklar

Bu bo‘lakda tortuvchi tarmoqdagi tok quyidagiga teng:

$$J = \frac{\varphi_{ai} - \varphi_{si} - (\varphi_{aII} - \varphi_{bII})}{Z_{ts}} \quad (9.18)$$

bunda $\varphi_{ai} = (2,5kJ_A - \frac{2}{3}J_1 - \frac{1}{3}J_2) \equiv \wedge / k^2 - \frac{2}{3}J_1 Z_{tr}$

$$\varphi_{st} = (2,5kJ_s + \frac{1}{3}J_1 - \frac{1}{3}J_2) \equiv \wedge / k^2 + \frac{1}{3}J_1 Z_{tr}$$

$$\varphi_{aII} = (1,5kJ_A - \frac{1}{3}J_1 - \frac{1}{3}J_2) \equiv \wedge / k^2 + (\frac{2}{3}J_1 - \frac{1}{3}J_2) Z_{tr}$$

$$\varphi_{bII} = (1,5kJ_B + \frac{2}{3}J_2 - \frac{1}{3}J_2) \equiv \wedge / k^2 - (\frac{1}{3}J_1 - \frac{2}{3}J_2) Z_{tr}.$$

Z_{tc} - tortuvchi tarmoq bo‘lagining kompleks qarshiligi; Z_l - xuddi shu bo‘lakda uch fazali liniya fazasining kompleks qarshiligi; Z_{tr} - tortuvchi nimstansiya transformatorlarining kompleks qarshiligi; k – transformatsiya koefitsienti.

Potensiallar qiymatini (9.18.) tenglikga qo'yib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} (Z_{TC} + 2Z_{TP} + Z_{\wedge}/k_2)J_1 - (Z_{TP} + Z_{\wedge}k^2)J_2 \\ = (J_A + 1,5J_B - 2,5J_C)Z_{\wedge}/k^2 \end{aligned} \quad (9.19)$$

Tarmoqning ikkinchi bo'lagi toki uchun:

$$J_2 = [\varphi_{sii} - \varphi_{bii} - (\varphi_{aii} - \varphi_{bii})] / Z_{ts} \quad (9.20)$$

bunda $\dot{\varphi}_{S II} = (1,5k J_S - \frac{1}{3} \dot{J}_2) \underline{Z}_{II} / K^2 - (\frac{1}{3} J_1 + \frac{1}{3} \dot{J}_2) \underline{Z}_{TR};$

$$\dot{\varphi}_{S III} = 0,5k \dot{J}_A \underline{Z}_{II} / K^2 + \frac{1}{3} \dot{J}_2 \underline{Z}_{TR};$$

$$\dot{\varphi}_{S III} = 0,5k \dot{J}_B \underline{Z}_L / K^2 - \frac{2}{3} \dot{J}_2 \underline{Z}_{TR}.$$

Potensiallar qiymatini (9.20) tenglamaga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\dot{J}_2 = \frac{-0,5 \dot{J}_A - J_B + 1,5 J_S}{\underline{Z}_{TS} + 2\underline{Z}_{TR} + \underline{Z}_L / K^2} \frac{\underline{Z}_L}{K}. \quad (9.21)$$

Ifoda (9.21) ni (9.19) tenglamaga qo'yib, tok $\dot{J}_1$ ni aniqlash mumkin. Z_{tr} va $Z_{\wedge}k^2$ qiymatlari Z_{ts} qiymatidan bir muncha kam bo'lgani uchun kontakt tarmog'idagi toklar quyidagilarga teng deb qabul qilish mumkin:

$$\dot{J}_1 \approx (J_A + 1,5J_B - 2,5J_S) \frac{\underline{Z}_L}{\kappa \underline{Z}_{TS}} = (1,5 - j3,46) J_A \frac{\underline{Z}_L}{\kappa \underline{Z}_{TS}} = 3,77 e^{-j66^\circ 30'} J_A \frac{\underline{Z}_L}{\kappa \underline{Z}_{TS}}; \quad (9.22)$$

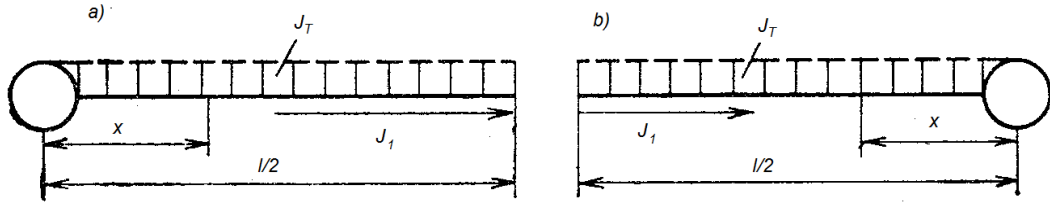
$$\dot{J}_2 \approx (-0,5 \dot{J}_A - J_B + 1,5 J_S) \frac{\underline{Z}_L}{\kappa \underline{Z}_{TS}} = (-0,75 + j2,16) J_A \frac{\underline{Z}_L}{\kappa \underline{Z}_{TS}} = 2,27 e^{-j109^\circ 15'} J_A \frac{\underline{Z}_L}{\kappa \underline{Z}_{TS}}; \quad (9.23)$$

Ifodalar (8.22) va (8.23) ga ko'ra tortuvchi yuklama bo'lmagan holda tortuvchi tarmoqning qaralayotgan yarmidagi aktiv quvvat isrofi:

$$\Delta P_{T3} \approx R_{OTC} l (J_1^2 + J_2^2) = R_{OTC} l (3,77^2 + 2,27^2) J_A^2 \left(\frac{\underline{Z}_{II}}{\kappa \underline{Z}_{TC}} \right)^2 = 19,4 R_{OTC} l J_A^2 \left(\frac{\underline{Z}_{II}}{\kappa \underline{Z}_{TC}} \right)^2 \quad (9.24)$$

Yuklama mavjud bo'lgan holda tortuvchi tarmoqdagi aktiv quvvat isrofini baholash uchun tortuvchi yuklama uzunlik bo'yicha $J_t = J_t e^{-jy_t}$ zichlik bilan bir tekis taqsimlangan deb faraz qilamiz. Koordinatalar boshini tortuvchi tarmoq

o'rtasi – tortuvchi yuklamaning toki bo'linish nuqtasida joylashtiramiz (9.13-rasm).



9.13 – rasm. Tortuvchi tarmoq birinchi bo'lagi ikkala yarmidaga tok yuklamasi

Birinchi tortuvchi bo'lakning birinchi (9.13, a-rasm) va ikkinchi (9.13, b-rasm) yarmidagi toklarni olamiz:

$$\dot{J}_{TS(a)} = \int_0^x \dot{J}_T dx - \dot{J}_1 = \dot{J}_T x - \dot{J}_1; \quad \dot{J}_{TS(b)} = \int_0^x \dot{J}_T dx + \dot{J}_1 = \dot{J}_T x + \dot{J}_1;$$

Tortuvchi tarmoq birinchi bo'lagidagi quvvat isrofi:

$$\Delta P_{TS1} = R_{OTS} \int_0^x [(\dot{J}_T \cos \varphi_T - \dot{J}_1 \cos \alpha_1)^2 + (\dot{J}_T \sin \varphi_T - \dot{J}_1 \sin \alpha_1)^2 +$$

$$(\dot{J}_T \cos \varphi_T + \dot{J}_1 \cos \alpha_1)^2 + (\dot{J}_T \sin \varphi_T + \dot{J}_1 \sin \alpha_1)^2] dx = R_{OTS} l (\dot{J}_T^2 l^2 / 12 + \dot{J}_1^2).$$

bunda $\alpha_1 = \alpha_A - 66^\circ 30'$.

Xuddi shunday tortuvchi tarmoqning ikkinchi bo'lagida aktiv quvvat isrofi:

$$\Delta P_{TS2} = R_{OTS} l (\dot{J}_T^2 l^2 / 12 + \dot{J}_2^2)$$

Uchinchi bo'lakda tranzit tok yo'q ($J_3=0$) ligi uchun tortuvchi tarmoqning qaralayotgan yarmida (9.12-rasmga qarang) aktiv quvvat isrofi:

$$\Delta P_{OS} = R_{OT} \dot{J}_T^2 l^3 / 6 + R K_S l (\dot{J}_1^2 + \dot{J}_2^2) = \Delta P_T + \Delta P_{TZ}, \quad (9.25)$$

ya'ni, tortuvchi tarmoq uzunligi bo'yicha tortuvchi yuklama bir tekis taqsimlangan holda aktiv quvvat isrofi tranzit quvvat bo'lmaganda tortuvchi yuklamani ta'minlash chog'idagi (ΔP_t) va tortuvchi yuklama bo'lmaganda bo'ylama liniya bo'yicha quvvatni tranzitlash chog'idagi (ΔP_{tz}) quvvat isroflari yig'indisiga teng.

Quvvatni bo'ylama liniya bo'yicha tranzitlash bir vaqtning o'zida tortuvchi tarmoqdagi kuchlanish rejimini yomonlashtiradi va elektr harakat

tarkibi ishini qiyinlashtiradi.

Tortuvchi tarmoqning birinchi bo‘lagida tranzit toki tufayli kuchlanish pasayishi quyidagiga teng:

$$\delta U = \dot{J}_1 \underline{Z}_{TS} = 3,77 \dot{J}_A e^{-j66^\circ 30'} = \frac{\underline{Z}_A}{K} = 3,77 \dot{J}_A \frac{\underline{Z}_A}{K} e^{j(\alpha_A + \psi_A - 66^\circ 30')}$$

bunda α_A - bo‘ylama uch fazali liniyaning A fazasidagi tranzit tokining kuchlanishi U_A ga nisbatan siljish burchagi.

Tortuvchi tarmoqning birinchi bo‘lagi kuchlanish U_A ostida bo‘lgani uchun (9.5.-rasmga qarang), kuchlanish isrofi:

$$\Delta U_1 = 3,77 \dot{J}_A \frac{\underline{Z}_A}{K} \cos(\alpha_A + \psi_A - 66^\circ 30') \quad (9.26)$$

Ikkinchi bo‘lakdagi kuchlanish pasayishi:

$$\delta U_2 = 2,27 \dot{J}_A \frac{\underline{Z}_A}{K} e^{j109^\circ - 15'} \quad (9.27)$$

Tortuvchi tarmoqning ikkinchi bo‘lagi kuchlanishi $-\dot{U}_B = U_A e^{j60^\circ}$ ostida bo‘lgani uchun, kuchlanish isrofi:

$$\Delta U_1 = 2,27 \dot{J}_A \frac{\underline{Z}_A}{K} \cos(\alpha_A + \psi_A + 49^\circ 15')$$

Namuna 9.3. Kuchlanishi 110 kV bo‘lgan bo‘ylama liniya bo‘yicha (AS-150 simli ikki zanjir) $\cos\alpha_A=0,95$ bo‘lganda $J=300$ A tok tranziti amalga oshirilgan.

Kuchlanishi 25 kV bo‘lgan tortuvchi tarmoqning birinchi bo‘lagi (9.12-rasmga qarang) bo‘ylab formula (9.22) bilan aniqlanuvchi tranzit tok: $J_1=158$ A oqib o‘tadi, ikkinchi bo‘lak bo‘ylab formula (9.23) bilan aniqlanuvchi $J_2=117$ A tok o‘tadi. Bu bo‘laklarga mos keluvchi kuchlanish isroflari (9.26) va (9.27) ifodalar bilan aniqlanadi: $\Delta U_1=2680$ V; $\Delta U_2=-125$ V.

Shunday qilib, elektr tizimi liniyalari bo‘yicha oqib o‘tuvchi va bir vaqtning o‘zida tortuvchi nimstansiyalarni ta’minlovchi tranzit tok qisman tortuvchi tarmoq bo‘yicha ham o‘tadi va bu energiya isrofini orttiradi. Tortuvchi tarmoqning alohida bo‘laklarida tranzit toklar bir xil emas: ularning qiymatlari

va faza burchaklari tortuvchi nimstansiyalarning bo'ylama liniyalarga ulanishida qanday sxema qo'llanilganiga bog'liq. Tortuvchi tarmoqda qo'shimcha kuchlanish isrofi hosil bo'ladi. Ayniqsa, tranzit tok orqada qoluvchi fazaga ulangan bo'lakning masalan, sxemaning birinchi bo'lagida (9.10. va 9.12-rasmga qarang) oxiridan yo'nalgan holda qo'shimcha kuchlanish isrofi salbiy ta'sir ko'rsatadi¹³⁰.

Yuzaga keluvchi tortuvchi tarmoqda tranzit toki paydo bo'lmasligining oldini olish uchun ba'zan juda og'ir holatlarda tarmoq bo'lagi uzib qo'yiladi. Ammo bunda kontakt tarmoqda kuchlanish rejimi yomonlashadi. Izolyasiyalovchi to'siq yuzaga keladi, bu esa elektr harakat tarkibi ishi sharoitini murakkablashtiradi.

Yaxshi natijalarni birlamchi chulg'ami tortuvchi nimstansiyaning 25 kV kuchlanishi uch fazali shinasiga, ikkinchi chulg'ami (3-6 kV) esa tortuvchi tarmoqqa ketma-ket ulangan bir fazali qo'shimcha voltli transformator yordamida olish mumkin. Birlamchi chulg'amning ulanish fazasiga bog'liq holda tranzit tokni cheklovchi zarur burchakli qo'shimcha E.YU.K. olish mumkin.

²

Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

10. Temir yo‘lining tortuvchi bo‘lmagan iste’molchilarini elektr energiya bilan ta’minlash uchun uzatuv liniyalari

10.1. Tortuvchi bo‘lmagan iste’molchilarning yuklamalari

Temir yo‘l bo‘ylab odatda katta miqdorda temir yo‘lining liniya va rayon elektr energiya iste’molchilari, ya’ni tortuvchi bo‘lmagan deb ataluvchi iste’molchilari joylashgan. Rayon elektr energiya iste’molchilariga temir yo‘l yaqinidagi qishloq xo‘jalik hududlari, unchalik katta bo‘lmagan shaharlar, posyolkalar va kichik sanoat korxonalarining yuklamalari kiradi.

Temir yo‘l liniya iste’molchilari statsionar va ko‘chuvchan turlarda bo‘ladi. Ko‘chmas (statsionar) iste’molchilarga lokomotiv va vagon ta’mirlash zavodlarining kuch va yoritish qurilmalari, depodagi qurilmalar, temir yo‘l stansiyalarining yo‘lovchilar va xizmat binolari hududlarini yoritish tarmoqlari, avtoajratkich, aloqa, xizmat ko‘rsatish, o‘tish joylari, maishiy binolar va hokazolardagi yoritish qurilmalari kiradi. Ko‘chuvchan iste’molchilarga temir yo‘lda ta’mirlash ishlarini bajarish uchun ma’lum masofalarga ko‘chiriluvchi elektr jihozlar va mexanizmlar kiradi¹³¹.

Yirik temir yo‘l bekatlarida joylashgan tortuvchi bo‘lmagan iste’molchilar (masalan, posyolka, zavod va depolar)ning elektr ta’minoti odatda enyergotizimning o‘sha joydagi nimstansiyasidan, tortuvchi nimstansiyadan yoki temir yo‘l issiqlik elektr stansiyasidan ta’minlanadi.

Temir yo‘l transportida ishlab chiqarish jarayonlari to‘liq elektrlashtirilayotganligi sababli statsionar va ko‘chuvchan liniya iste’molchilarini ta’minlash uchun bo‘ylama elektr uzatish liniyalari keng qo‘llanilmoqda.

Temir yo‘l atrofida joylashgan va liniya bo‘ylab taqsimlangan yuklamalarni elektr energiya bilan ta’minlash uchun kuchlanishi 6, 10, 25 va 35 kV bo‘lgan uchta simli uch fazali tok liniyalari va kuchlanishi 25 kV bo‘lgan,

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

uchinchi sim o'rnida relslardan foydalanuvchi «ikki sim - rels» (ISR) tizimidagi liniyalar qo'llaniladi.

Uchta simli uch fazali liniyalarni elektr hisoblash taqsimlovchi tarmoq liniyalarini hisoblashdan farq qilmaydi. ISR liniyalarining ishlash shartlari keskin farq qiladi. Fazalarning bir jinsli emasligi, kontakt sim va relsdagi tortuvchi toklarning elektromagnit ta'sirlari sezilarli bo'lishi, toklarning relslar va qisman yer bo'yicha qaytish sharti ISR liniyalarining elektr hisoblarini ancha murakkablashtiradi¹³².

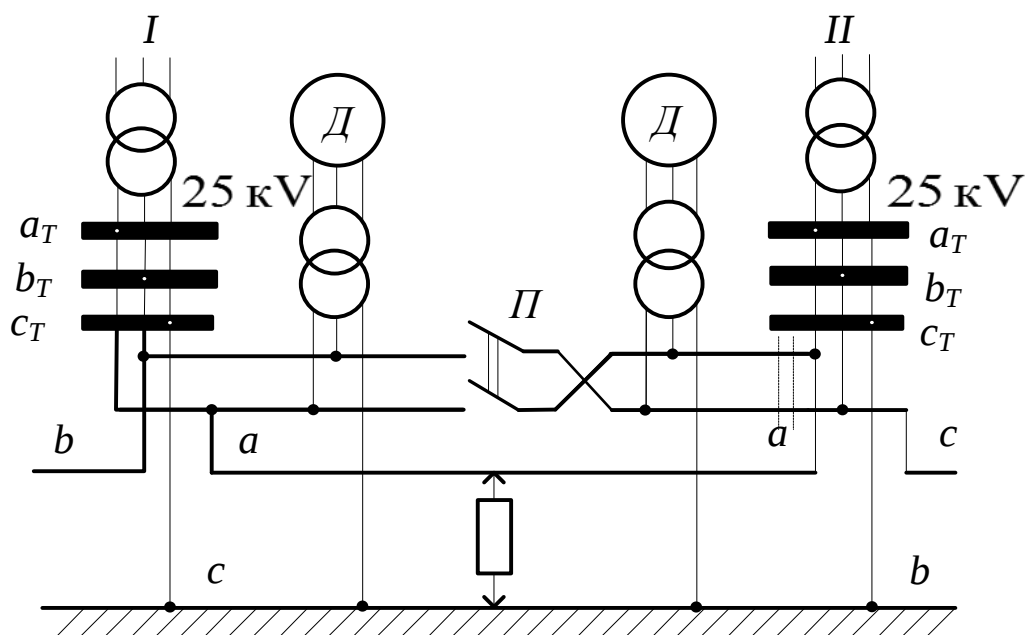
10.2. «Ikki sim - rels» tizimi parametrlari

Aniqlik uchun faraz qilaylik, ISR liniyasi «a» va «b» fazalardan ta'minlanayotgan bo'lsin, «s» faza relslarga ulangan (10.1 - rasm). Yuklama simmetrik $\dot{I}_s = -\dot{I}_a - \dot{I}_b$ bo'lgan chog'da ISR liniyasini sim-yer ko'rinishidagi ikkita bir simli liniya deb qarash mumkin. Bunda tok faqatgina yer orqali emas, qisman rels orqali ham orqaga qaytadi.

«Ikki sim – rels» liniyalari uchun odatda konsol ta'minlanish sxemasi qo'llaniladi ya'ni ular tortuvchi uchastkalarining o'rtalarida uzilgan bo'ladi. Bunga sabab, agar ISR liniyalari berk bo'ladigan bo'lsa qo'shimcha muvozanatlovchi toklar vujudga keladi, bu esa yo'l qo'yib bo'lmaydigan hol, chunki bu liniyalarning simlari kichik kesim yuzalariga ega. Agar halokatli sharoitlarda tortuvchi uchastkaning butun uzunligi bo'ylab ISR liniyalarini bir tomonlama ta'minlanish zarurati paydo bo'lgan takdirda, asinxron yuritgichlar aylanish yo'nalishlarini o'zgartirmaslik uchun ISR liniyalarining qismlari ulangan joyda ikki fazani qayta ulagich II dan foydalaniladi.

²

Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.



10.1-rasm. Kontakt tarmoq va ISR liniyalari bo'laklarining ta'minlanish sxemasi

ISR liniyalarini elektr hisoblashni bajarish uchun uning ikki asosiy parametrlarini, ya'ni tokning faqatgina yer bo'yicha emas, temir yo'l relslari bo'yicha ham qaytgan chog'idagi fazaning to'la qarshiligi Z_f va xuddi shu shartlarga ko'ra ikki faza orasidagi o'zaro induksiya to'la qarshiligi Z_{f-f} ni hisoblashni bilish zarur. Undan tashqari, tortuvchi tarmoq va ISR liniyalari fazalari orasidagi o'zaro induksiya to'liq qarshiligi Z_{f-f} ni ham aniqlash lozim¹³³.

Hisoblash boshida temir yo'l izi relslarini elektr toki o'tkazgichi sifatida qaraymiz. Sirt effekti natijasida relsning aktiv qarshiligi uning Omlardagi qarshiligidan tok qiymatiga bog'liq holda 5-10 marta ortib ketadi (10.1 - jadval). Relslarda ichki magnit oqim kuchli bo'lganligi uchun uning ichki induktiv qarshiligi nisbatan katta bo'ladi.

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

Rels turi	Chastota 50 Gs, relsdagi tok qiymati turli, A, bo'lganda rels qarshiligi, Om/km.			
	0	100	200	300
Aktiv qarshilik Rp				
R75	0,14	0,15	0,19	0,22
R65	0,15	0,16	0,20	0,24
R50	0,17	0,18	0,23	0,28
R43	0,19	0,21	0,27	0,33
Ichki induktiv qarshilik X				
R75	0,10	0,11	0,14	0,17
R65	0,11	0,12	0,15	0,18
R50	0,13	0,14	0,17	0,21
R43	0,14	0,16	0,20	0,25

Chastotasi 50 Gs bo'lgan o'zgaruvchan tokka rels- yer tizimining birlik iz uzunligi uchun to'liq qarshiligi hisoblashlarda quyidagicha olinadi:

$$\underline{Z}_{r-z} = R_r + 0,05 + j(0,145 \lg D_e / r_e + x'')$$

Bunda r_e - relsning ekvivalent radiusi bo'lib, R75, R65, R50, R43 turidagi relslar uchun mos holda 11,9; 11,1; 9,9; 8,9 sm. ga teng¹³⁴.

Temir yo'l izlari relslari o'zaro elektr bog'lanishga ega. Undan tashqari bu relslar o'z induksiya magnit oqimlari bilan ham bog'langan. O'ta yuqori kuchlanish liniyalari tolalangan fazalari simlari ham ayni shunday sharoitda bo'ladi. Tolalangan fazali liniya parametrlarini hisoblanganidek, temir yo'l izi ikki relsini ekvivalent radiusi r_e bo'lgan o'tkazgich bilan almashtirib, tolalangan fazaning ekvivalent radiusini topish formulasiga ko'ra quyidagiga ega bo'lamiz:

$$r_e = \sqrt[n]{r_{sim} \alpha_{12} \dots \alpha_{1n}}, \quad (10.1)$$

Bunda n - tolalangan fazadagi o'tkazgichlarning soni, r_{sim} - o'tkazgich radiusi; $\alpha_{12} \dots, \alpha_{1n}$ – tolalangan faza o'tkazgichlari orasidagi masofalar.

(10.1) formulagaga ko'ra ikki relsni bitta o'tkazgichga almashtirib

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

quyidagini hosil qilamiz:

$$r_{e_1} = \sqrt{r_e d_1}, \quad (10.2)$$

bunda d_1 - temir yo‘l izlari relslari orasidagi masofa.

Bir izli temir yo‘l uchun relslar – yer tizimining to‘la qarshiligi:

$$\underline{Z}_{r-z1} = 0,5R_r + 0,05 + j(0,145 \lg D_e / r_e + 0,5x'') \quad (10.3)$$

Agar o‘zaro elektrik bog‘langan ikkita parallel izlar bo‘lgan chog‘da almashtiruvchi o‘tkazgichning ekvivalent radiusi:

$$r_{e_2} = \sqrt{r_e d_2} = \sqrt[4]{r_e d_1 d_2^2} \quad (10.4)$$

bunda d_2 - ikki temir yo‘l izlari orasidagi masofa.

Ikki izli temir yo‘l uchun relslar - yer tizimining to‘la qarshiligi:

$$\underline{Z}_{r-z2} = 0,25R_r + 0,05 + j(0,145 \lg D_e / r_e + 0,25x'') \quad (10.5)$$

ISR liniyasining to‘liq faza qarshiligi $\underline{Z}_f$ ni aniqlaylik. O‘tkazgich – yer konturidagi tok I_f rels – yer konturida o‘zaro induksiya e.yu.k. E_M ni vujudga keltiradi. Bu e.yu.k. qiymatini hisoblash uchun ISR liniya simi – yer va rels – yer konturlari orasidagi o‘zaro induksiya to‘liq qarshiligi $\underline{Z}_{d-r}$ ni bilish lozim. Buning uchun ikkita o‘tkazgich– yer tizimi simlari o‘zaro induksiya to‘liq qarshiligidan foydalanamiz:

$$\underline{Z}_{OM} = 0,05 + j0,145 \lg D_E / D$$

Shu formulaga ko‘ra:

$$\underline{Z}_{d-r} = 0,05 + j0,145 \lg D_e / D_{d-r} \quad (10.6)$$

bunda D_{d-r} - ISR liniya simlari va ekvivalent rels orasidagi o‘rtacha masofa. ISR liniyasi a va b fazalari simlaridan temir yo‘l izlariga joylashtirilishi lozim bo‘lgan ekvivalent relslargacha bo‘lgan masofalar biri – biridan juda kam farq qiladi (10.2 – rasm). Shuning uchun unchalik katta bo‘lmagan hatolik bilan

bu masofalarni bir xil deb hisoblasa bo‘ladi.

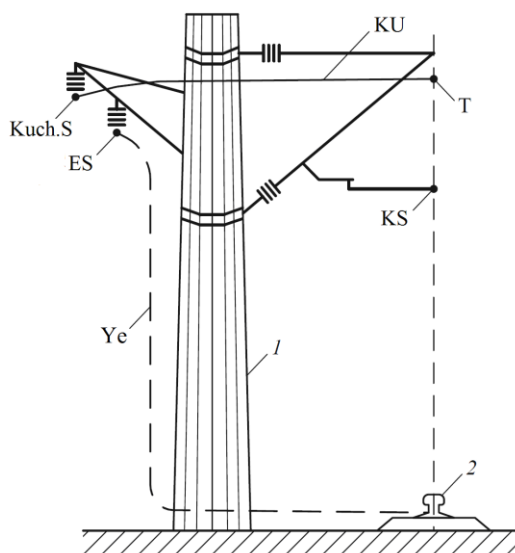
$$I_{ra} = -E_M / Z_{r-z} = I_a Z_{d-r} / Z_{r-z} .$$

Temir yo‘l izlari relslaridagi toklar vujudga keltirgan o‘zaro induksiya e.yu.k. ni hisobga olgan holda ISR liniyasi faza simidagi kuchlanish pasayishni topamiz:

$$\Delta U_a = I_a Z_{r-z} - I_{ra} Z_{d-r} = I_a (Z_{pr-z} - Z_{d-r}^2 / Z_{r-z}) .$$

Shunga ko‘ra ISR liniyasi fazasining to‘la qarshiligi tokning yer bo‘ylab qaytishini hisobga olgan holda quyidagiga teng:

$$Z_f = Z_{pr-z} - Z_{d-r}^2 / Z_{r-z} \quad (10.7)$$



10.2 – rasm. “Ikki sim – rels” liniyasi

Relslar - yer konturida hosil bo‘luvchi o‘zaro induksiya e.yu.k.:
 $E_M = -I_a D_{d-r}$. Bu e.yu.k. relslarda hosil qilgan tok:

$$I_{ra} = -E_M / Z_{r-z}$$

Bu tenglikdagi relslar- yer konturining to‘la qarshiligi Z_{r-z} (10.3) yoki (10.5) formula bo‘yicha aniqlanadi. Sim – yer tizimining to‘la qarshiligini esa quyidagi formula bilan topish mumkin :

$$\underline{Z}_{opr-z} = R_r + 0,05 + j(0,145 \lg D_e / r_{pr} + 0,016).$$

Tok faqatgina ekvivalent chuqurligi D_e bo'lgan yer bo'ylab qaytmasdan qisman relslar bo'ylab ham qaytgani uchun tok sirtmog'ining kengligi kamayadi. Shuning uchun yerdagi to'la qarshiligi Z_f ning induktiv tashkil etuvchisi yer – sim tizimining induktiv qarshiligiga nisbatan kam bo'ladi¹³⁵.

Tokning rels bo'yicha qisman qaytishini hisobga olgan holda ISR liniyasi ikki fazasi o'zaro induksiya to'la qarshiligi Z_{f-f} ni aniqlash uchun bitta (masalan, a) faza simidagi kuchlanish pasayishini boshqa (masalan, b) fazada tok bo'lgan holda topamiz:

$$\Delta U_m = I_b \underline{Z}_{d-d} - I_{rb} \underline{Z}_{d-r} = I_b (\underline{Z}_{d-d} - \underline{Z}_{d-r}^2 / \underline{Z}_{r-z})$$

bunda $\underline{Z}_{d-d}$ - ISR yer simlarining ikki konturi o'zaro induksiya to'la qarshiligi bo'lib, quyidagi formulaga binoan aniqlanadi:

$$\underline{Z}_{om} = 0,05 + j0,145 \lg D_e / D$$

Tokning relslari bo'ylab va qisman yer bo'yicha qaytishini hisobga olgan holda ISR liniyasi fazalari orasidagi o'zaro induksiya to'la qarshilik:

$$\underline{Z}_{f-f} = \underline{Z}_{d-d} - \underline{Z}_{d-r}^2 / \underline{Z}_{r-z} \quad (10.8)$$

Tortuvchi tok ISR liniyalarida o'zaro induksiya e.yu.k.ni vujudga keltiradi. Bu e.yu.k. ISR liniya simlarida kuchlanish isrofni o'zgartirib, sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi, natijada uch fazali kuchlanish tizimida nosimmetriklik vujudga keladi. Tortuvchi yuklama toki ISR liniya simlaridagi tok kabi relslar va qisman yer orqali qaytadi.

Shuning uchun kontakt simi va ISR liniya fazasi orasidagi o'zaro induksiya to'la qarshiligi tokning rels bo'yicha va qisman yer bo'ylab qaytishini hisobga olgan holda (10.8) formulaga ko'ra ifodalanadi:

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

$$\underline{Z}_{t-f} = \underline{Z}_{t-d} - \underline{Z}_{p-r} \cdot \underline{Z}_{d-r} / \underline{Z}_{r-z}, \quad (10.9)$$

Bunda $\underline{Z}_{T-D}$ - kontakt simi - yer va ISR simi - yer konturlari orasidagi o'z induksiya to'la qarshiligi:

$$\underline{Z}_{t-d} = 0,05 + j0,145 \lg D_e / D_{t-d}, \quad (10.10)$$

$\mathcal{D}_{D-D}$ - kontakt simi va ISR liniya simlari orasidagi o'rtacha masofa. Kontakt sim - yer va rels - yer konturlari orasidagi o'zaro induksiya to'la qarshiligi.

$$\underline{Z}_{t-r} = 0,05 + j0,145 \lg D_e / D_{t-r} \quad (10.11)$$

Bunda D_{T-R} - kontakt simi va ekvivalent rels o'rtasidagi masofa¹³⁶.

10.3. ISR liniyalarini elektr hisoblash

O'zgaruvchan tok elektrovozlari bir fazali qilib bajarilginligi uchun elektr tortish yuklamasi nosimmetrik bo'lib, bu esa tortuvchi nim stansiya transformatorlarida va uni ta'minlovchi yuqori kuchlanishli tarmoqda turlicha kuchlanish isrofini vujudga keltiradi. Shuning uchun ISR liniyasi boshidayoq tortuvchi nimstansiyaning 25 kV li shinalaridagi kuchlanish nosimmetrik bo'ladi. ISR liniyalaridagi yuklama simmetrik, chunki bir fazali elektr energiya iste'molchilari ulangan holda ham fazalardagi quvvatlar bir tekis taqsimlanishi choralari ko'riladi. Ammo bu yuklama ISR liniyasining fazalarida bir xil bo'lmagan kuchlanish pasayishlarini keltirib chiqaradi.

Faraz qilaylik, uzunligi l_d bo'lgan ISR liniyasi uning boshlanishidan mos holda l_k masofalarda joylashgan bir nechta uch fazali tortuvchi bo'lmagan yuklamalarni ta'minlaydi. ISR liniyasi mo'ljallangan yuklama toki qiymati:

$$I_{a(b)} = (\sum_{\kappa} I_{\kappa} l_{\kappa}) / l_d$$

²

Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

Qaralayotgan bo‘lakdagi tortuvchi yuklama toki qiymati:

$$I_T = (\sum_n I_{un} l_{un}) / l_d$$

ISR liniya simi - yer (reklar hisobga olinganda) konturida kuchlanish pasayishi uchta qo‘shiluvchidan iborat: birinchisi qaralayotgan konturda $I_{a(b)}$ tok hosil qilgan, ikkinchisi - tok $I_{b(a)}$ yuzaga keltirgan boshqa faza konturi bilan o‘zaro induksiya hosil qilgan, uchinchisi – tortuvchi yuklama toki I_T tufayli kontakt tarmoq – yer (rels) konturida hosil bo‘lgan o‘zaro induksiya keltirib chiqaradigan kuchlanish pasayishi.

Ma’lumki, odatda uchburchak ulangan tortuvchi transformatorning 35 kV li chulg‘aming S_{tr} qisqichi yerga (reklarga) ulanadi. Bunga I turdagi nimstansiyalarda «s» faza, $II - III$ turdagi nimstansiyalarda esa - «b» faza mos keladi. Nimstansiyalarning I (a), II (b), III (v) turlariga mos keluvchi toklar va kuchlanishlarning vektor diagrammalari 10.3 – rasmda ko‘rsatilgan.

ISR liniyalarining I turdagi nimstansiyalardan ta’minlanish shartlarini ko‘raylik. ISR tizimida liniya kuchlanishlari pasayishi:

$$\Delta U_{as} = l_d (\underline{Z}_f I_{ad} + \underline{Z}_{f-f} I_{bd} + \underline{Z}_{t-f} I_t), \quad (10.12)$$

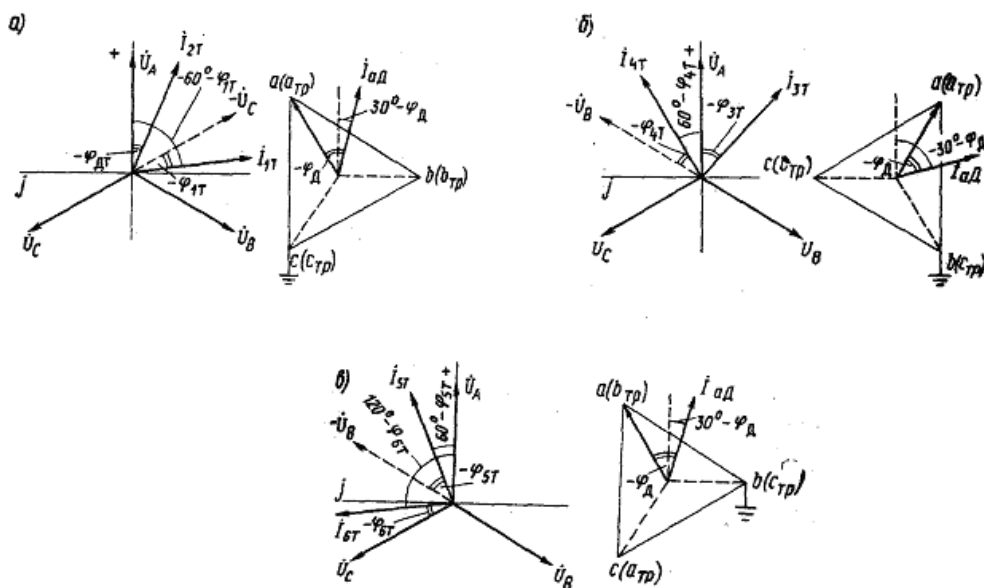
$$\Delta U_{bs} = l_d (\underline{Z}_f I_{bd} + \underline{Z}_{f-f} I_{ad} + \underline{Z}_{t-f} I_t), \quad (10.13)$$

bunda 9.3, a – rasmga binoan :

$$I_{ad} = I_d \cdot e^{j(30^\circ - \varphi_d)};$$

$$I_{bd} = a^2 I_{ad} = I_d \cdot e^{j(90^\circ - \varphi_d)};$$

I_d, φ_d - ISR liniyasidagi uch fazali yuklamaniig «a» fazasi toki moduli va siljish burchagi.



10.3 – rasm. Nimstansiyalarning I (a), II (b), III (v) turlariga mos keluvchi toklar va kuchlanishlarning vektor diagrammalari

$\Delta U_{ba} = \Delta U_{bs} - \Delta U_{as}$ - ekanligini hisobga olib, liniya kuchlanishlari pasayishlarining to'g'ri ketma-ketligini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned}\Delta U_{pr} &= \frac{1}{3}(\Delta U_{as} + a\Delta U_{ba} + a^2\Delta U_{sb}) = \frac{1}{3}[(1-a)\Delta U_{as} + (a-a^2) \cdot \Delta U_{bs}] = \\ &= \frac{1}{3}[\sqrt{3} e^{-j30^\circ} \Delta U_{as} + \sqrt{3} e^{j90^\circ} \Delta U_{bs}].\end{aligned}$$

Bu formulaga (10.12) va (10.13) ifodalarni qo'yib, va $I_b = I_a e^{-j120^\circ}$ ekanligini hisobga olib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned}\Delta U_{pr} &= \frac{l_a}{\sqrt{3}}[e^{-j30^\circ} (\underline{Z}_f \cdot I_{ad} + \underline{Z}_{f-f} I_{bd} + \underline{Z}_{t-f} I_t) + \\ &+ e^{-j30^\circ} (\underline{Z}_f I_b + \underline{Z}_{f-f} I_{ad} + \underline{Z}_{t-f} I_t)] = \frac{l_d}{\sqrt{3}}[(e^{-j30^\circ} + e^{-j30^\circ}) \underline{Z}_f I_{ad} + \\ &+ (e^{-j150^\circ} + e^{-j90^\circ}) \cdot \underline{Z}_{f-f} I_{ad} + (e^{-j30^\circ} + e^{-j90^\circ}) \underline{Z}_{t-f} I_t]; \\ \Delta U_{pr} &= \frac{l_d}{\sqrt{3}}[e^{-j30^\circ} (2\underline{Z}_f - \underline{Z}_{f-f}) \cdot I_{ad} + e^{j30^\circ} \underline{Z}_{t-f} I_t].\end{aligned}\quad (10.14)$$

Liniya kuchlanishlari pasayishlarining teskari ketma-ketligi:

$$\Delta U_{tesk} = \frac{1}{3}(\Delta U_{as} + a^2\Delta U_{ba} + a\Delta U_{sb}) = \frac{1}{3}[(1-a^2)\Delta U_{as} +$$

$$\begin{aligned}
& + (a^2 - a)\Delta U_{bs}] = \frac{l_d}{\sqrt{3}} [e^{-j30^\circ} (\underline{Z}_f I_{ad} + \underline{Z}_{f-f} I_{bd} + \underline{Z}_{t-f} I_t) + \\
& + e^{-j90^\circ} (\underline{Z}_f I_{bd} + \underline{Z}_{f-f} I_{ad} + \underline{Z}_{t-f} I_t)] = \frac{l_d}{\sqrt{3}} [(e^{-j30^\circ} + e^{-j150^\circ}) \underline{Z}_f I_{ad} + \\
& + (e^{-j90^\circ} + e^{-j90^\circ}) \cdot \underline{Z}_{f-f} I_{ad} + (e^{-j30^\circ} + e^{-j90^\circ}) \underline{Z}_{t-f} I_t]; \\
& \Delta U_{tesk} = \frac{l_d}{\sqrt{3}} [e^{j90^\circ} (\underline{Z}_f - 2\underline{Z}_{f-f}) I_{ad} + e^{-j30^\circ} \underline{Z}_{t-f} I_t]. \quad (10.15)
\end{aligned}$$

ISR liniyalarining *II* va *III* turdagi nimstansiyalardan ta'minlanish shartlarini ko'raylik. Bu holda 25 kV li transformatorlarning o'ramlaridagi «b» fazalari yerga ulanganligi uchun qidirilayotgan kattaliklar ham boshqacha qiymatlarni oladi. ISR liniyasidagi kuchlanish pasayishi «b» fazasining yerga ulanganligini hisobga olingan holda quyidagicha yoziladi:

$$\Delta U_{ab} = l_d (\underline{Z}_f I_{ad} + \underline{Z}_{f-f} I_{sd} + \underline{Z}_{t-f} I_t)$$

$$\Delta U_{sb} = l_d (\underline{Z}_f I_{sd} + \underline{Z}_{f-f} I_{ad} + \underline{Z}_{t-f} I_t)$$

Liniya kuchlanishlari pasayishlarining to'g'ri ketma - ketligi kuchlanishi:

$$\Delta U_{pr} = \frac{1}{3} (\Delta U_{ab} + a\Delta U_{bs} + a^2\Delta U_{sa})$$

Agar $\Delta U_{sa} = -\Delta U_{bs} - a\Delta U_{ab} = \Delta U_{sb} - \Delta U_{ab}$ ekanligini hisobga olsak, u holda

$$\begin{aligned}
\Delta U_{pr} &= \frac{1}{3} [(1-a^2)\Delta U_{ab} + (-a+a^2)\Delta U_{sb}] = \frac{1}{3} [\sqrt{3} e^{-j30^\circ} \Delta U_{ab} + \\
& + \sqrt{3} e^{-j90^\circ} \Delta U_{sb}] = \frac{l_d}{\sqrt{3}} [e^{-j30^\circ} \Delta U_{ab} + \sqrt{3} e^{-j90^\circ} \Delta U_{sb}] = \\
&= \frac{l_d}{\sqrt{3}} [e^{j30^\circ} (\underline{Z}_f I_{ad} + \underline{Z}_{f-f} I_{sd} + \underline{Z}_{t-f} I_t) + e^{-j90^\circ} (\underline{Z}_f I_{sd} + \underline{Z}_{f-f} I_{ad} + \\
& + \underline{Z}_{t-f} I_t)] = \frac{l_d}{\sqrt{3}} [(2\underline{Z}_f - \underline{Z}_{f-f}) I_{ad} e^{j30^\circ} + \underline{Z}_{t-f} I_t e^{-j30^\circ}]. \quad (10.16)
\end{aligned}$$

Liniya kuchlanishlari pasayishlarining teskari ketma - ketlik kuchlanishi:

$$\Delta U_{reck} = \frac{1}{3} (\Delta U_{ab} + a^2\Delta U_{bc} + a\Delta U_{ca}) = \frac{1}{3} [(1-a)\Delta U_{ab} + (-a+a^2)\Delta U_{cb}]$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{3} [\sqrt{3} e^{-j30^\circ} \Delta U_{ab} + \sqrt{3} e^{j90^\circ} \Delta U_{cb}] = \\
&= \frac{l_d}{\sqrt{3}} [e^{-j30^\circ} (\underline{Z}_f I_{ad} + \underline{Z}_{f-f} I_{sd} + \underline{Z}_{t-f} I_t) + e^{j90^\circ} (\underline{Z}_f I_{sd} + \underline{Z}_{f-f} I_{ad} + \underline{Z}_{t-f} I_t)] = \\
&= \frac{l_d}{\sqrt{3}} [(\underline{Z}_f - 2\underline{Z}_{f-f}) I_{ad} e^{-j90^\circ} + \underline{Z}_{t-f} I_t e^{j30^\circ}]. \quad (10.17)
\end{aligned}$$

ISR liniyalarida shu liniyalar toklari va tortuvchi yuklama toklari tufayli liniya kuchlanishlari pasayishlarining simmetrik tashkil etuvchilari 10.2 – jadvalda keltirilgan. Transformatorning yerga ulangan fazasi Str va tortuvchi toklar raqamlanishi 10.3 – rasmda ko‘rsatilgan va u tortish tarmog‘i kuchlanishi 2x25 kV bo‘lgan uchastkaning simli sxemasiga mos keladi.

10.2. – jadval

ISR liniya bo‘lagi raqami	Tortuvchi nimstansiyalar orasidagi bo‘lak	ISR liniyasidagi tok (9.3 - rasmga qarang)	Kontakt tarmoq toki (9.3 -rasmga qarang)	To‘g‘ri ketma-ketlik $\sqrt{3}U_{pr}/I_D$ (9.14 va 9.16 formulalarga qarang)	Teskari ketma-ketlik $\sqrt{3}U_{tes}/I_D$ (9.15 va 9.17 formulalarga qarang)
1.	I	$I_{ad} = I_d \cdot e^{j(30^\circ - \varphi_d)}$	$I_{1T} = I_{1T} \cdot e^{j(60^\circ - \varphi_{1T})}$	$(2\underline{Z}_f - \underline{Z}_{f-f}) \cdot I_{ad} e^{-j30^\circ} + \underline{Z}_{T-\phi} \cdot I_T e^{j30^\circ}$	$(\underline{Z}_f - 2\underline{Z}_{f-f}) \cdot I_{ad} e^{j90^\circ} + \underline{Z}_{T-\phi} \cdot I_T e^{-j30^\circ}$
2.	$I \rightarrow II$		$I_{2T} = I_{2T} \cdot e^{-j\varphi_{2T}}$		
3.	$II \rightarrow I$	$I_{ad} = I_d \cdot e^{j(30^\circ - \varphi_d)}$	$I_{3T} = I_{3T} \cdot e^{-j\varphi_{3T}}$	$(2\underline{Z}_\phi - \underline{Z}_{\phi-\phi}) \cdot I_{ad} e^{j30^\circ} + \underline{Z}_{T-\phi} \cdot I_T e^{-j30^\circ}$	$(\underline{Z}_f - 2\underline{Z}_{f-f}) \cdot I_{ad} e^{-j90^\circ} + \underline{Z}_{T-f} \cdot I_T e^{j30^\circ}$
4.	$II \rightarrow III$		$I_{4T} = I_{4T} \cdot e^{j(60^\circ - \varphi_{4T})}$		
5.	$III \rightarrow II$	$I_{ad} = I_d \cdot e^{j(30^\circ - \varphi_d)}$	$I_{5T} = I_{5T} \cdot e^{j(60^\circ - \varphi_{5T})}$		
6.	$III \rightarrow III$		$I_{6T} = I_{6T} \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_{6T})}$		

(10.14)-(10.17) formulalarga kiruvchi Z_f, Z_{f-f} va Z_{T-f} kattaliklar mos holda (10.7), (10.8) va (10.9) formulalarga binoan aniqlanadi. Shuni ta’kidlash lozimki, ikkita parallel iz bo‘lgan holda (10.14) - (10.17) formulalarga kiruvchi

ohirgi had ikkita qo‘shiluvchidan iborat bo‘ladi.

ISR liniyasi yuklamalari asinxron yuritgichlarining o‘ramlari yeyilishini aniqlovchi ISR liniyasi oxiridagi tortuvchi yuklama liniya kuchlanishlarining nosimmetriklik koefitsienti:

$$\alpha_u \approx \alpha_{ush} - \Delta U_{tesk} / U_{nom}, \quad (10.18)$$

bunda α_{ish} - ISR liniyasini ta‘minlovchi tortuvchi nimstansiya shinalaridagi liniya kuchlanishlari nosimmetriklik koefitsienti; U_{nom} - ISR liniyasining nominal (25 kV) kuchlanishi.

To‘g‘ri va teskari ketma - ketliklarning liniya kuchlanishlari pasayishlarini bilgan holda, ISR liniyasi ohiridagi yuklamalar liniya kuchlanishlarining o‘zgarishlarini aniqlash mumkin:

$$\Delta U_{as} = \Delta U_{pr} + \Delta U_{tesk}, \quad \Delta U_{as} = \Delta U_{pr} + \alpha^2 \Delta U_{tesk}$$

$$\Delta U_{sb} = \Delta U_{pr} + \alpha \Delta U_{tesk}$$

Shunday qilib, qidirilayotgan kattaliklar - ISR uch fazali tizimida liniya kuchlanishlari isroflarini aniqladik¹³⁷.

10.4. Avtoajratkich qurilmalarini ta‘minlovchi uzatish liniyalari

Avtoajratgich poezdlar ketma-ket yurganda eng kichik oraliq havfsizligini ta‘minlaydi. Buning uchun temir yo‘l bekatlari orasidagi masofa ko‘rsatishi poezdlar harakatlanayotgan joyga bog‘lik bo‘lgan svetoforlar yordamida blok - bo‘laklariga ajratiladi. Temir yo‘l bo‘laklarining havfsizligi va o‘tkazish qobiliyati avtoajratgichning ishlash ishonchliligiga ko‘p jihatdan bog‘liq. Oziqlanishda bo‘lgan uzilish poezdlar harakat grafigi buzilishiga va hattoki yo‘lovchilar va transport xodimlari hayotiga havf tug‘ilishiga olib keladi. Shuning uchun elektr qurilmalarini o‘rnatish qoidalari (EUQ) ga ko‘ra signalizatsiya va avtoajratkich qurilmalari elektr iste‘molchilarning 1-toifa maxsus guruhiga kiritilishi shart.

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

Bu maxsus guruh elektr ta'minoti ikkita mustaqil manbadan tashqari uchinchi mustakil manbadan ta'minlangan bo'lishi kerak. Bitta avtoajratgich qurilmasi (svetofor, rels va boshqa qurilmalar bilan) iste'mol etuvchi quvvat uncha katta emas: 1-10 kVA. avtoajratgich qurilmalari tortuvchi nim stansiyaning hususiy zaruriyat shinalaridan yoki yaqinroqda joylashgan transformator punktidan 6 yoki 10 kV li liniyalardan elektr energiya bilan ta'minlanadi. Avtoajratgich qurilmalarini ta'minlovchi amalda qo'llaniluvchi sxemalardan birini ko'raylik. Bu sxemaga ko'ra liniya ikki tomondan ta'minlanadi. Fider zonasi o'rtasida yuqori voltli uzgich o'rnatilgan. Normal rejimda bo'lak bir tomonlama ta'minlanadi. Zahira manbai sifatida mustaqil tayanchlarga yoki kontakt tarmoq tayanchlariga osilgan 6 yoki 10 kV li liniya ko'zda tutilgan. Bazi hollarda zahira manbai sifatida, ISR liniyasidan foydalaniladi¹³⁸.

Elektrlashtirilmagan temir yo'llarda yoki elektr tortish o'zgarmas tokda amalga oshiriluvchi bo'laklarda avtoajratgich qurilmalarining elektr ta'minoti 50 Gs chastotali o'zgaruvchan tokda amalga oshiriladi. Agar temir yo'l 50 Gs chastotada elektrlashtirilgan bo'lsa, bu chastota avtoajratgich qurilmalarini ta'minlash uchun ruxsat etilmaydi. Kontakt tarmoqdan ISR liniyalari bo'yicha va tortuvchi nimstansiyalarni ta'minlovchi yuqori kuchlanish bo'ylama liniyalari bo'yicha o'tuvchi toklarning elektromagnit ta'siri apparaturalarning yolg'ondan ishlab ketishiga olib kelishi mumkin. Bunday holda avtoajratgich 25 yoki 75 Gs chastota bilan ta'minlanadi. Chastota 25 Gs bo'lganda energiya chastotasi 50 Gs li liniya bo'yicha uzatiladi va uni rels zanjirlari qurilmalarini ta'minlovchi sxemalarda ko'zda tutilgan elektrostatik o'zgartgichlar yordamida o'zgartirib beriladi. Bu qurilmalar odatda avtoajratgichning signal nuqtalari shkafida joylashgan. Agar 75 Gs chastota qo'llanilgan bo'lsa, u holda avtoajratgich qurilmalari tortuvchi nimstansiyada o'rnatilgan elektr mashina

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

o'zgartirgichlardan ta'minlanadi.

EUQ ga ko'ra 1 - toifali istemolchilarni ta'minlovchi liniyalar kesim yuzasi 16 mm^2 kam bo'lmagan rangli metallardan yasalgan ko'p simli o'tkazgichdan iborat bo'lishi kerak. Lekin, avtoajratgichni ta'minlovchi liniyalar yuklamasi kam bo'lgani uchun bu shart har doim ham bajarilavermaydi. Ba'zan diametri 5 mm bo'lgan ruhlangan po'lat sim (PSO-5) yoki po'latli ko'p tomirli PS-25 va PS-35 simlardan foydalaniladi. Kimyo korxonalari yaqinida joylashgan bo'laklarda esa po'lat-misli TSM-22, TSM-35, TSM-50 (10.3-jadvalda keltirilgan) simlardan foydalanish tavsiya etiladi.

10.3-jadval

Sim markasi	Sim diametri mm	Tok, A	Qarshiliklar qiymatlari, Om/km			Kuchlanish, kV bo'lganda sig'im quvvati, kvar/km	
			Aktiv	Ichki induktiv	Tashqi induktiv	6	10
TS M-22	6	5	3,54	062	0,364	0,108	0,300
		10	3,67	09			
		15	3,85	1,3			
		20	4,2	1,5			
TS M-35	7,5	5	2,23	0,25	0,350	0,113	0,314
		10	2,26	0,3			
		15	2,28	035			
		20	2,32	042			
TS M-50	9	5	1,52	0,17	0,339	0119	0,322
		10	1,53	022			
		15	1,55	025			
		20	1,57	032			

Namuna 10.1. Nimstansiya **I** dan nimstansiya **II** yo'nalishda bir tomonlama ta'minlanuvchi ISR liniyalari ohiridagi uch fazali kuchlanishning nosimmetriklik koeffitsientini aniqlang (10.1-rasm va 10.2-jadvalga qarang). Liniyaning uzunligi $l_d=25 \text{ km}$; rusumi AS-35; liniya ohiriga ulangan rayon (tortuvchi bo'lmagan) yuklama quvvati $\cos \varphi=0,8$ bo'lganda, $S_r=1500 \text{ kVA}$ ga

teng.

Qaralayotgan bo'lakning uzunligi davomida kontakt tarmoq liniyasidagi tok $\cos \varphi_T = 0,85$ da $I_t = 200$ A ga teng. Yo'l bir izli, relslar R- 65 rusumli.

Liniyadagi rayon yuklamasi toki:

$$I_d = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 25} e^{-j36^\circ 50'} = 34,7 e^{-j36^\circ 50'} A$$

Tortuvchi yuklama toki:

$$I_t = 200 e^{-j36^\circ 50'} A$$

ISR liniyasi o'lchamlari (10.2-rasm)ga mos holda yordamchi kattaliklar Z_{pr-z} , Z_{r-z} va Z_{d-d} , Z_{t-r} larni aniqlaymiz:

$$\underline{Z}_{pr-z} = R_{pr} + 0,05 + j(0,145 \lg \frac{D_e}{G_{pr}} + 0,016) = 0,91 + 0,05 +$$

$$+ j(0,145 \lg \frac{1000}{4,2 \cdot 10^{-3}} + 0,016) = 0,96 + j0,796 \text{ Om} / km$$

$$\underline{Z}_{d-r} = 0,05 + j0,145 \lg \frac{D_e}{D_{d-r}} = 0,05 + j0,145 \lg \frac{1000}{\sqrt{7,5^2 + 5,35^2}} =$$

$$= 0,299 e^{-j80^\circ 30'} \text{ Om} / km;$$

$$\underline{Z}_{r-z} = \frac{R_r}{2} + 0,05 + j(0,145 \lg \frac{D_e}{\alpha_{ei}} + \frac{x''}{2}) = \frac{0,16}{2} + 0,05 + j(0,145 \lg \cdot$$

$$\frac{1000}{\sqrt{7,5^2 + 5,35^2}} + \frac{0,12}{2}) = 0,570 e^{-j76^\circ 50'} \text{ Om} / km$$

$$\underline{Z}_{t-d} = 0,05 + j0,145 \lg \frac{D_e}{D_{t-d}} = 0,05 + j0,145 \lg \frac{1000}{5,25} =$$

$$= 0,05 + j0,331 \text{ Om} / km$$

$$\underline{Z}_{t-r} = 0,05 + j0,145 \lg \frac{D_e}{D_{t-r}} = 0,05 + j0,145 \lg \frac{1000}{6,4} =$$

$$= 0,322 e^{-j81^\circ 05'} \text{ Om} / km$$

ISR liniyasi parametrlari $\underline{Z}_f$, $\underline{Z}_{f-f}$ va $\bar{Z}_{T-f}$ larni topamiz:

$$\underline{Z}_f = \underline{Z}_{pr-z} - \frac{\underline{Z}_{d-r}^2}{\underline{Z}_{r-z}} = 0,96 + j0,796 - (0,299 e^{-j80^\circ 30'})^2 /$$

$$/(0,570 e^{-j76^\circ 50'}) = 0,944 + j0,640 \text{ } Om/km$$

$$\underline{Z}_{f-f} = \underline{Z}_{d-d} - \frac{\underline{Z}_{d-r}^2}{\underline{Z}_{r-z}} = 0,05 + j0,409 - (0,299 e^{-j80^\circ 30'})^2 /$$

$$/0,570 e^{-j76^\circ 50'} = 0,033 + j0,253 \text{ } Om/km$$

$$\underline{Z}_{t-f} = \underline{Z}_{t-d} - \frac{\underline{Z}_{t-r} \cdot \underline{Z}_{d-r}}{\underline{Z}_{r-z}} = 0,05 + j0,331 -$$

$$- \frac{0,322 e^{-j81^\circ 51'} \cdot 0,299 e^{-j80^\circ 30'}}{0,570 e^{-j76^\circ 50'}} = 0,167 e^{-j78^\circ 10'} \text{ } Om/km$$

ISR liniyasida teskari ketma-ketlikdagi liniya kuchlanishlari pasayishlari (10.2-jadvalga qarang):

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{tesk}} &= \frac{l_d}{\sqrt{3}} [(\underline{Z}_f - 2\underline{Z}_{f-f}) I_{1d} e^{j(120^\circ - \varphi_d)} + \underline{Z}_{t-f} I_{2t} e^{-j(30^\circ + \varphi_{2r})}] = \\ &= \frac{25}{\sqrt{3}} \left\{ [+0,944 + j0,640 - 2(0,033 + j0,253)] \cdot 34,6 e^{j(120^\circ - 36^\circ 50')} + \right. \\ &+ 0,167 e^{-j78^\circ 10'} \cdot 200 e^{-j(30^\circ + 31^\circ 50')} \left. \right\} = 444 e^{-j91^\circ 50'} + 483 e^{-j16^\circ 20'} = \\ &= 733 e^{-j52^\circ 10'} V. \end{aligned}$$

ISR liniyasi oxiridagi liniya kuchlanishlarining nosimmetriklik koeffitsienti:

$$\alpha_d \approx \Delta U_{\text{tesk}} \cdot 100 / U_{\text{nom}} = 733 e^{j52^\circ 10'} \cdot 100 / 25000 = 2,9 \%^{139}.$$

² Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. București, 2005. – 865pp.

Фойдаланилаган адабиётлар

1. Mircea eremia (editor). Electric power systems volume i electric networks. Editura academiei române. Bucureşti, 2005. – 865pp.
2. S. Sivanagaraju. Electric Power Transmission and Distribution, Pearson Education, India, 2008. – 745pp.
3. Сафаров А.М., Гойибов Т., Суллийев А.Х. Электр тармоқлари ва тизимлари Тошкент 2013 й., 224с.
4. Лыкин А.В. Электрические системы и сети М.: ЭНАС. 2017, 254с.
5. Караев Р.И., Волобынский С.Д. Электрические сети и энергосистемы. М.: Транспорт, 1988, 256 с.
6. Идельчик Л.И. Электрические сети и системы. М.: Высшая шк., 1988, 325 с.
7. Правила устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 2006. 220 с.
8. Каримов Х.Г. ва бошқ. Электр тармоқлари ва тизимлари. Тошкент, ТошДТУ, Ўқув қўлланма, 1996, 160 б.
9. Новгородцев А.Б. Расчет электрических цепей в МАТЛАБ: Учебный курс. – СПб.: Питер, 2004. – 250 с.
10. Короткевич М.А. Эсплуатация электрических сетей. М.: ЭНАС 2005. 364с.
11. www.earthscan.co.uk
12. <http://dnb.d-nb.de>
13. www.elsevierdirect.com

I. ILOVA

1. HAVO VA KABELLI ELEKTR UZATISH LINIYALARINING TEXNIK MA'LUMOTLARI

I.1–jadval

**35 va 110 kV nominal kuchlanishdagi po'latalyuminiy o'tkazgichli havo
liniyalarining xisobiy ma'lumotlari
(100 km uchun)**

O'tkazgichning nominal kesim yuzasi, mm ²	r ₀ , Om, +20 ⁰ C da	35 kV	110 kV		
		x ₀ , Om	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ , Sm	q ₀ , MVAR
70/11	42,8	43,2	44,4	2,55	3,40
95/16	30,6	42,1	43,4	2,61	3,50
120/19	24,9	41,4	42,7	2,66	3,55
150/24	19,8	40,6	42,0	2,70	3,60
185/29	16,2	-	41,3	2,75	3,70
240/32	12,0	-	40,5	2,81	3,75

**220-1150 kV nominal kuchlanishdagi po'latalyuminiy o'tkazgichli havo liniyalarining xisobiy
ma'lumotlari (100 km uchun)**

O'tkazgichni ng nominal kesim yuzasi, mm ²	Fazad agi o'tkaz guchl ar soni	r ₀ , Om, +20 ⁰ C da	220 kВ			330 kВ			500 kВ			750 kВ			1150 kВ					
			x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVar	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , M Var	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVar	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVar	D _{vp} =15 м			D _{vp} =24,2 м		
															x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVar	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVar
240/32	1	12,1	43,5	2,60	13,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	6,0	-	-	-	33,1	3,38	40,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240/39	11	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,3	5,95	786,9	-	-	-
240/56	5	2,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,8	3,76	211,5		-	-	-	-	-
300/39	1	9,8	42,9	2,64	14,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	4,8	-	-	-	32,8	3,41	40,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300/48	8	1,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,6	4,43	585,9
300/66	3	3,4	-	-	-	-	-	-	31,0	3,97	99,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,8	4,11	231,2	-	-	-	-	-	-
330/43	3	2,9	-	-	-	-	-	-	30,8	3,60	90,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400/51	1	7,5	42,0	2,70	14,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	3,75	-	-	-	32,3	3,46	41,5												
	3	2,5	-	-	-	-	-	-	30,6	3,62	90,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,6	4,13	232,3			-	-	-	-
400/93	4	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,9	4,13	232,3	-	-	-	-	-	-
500/64	1	6,0	41,3	2,74	14,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	3,0	-	-	-	32,0	3,50	42,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	2,0	-	-	-	-	-	-	30,4	3,64	91,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,3	3,9	219,4	-	-	-	-	-	-

I.3– jadval

Havo liniyalari po'latallyuminiy o'tkazgichlarining diametrlari va uzoq vaqt dovomda ruxsat etilgan toklari

Kesim yuzasi, mm ²	70/11	95/16	120/19	150/24	185/29	240/32	240/39
Diametr, mm	11,4	13,5	15,2	17,1	18,8	21,6	21,6
Tok, A	265	330	390	450	510	605	610

Kesim yuzasi, mm ²	240/56	300/39	300/48	300/66	330/43	400/51	500/64
Diametr, mm	22,4	24,0	24,1	24,5	25,2	27,5	30,6
Tok, A	610	710	690	680	730	825	945

I.4– jadval

Qog'oz izolyasiyalı kabellarning xisobiy ma'lumotlari (1 km uchun)

Tomirning kesim yuzasi, mm ²	r ₀ , Om		6 kV		10 kV		20 kV		35 kV	
	Mis	Alyuminiy	x ₀ Om	q ₀ , kVAr	x ₀ Om	q ₀ , kVAr	x ₀ Om	q ₀ , kBAP	x ₀ Om	q ₀ , kVAr
10	1,84	3,1	0,11	2,3	-	-	-	-	-	-
16	1,15	1,94	0,102	2,6	0,113	5,9	-	-	-	-
25	0,74	1,24	0,091	4,1	0,099	8,6	0,135	24,8	-	-
35	0,52	0,89	0,087	4,6	0,095	10,7	0,129	27,6	-	-
50	0,37	0,62	0,083	5,2	0,09	11,7	0,119	31,8	-	-
70	0,26	0,443	0,08	6,6	0,086	13,5	0,116	35,9	0,137	86
95	0,194	0,326	0,078	8,7	0,083	15,6	0,110	40,0	0,126	95
120	0,153	0,258	0,076	9,5	0,081	16,9	0,107	42,8	0,120	99
150	0,122	0,206	0,074	10,4	0,079	18,3	0,104	47,0	0,116	112
185	0,099	0,167	0,073	11,7	0,077	20,0	0,101	51,0	0,113	115
240	0,077	0,129	0,071	13,0	0,075	21,5	0,098	52,8	0,111	119
300	0,061	0,103	-	-	-	-	0,095	57,6	0,097	127
400	0,046	0,077	-	-	-	-	0,092	64,0	-	-

I.5– jadval

**110 va 220 kV nominal kuchlanishdagi moy to'ldirilgan va plastmassa izolyasiyalikabellarning
xisobiy ma'lumotlari (1 km uchun)**

Tomirning kesim yuzasi, mm ²	Moy to'ldirilgan					Plastmassa izolyasiyalik				
	r ₀ , Om	110 kV		220 kV		r ₀ , Om	110 kV		220 kV	
		x ₀ Om	q ₀ , kVAr	x ₀ , Om	q ₀ Om		x ₀ , Om	q ₀ , kVAr	x ₀ , Om	q ₀ , kVAr
150	0,122	0,200	1180	0,160	3600	-	-	-	-	-
185	0,099	0,195	1210	0,155	3650	-	-	-	-	-
240	0,077	0,190	1250	0,152	3780	-	-	-	-	-
270	0,068	0,185	1270	0,147	3850	0,092	0,120	450	0,120	1100
300	0,061	0,180	1300	0,145	3930	-	-	-	-	-
350	0,051	0,175	1330	0,140	4070	0,086	0,116	755	0,116	1900
400	0,046	0,170	1360	0,135	4200	-	-	-	-	-
425	0,042	0,165	1370	0,132	4260	-	-	-	-	-
500	0,037	0,160	1420	0,128	4450	0,060	0,110	830	0,110	2100
550	0,032	0,155	1450	0,124	4600	-	-	-	-	-
625	0,029	0,150	1500	0,120	4770	0,048	0,1	1040	0,1	2600
700	0,026	0,145	1550	0,116	4920	-	-	-	-	-
800	0,022	0,140	1600	0,112	5030	0,040	0,1	1250	0,1	3700

II – ILOVA

II.1 – jadval

6 va 10 kV kuchlanishli uch fazali ikki chulg'amli transformatorlar

Turi	S _{nom} kVA	Katalogr ma'lumotlari						Xisobiy ma'lumotlar		
		Chulg'amlarning nom. kuchlanishlari, kV		U _k , %	ΔP _K , kVt	ΔP _S , kVt	I _s , %	R _T , Om	X _T , Om	ΔQ _s , kVAr
		YuN	YuN							
TM - 25/6	25	6,3	0,4; 0,23;	4,5-4,7	0,6-0,69	0,105-0,125	3,2	39,6	54	0,8
TM - 25/10	25	10	0,4; 0,23;	4,5-4,7	0,6-0,69	0,105-0,125	3,2	110	150	0,8
TM - 40/6	40	6,3	0,23	4,5	0,88	0,24	4,5	19,8	35,4	1,8
TM - 40/10	40	10	0,4	4,5-4,7	0,88-1	0,15-0,18	3,0	62,5	99	1,2
TM - 63/6	63	6,3	0,4; 0,23	4,7	1,28-1,47	0,36	4,5	13,3	23,2	1,76
TM - 63/10	63	10	0,4; 0,23	4,5-4,7	1,28-1,47	0,22	2,8	37	70,5	1,76
TM – 100/6	100	6,3	0,4; 0,23	4,5-4,7	1,97-2,27	0,31-0,365	2,6	8,18	14,7	2,6
TM – 100/10	100	10	0,4; 0,23	4,5-4,7	1,97-2,27	0,31-0,365	2,6	22,7	40,8	2,6
TM – 160/6-10	160	6,3; 10	0,4; 0,23	4,5-4,7	2,65-3,1	0,46-0,54	2,4	4,35	10,2	3,8
TM – 250/10	250	10	0,4; 0,23	4,5-4,7	3,7-4,2	1,05	2,3-3,7	6,7	15,6	9,2
TM – 400/10	400	10	0,23; 0,69; 3,15	4,5	5,5-5,9	0,92-1,08	2,1-3,0	3,7	10,6	12,0
TM – 630/10	630	10	3,15; 0,23; 0, 4; 0,69	5,5	7,6-8,5	1,42-1,68	2,0-3,0	2,12	8,5	18,9
TM – 1000/6	1000	6,3	0,4; 0,69	8,0	12,2	2,3-2,75	1,5	0,44	2,84	15
TM – 1000/10	1000	10	0,4; 0,69; 0, 525; 3,15	5,5	12,2-11,6	2,1-2,45	1,4-2,8	1,22	5,35	26
TM – 1600/10	1600	10	0,4; 0,69; 3, 15	5,5	18,0	2,8-3,3	1,3-2,6	0,7	3,27	41,6
TM – 2500/10	2500	10	0,69; 3,15	5,5	25,0-23,5	3,9-4,6	1,0	0,40	2,16	25

II.2 – jadval

10 va 20 kV kuchlanishli uch fazali ikki chulg'amli transformatorlar

Turi	S _{nom} MVA	Katalog ma'lumotlari						Xisobiy ma'lumotlar		
		Chulg'amlarning nom. kuchlanishlari, kV		U _K , %	ΔP _K , kVt	ΔP _C , kVt	I _s , %	R _T , Om	X _T , Om	ΔQ _s , kVAr
		ЮН	ЮН							
ТМН(ТМ)-4000/10	4,0	10,5	6,3(3,15)	6,5	33,5	5,98	0,9	0,24	1,8	36
ТМН(ТМ)-6300/10	6,3	10,5	6,3(3,15)	6,5	46,5	8,33	0,8	0,13	1,14	50,4
ТД-10000/10	10	10,5	6,3(3,15)	7,5	92	29	3,0	0,1	0,82	300
ТДН-10000/10	10	10,5	6,3(3,15)	14,4	96	28	4,00	0,1	1,6	400
ТДНС-10000/10	10	10,5	6,3(3,15)	-	-	-	-	-	-	-
ТДНС-16000/10	16	10,5	6,3	-	-	-	-	-	-	-
ТМ – 630/20	0,63	20	0,4; 6,3; 10,5	6,5	6,3	2,45	1,97	7,0	45,5	12,4
ТМН – 630/20	0,63	20	6,3; 10,5	6,5	7,6	2,0	2,0	8,5	45,5	12,6
ТМН(ТМ)-1000/20	1,0	20	0,4; 0,63; 10,5	6,5	11,9	2,75	1,5	5,24	29,2	15
ТМН(ТМ)-1600/20	1,6	20	0,63; 10,5	6,5	17,2	3,65	1,4	2,96	17,8	22,4
ТМН(ТМ)-2500/20	2,5	20	6,3; 11	6,5	24,2	5,1	1,1	4,7	11,4	27,5
ТМН(ТМ)-4000/20	4,0	20	6,3; 10,5	7,5	33,5	6,7	1,0	0,91	8,3	40
ТМН(ТМ)-6300/20	6,3	20	6,3; 10,5	7,5	46,5	9,4	0,9	0,52	5,2	56,7
ТРДН-25000/20	25	20	6,3/10,5	9,5	145	29	0,7	0,1	1,6	175
ТРДН-32000/20	32	20	6,3/10,5	11,5	180	33	0,7	0,08	1,6	224
ТРДН-40000/20	40	20	6,3/6,3	14	225	39	0,65	0,06	1,55	260
ТРДН-63000/20	63	20	10,5/10,5	11,5	280	55	0,6	0,03	0,88	378
ТМ - 63/20	0,063	10	0,23; 0,4	5,3	1,47	0,29	2,8	164,0	370	1,76
ТМ(ТМН)-100/20	0,1	20	0,23; 0,4	6,65	2,12	0,46	4,16	94,5	293	4,16
ТМ(ТМН)-160/20	0,16	20	0,23; 0,4	6,65	2,8	0,66	2,4	49,5	182	3,84
ТМ(ТМН)-250/20	0,25	20	0,23; 0,4	6,65	3,95	0,96	2,3	27,6	116	5,75
ТМ(ТМН)-400/20	0,4	20	0,23; 0,4	6,5	5,5	1,35	2,1	15,2	73	8,4

Eslatma: 1. ТМ va ТД tipidagi transformatorlar rostdash qurilmasiga ega emas. ТМН, ТДН va ТРДН tipidagi transformatorlar yuqori tomonida rostdash diapazoni +10x1,5% dan -8x1,55 gacha bo'lgan YuOR qurilmasiga ega. 2. Qiyi chulg'ami parchalangan ТРДН tipidagi transformatorlar uchun $X_{YU}=0$; $X_{K1}=X_{K2}=2X_{TR}$.

II.3 – jadval

35 kV kuchlanishli uch fazali ikki chulg'amli transformatorlar

Turi	S _{nom} MVA	Rostlash chegaralari	Katalog ma'lumotlari						Xisobiy ma'lumotlar		
			Chulg'amlarning nom. kuchlanishlari, kV		U _K , %	ΔP _K , kVt	ΔP _S , kVt	I _s , %	R _T , Ω	X _T , Ω	ΔQ _s , kVAr
			YuN	YuN							
TM-100/35	0,1	±2 × 1,5%	35	0,4	6,5	1,9	0,5	2,6	241	796	2,6
TM-160/35	0,16	±2 × 1,5%	35	0,4; 0,69	6,5	2,6; 3,1	0,7	2,4	127; 148	498	3,8
TM-250/35	0,25	±2 × 1,5%	35	0,4; 0,69	6,5	3,7; 4,2	1,0	2,3	72; 82	318	5,7
TMH (TM)-400/35	0,4	±6 × 1,5%	35	0,4; 0,69	6,5	7,6; 8,5	1,9	2,0	23,5; 26,2	126	12,6
TMH (TM)-630/35	0,63	±6 × 1,5%	35	0,4; 0,69; 6,3; 11	6,5	11,6; 12,2	2,7	1,5	14,0; 14,2	79,6	15
TMH (TM)-1000/35	1	±6 × 1,5%	35	6,3; 11	6,5	16,5; 18	3,6	1,4	7,9; 8,6	49,8	22,4
TMH (TM)-1600/35	1,6	±6 × 1,5%	35	6,3; 11	6,5	23,5; 26	5,1	1,1	11,2; 12,4	49,2	17,6
TMH (TM)-2500/35	2,5	±6 × 1,5%	35	6,3; 11	6,5	23,5; 26	5,1	1,1	4,6; 5,1	31,9	27,5
TMH (TM)-4000/35	4,0	±6 × 1,5%	35	6,3; 11	7,5	33,5	6,7	1,0	2,6	40	40
TMH (TM)-6300/35	6,3	±6 × 1,5%	35	6,3; 11	7,5	46,5	9,2	0,9	1,4	14,6	80
TMH-10000/35	10	±9 × 1,3%	36,75	6,3; 10,5	7,5	65	14,5	0,8	0,88	10,1	80
ТД-10000/35	10	±2 × 2,5%	38,5	6,3; 10,5	7,5	65	14,5	0,8	0,96	11,1	80
ТД-16000/35	16	±2 × 2,5%	38,5	6,3; 10,5	8,0	90	21	0,6	0,52	7,4	120

- Eslatma:* 1. Kuchlanishni rostlash yuqori tomonda joylashgan YuOR yoki QAY qurilmasi yordamida amalga oshiriladi.
2. Qavsda ko'rsatilgan TH tipidagi transformatorlar yuqori tomonida rostlash diapazoni ±2×2,5% bo'lgan QAY qurilmasiga ega.

II.4 – jadval

110 kV kuchlanishli uch fazali ikki chulg'amli transformator

Turi	S_{nom} , MVA	Rostlash chegaralari	Katalog ma'lumotlari						Xisobiy ma'lumotlar		
			Chulg'amlarning nominal kuchlanishlari, kV		U_K , %	ΔP_K , kVt	ΔP_s , kVt	I_s , %	R_T , Om	X_T , Om	ΔQ_s , kVAr
			YuN	KN							
TMH-2500/110	2,5	$+10 \times 1,5 \%$ $- 8 \times 1,5 \%$	110	6,6; 11	10,5	22	5,5	1,5	42,6	508,2	37,5
TMH-6300/110	6,3	$\pm 9 \times 1,78 \%$	115	6,6; 11	10,5	44	11,5	0,8	14,7	220,4	50,4
ТДН-10000/110	10	$\pm 9 \times 1,78 \%$	115	6,6; 11	10,5	60	14	0,7	7,95	139	70
ТДН-16000/110	16	$\pm 9 \times 1,78 \%$	115	6,5; 11	10,5	85	19	0,7	4,38	86,7	112
ТРДН-25000/110	25	$\pm 9 \times 1,78 \%$	115	6,3/6,3; 6,3/10,5	10,5	120	27	0,7	2,54	55,9	175
ТДНЖ-25000/110	25	$\pm 9 \times 1,78 \%$	115	27,5	10,5	120	30	0,7	2,5	55,5	175
ТРДН-40000/110	40	$\pm 9 \times 1,78 \%$	115	6,3/6,3; 6,3/10,5 10,5/10,5	10,5	172	36	0,65	1,4	34,7	260
ТД-40000/110	40	$\pm 2 \times 2,5 \%$	121	3,15; 6,3; 10,5	10,5	160	50	0,7	1,46	38,4	260
ТРДЦН-63000/110	63	$\pm 9 \times 1,78 \%$	115	6,3/6,5; 6,3/10,5 10,5/10,5	10,5	260	59	0,6	0,87	22	410
ТРДЦН-80000/110	80	$\pm 9 \times 1,78 \%$	115	6,3/6,3; 6,3/10,5 10,5/10,5	10,5	310	70	0,6	0,6	17,4	480
ТРДЦНК-80000/110	80	$\pm 9 \times 1,78 \%$	115	6,3/6,3; 6,3/10,5 10,5/10,5	10,5	245	59	0,6	0,8	22	378
ТДЦ-80000/110	80	$\pm 2 \times 2,5 \%$	121	6,3; 10,5; 13,8	10,5	310	70	0,6	0,71	19,2	480

ТРДЦН-125000/110	125	$\pm 9 \times 1,78 \%$	115	10,5/10,5	10,5	400	100	0,55	0,4	11,1	687,5
ТДЦ-125000/110	125	$\pm 2 \times 2,5 \%$	121	10,5; 13,8	10,5	400	120	0,55	0,4	11,1	687,5
ТДЦ-200000/110	200	$\pm 2 \times 2,5 \%$	121	13,8; 15,75; 18	10,5	550	170	0,5	0,23	7,7	1000
ТДЦ-250000/110	250	$\pm 2 \times 2,5 \%$	121	15,75	10,5	640	200	0,5	0,15	6,1	1250
ТДЦ-400000/110	400	$\pm 2 \times 2,5 \%$	121	20	10,5	900	320	0,45	0,08	3,8	1800

Eslatma: 1. YuOR qurilmasi quyi kuchlanish tomonida bo'lgan ТМН-2500/110 va yuqori kuchlanish tomonida QAY qurilmasi bo'lgan ТД tipidagi transformatorlardan tashqari baricha transformatorlarda kuchlanishni rostlash yuqori kuchlanish chulg'aming neytralida joylashgan YuOR qurilmasi yordamida amalga oshiriladi. 2. Quyi tomonida nominal kuchlanish 38,5 kV va 27,5 kV (elektrlashtirilgan temir yo'l uchun) bo'lgan ТРДН tipidagi transformatorlar ikkilamchi chulg'ami parchalanmagan qilib ishlab chiqarilishi mumkin.

110 kV kuchlanishli uch fazali uch chulgamli transformatorlar

Turi	S_{nom} , MVA	Katalog ma'lumotlari					
		Chulg'amlarning nominal kuchlanishlari, kV			U_K , %		
		YuN	UN	KN	$Yu-U$	$Yu-K$	$U-K$
ТМТН – 6300/110	6,3	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6
ТДТН – 10000/ 110	10	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6
ТДТН –16000/110	16	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6
ТДТН –25000/110	25	115	11; 38,5	6,6; 11	10,5	17,5	6
ТДТНЖ –25000/110	25	115	38,5; 27,5	6,6; 11; 27,5	17	10,5	6
ТДТН –40000/110	40	115	11; 22; 38,5	6,6; 11	10,5(17)	17(10,5)	6
ТДТНЖ –40000/110	40	115	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	10,5(17)	17(10,5)	6
ТДТН –63000/110	63	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6
ТДЦТН –80000/110	80	115	38,5	6,6; 11	10,5(17)	17(10,5)	6

II.5 – jadvalning davomi

<i>Turi</i>	Katalog ma'lumotlari			Xisobiy ma'lumotlar						
	ΔP_K , кVt	ΔP_S , кVt	I_S , %	R_T , Ом			X_T , Ом			ΔQ_s , кVAr
				Yu	U	K	Yu	U	K	
ТМТН – 6300/110	58	14	1,2	9,7	9,7	9,7	225,7	0	131,2	75,6
ТДТН – 10000/ 110	76	17	1,1	5	5	5	142,2	0	82,7	110
ТДТН – 16000/110	100	23	1,0	2,6	2,6	2,6	88,9	0	52	160
ТДТН – 25000/110	140	31	0,7	1,5	1,5	1,5	56,9	0	35,7	175
ТДТНЖ – 25000/110	140	45	0,7	1,5	1,5	1,5	56,9	33	0	250
<i>ТДТН – 40000/110</i>	200	43	0,6	0,8	0,8	0,8	35,5	0(22,3)	22,3(0)	240
<i>ТДТНЖ – 40000/110</i>	200	63	0,8	0,8	0,8	0,8	35,5	0(20,7)	20,7(0)	320
ТДТН – 63000/110	290	56	0,7	0,5	0,5	0,5	22,0	0	13,6	441
ТДЦТН – 80000/110	390	82	0,8	0,4	0,4	0,4	17,7	0(10,3)	10,3(0)	640

Eslatma: Yuqori chulg'amida YuOR $\pm 8 \times 1,5\%$ qurilmasiga ega bo'lgan ТДТНЖ-40000 transformatoridan tashqari barcha transformatorlar yuqori chulg'amining neytralida YuOR $\pm 9 \times 1,78\%$ qurilmasiga ega

II.6 – jadval

220 kV kuchlanishli uch fazali ikki chulg'amli transformatorlar

Turi	S _{nom} MVA	Rostlash chegaralari	Katalog ma'lumotlari						Xisobiy ma'lumotlar		
			Chulg'amlarning nominal kuchlanishlari, kV		U _k , %	ΔP _k , kVt	ΔP _s , kVt	I _s , %	R _T , Om	X _T , Om	ΔQ _s , kVAr
			YuN	KN							
ТРДН- 40000/220	40	±8×1,5%	230	11/11; 6,6/6,6	12	170	50	0,9	5,6	158,7	360
ТРДЦН-63000/220	63	±8×1,5%	230	6,6/6,6; 11/11	12	300	82	0,8	3,9	100,7	504
ТДЦ-80000/220	80	±2×2,5%	242	6,3; 10,5; 13,8	11	320	105	0,6	2,9	80,5	480
ТРДЦН-100000/220	100	±8×1,5%	230	11/11; 38,5	12	360	115	0,7	1,9	63,5	700
ТДЦ-125000/220	125	±2×2,5%	242	10,5; 13,8	11	380	135	0,5	1,4	51,5	625
ТРДЦН-160000/220	160	±8×1,5%	230	11/11; 38,5	12	525	167	0,6	1,08	39,7	960
ТДЦ-200000/220	200	±2×2,5%	242	13,8; 15,75; 18	11	580	200	0,45	0,77	32,2	900
ТДЦ-250000/220	250	-	242	13,8; 15,75	11	650	240	0,45	0,55	25,7	1125
ТДЦ-400000/220	400	-	242	13,8; 15,75; 20	11	880	330	0,4	0,29	16,1	1600
ТЦ-630000/220	630	-	242	15,75; 18	12,5	1300	380	0,35	0,17	11,6	2200
ТЦ-1000000/220	1000	-	242	24	11,5	2200	480	0,35	0,2	6,7	3500

Eslatma: Kuchlanishni rostlash yuqori chulg'amining neytralida amalga oshiriladi.

220 kV kuchlanishli uch fazali uch chulg'amli transformatorlar va avtotransformatorlar

Turi	S _{nom} MV A	Roslash chegaralari	Katalog ma'lumotlari					
			Chulg'amlarning nominal kuchlanishlari, kV			U _k , %		
			<i>YuN</i>	<i>UN</i>	KN	Yu - U	Yu - K	U – K
<i>ТДТН – 25000/220</i>	25	±12×1%	230	38,5	6,6; 11	12,5	20	6,5
<i>ТДТНЖ – 25000/220</i>	25	±8×1,5%	230	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	12,5	20	6,5
<i>ТДТН – 40000/ 220</i>	40	±12×1%	230	38,5	6,6; 11	12,5	22	9,5
<i>ТДТНЖ – 40000/ 220</i>	40	±8×1,5%	230	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	12,5	22	9,5
<i>АТДЦТН – 63000/220/110</i>	63	±6×2%	230	121	6,6; 11; 27,5; 38,5	11	35,7	21,9
<i>АТДЦТН – 125000/220/110</i>	125	±6×2%	230	121	6,6; 11; 38,5	11	45	28
<i>АТДЦТН – 200000/220/110</i>	200	±6×2%	230	121	6,6; 11; 15,75; 38,5	11	32	20
<i>АТДЦТН – 250000/220/110</i>	250	±6×2%	230	121	10,5; 38,5	11,5	33,4	20,8

II.7 – jadvalning davomi

Turi	Katalog ma'lumotlari					Xisobiy ma'lumotlar						
	$\Delta P_K, \text{кVt}$			$\Delta P_s, \text{кVt}$	$I_s, \%$	R_T, Om			X_T, Om			$\Delta Q_s, \text{кVAr}$
	Yu -U	Yu-K	U -K			Yu	U	K	Yu	U	K	
ТДТН –25000/220	135	-	-	50	1,2	5,7	5,7	5,7	275	0	148	300
ТДТНЖ –25000/220	135	-	-	50	1,2	5,7	5,7	5,7	275	0	148	300
ТДТН-40000/220	220	-	-	55	1,1	3,6	3,6	3,6	165	0	125	440
ТДТНЖ-40000/220	240	-	-	66	1,1	3,9	3,9	3,9	165	0	125	440
АТДЦТН-63000/220/110	215	-	-	45	0,5	1,4	1,4	2,8	104	0	195,6	315
АТДЦТН-125000/220/110	305	-	-	65	0,5	0,55	0,48	3,2	59,2	0	131	625
АТДЦТН-200000/220/110	430	-	-	125	0,5	0,3	0,3	0,6	30,4	0	54,2	1000
АТДЦТН-250000/220/110	520	-	-	145	0,5	0,2	0,2	0,4	25,5	0	45,1	1250

Eslatma: 1. Avtotransformatorlar uchun quyi chulg'amning quvvati nominal quvvatining 50% ga teng. 2. Kuchlanishni rostlash yuqori chulg'amning neytralidagi YuOR $\pm 8 \times 1,5\%$; $\pm 12 \times 1\%$ yoki o'rta chulg'am tomonidagi YuOR $\pm 6 \times 2\%$ xisobiga amalga oshiriladi.

500 kV kuchlanishli uch fazali va bir fazali avtotransformatorlar

Turi	S_{nom} MVA	Roslash chegaralari	Katalog ma'lumotlari					
			Chulg'amlarning nominal kuchlanishlari, kV			Chulg'amning S_{nom} ga nisbatan quvvati, %		
			Yu	UN	KN	Yu	U	K
АТДЦТН- 250000/500/110	250	$\pm 8 \times 1,4\%$	500	121	11; 38,5	100	100	40
АТДЦТН- 500000/500/220	500	$\pm 8 \times 1\%$, $-8 \times 1,25\%$	500	-	230	100	-	100
АОДЦТН- 167000/500/220	167	$\pm 6 \times 2,1\%$	$500/\sqrt{3}$	$230/\sqrt{3}$	11; 13,8; 15,75 20; 38,5	100	100	30; 40; 50
АОДЦТН- 167000/500/330	167	$\pm 8 \times 1,5\%$	$500/\sqrt{3}$	$230/\sqrt{3}$	10,5; 38,7	100	100	20
АОДЦТН- 267000/500/220	267	$\pm 8 \times 1,4\%$	$500/\sqrt{3}$	$230/\sqrt{3}$	10,5; 15,5; 20,2; 38,6	100	100	25; 30; 45

II.8 – jadvalning davomi

Turi	Katalog ma'lumotlari						Xisobiy ma'lumotlar						
	$\Delta P_h, \text{kVt}$			$\Delta P_k, \text{Yu-U, kVt}$	$\Delta P_s, \text{kVt}$	$I_s, \%$	R_T, Om			X_T, Om			$\Delta Q_s, \text{kVAr}$
	Yu-U	Yu-K	U-K				Yu	U	K	Yu	U	K	
АТДЦТН – 250000/500/110	13	33	18,5	640	230	0,45	2,28	0,28	5,22	137,5	0	192,5	1125
АТДЦТН – 500000/500/220	11,5	-	-	1050	230	0,3	1,05 0,65	1,05 0,32	- 2,8	57,5	-	-	1500
АОДЦТН-167000/500/220	11	35	21,5	325	125	0,4	0,58 0,66	0,39 0,31	2,9 2,7	61,1	0	113,5	2004
АОДЦТН-167000/500/330	9,5	67	61	320	70	0,3	0,48	0,48	2,4	38,8	0	296	1503
АОДЦТН-267000/500/220	11,5	37	23	490	150	0,35	0,28	0,28	1,12; 0,6	39,8	0	75,6	2803

III ILOVA

III.1-jadval

Elektr iste'molchilarida kuchlanishning ruxsat etilgan og'ishi

Elektr iste'molchisining turi va vazifasi	Kuchlanishning eng katta ruxsat etilgan og'ishi, %	
Elektr motorlari	+10	-5
Jamoat binolari, sanoat korxonalari va tashqi projektor qurilmalarining yoritish chiroqlari	+5	-2,5
Qolgan elektr qabul qilgichlar	+5	-5

III.2-jadval

6-110 kV kuchlanishli kondensator batareyalari

Batareyani ng nominal kuchlanish i, U_{nom} , kV	Urnatilga n quvvati, MVar	Kuchlanish turlicha bo'lganda beruvchi quvvati, MVar		Parallel shoxobc halar soni	Bitta shoxobchada ketma-ket ulangan kond. soni	Kondensator larning umumiy soni
		U_{nom}	U_{nom}			
6	2,9/6	2,4/4,9	2,0/4,1	4	4	48
10	5/10,5	3,8/7,9	3,2/6,5	4	7	84
35	17,3/36	13,5/2 8	11,2/23, 2	4	24	288
110	52/108	44,5/9 3	36,8/77	4	72	861

Eslatma: Suratda KC2-1,05-60, maxrajda esa – KCK2-1,05-125 tipdagi kondensatorli batareyalar uchun ma'lumotlar keltirilgan.

III.3-jadval

Kondensator qurilmalarining asosiy xarakteristikalar

Qurilmaning tipi	Nominal kuchlanishi, kV	Quvvati, kVAr	Solishtirma isroflar, kVt/kVAr
Ichki qurilma			
KKY-0,38-1	0,38	80	0,0045
KKY-0,38-3	0,38	160	0,0045
KKY-0,38-4	0,38	160	0,0045
KKY-0,38-5	0,38	280	0,0045
KKY-6-1	6	330	0,003
KKY-6-2	6	500	0,003
KKY-10-1	10	330	0,003
KKY-10-2	10	500	0,003

<i>Tashqi qurilma</i>			
KYH-6-2	6	420	0,003
KYH-10-2	10	400	0,003

III.4-jadval. Sinxron kompensatorlar

Turi	Nominal ko'rsatkichlar			Isroflar, kVt
	S_{nom}, MVA	U_{nom}, kV	I_{nom}, kA	
KC-10000-6	10	6,3; 10,5	0,87	250
KC-16000-6	16	6: 11	-	355
KC-25000-11	25	-	-	370
KC-32000-11	32	-	-	525
KCB-50000-11	50	10,5(11)	2,36	750
KCB-100000-11	100	10,5(11_	5,25	1300
KCB-160000-15	160	15	5,86	1750