

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLIV TA‘LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**OLIV TA‘LIM TIZIMI PEDAGOG VA RAHBAR KADRLARINI QAYTA  
TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI OSHIRISHNI TASHKIL  
ETISH BOSH ILMIV-METODIK MARKAZI**

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI PEDAGOG  
KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI  
OSHIRISH TARMOQ MARKAZI**

## **ELEKTR ENERGETIKA**

**yo‘nalishi**

**“ELEKTR TARMOQLARIDA ISROFLARNI HISOBLASH VA  
KAMAYTIRISH MASALALARI”**

**moduli bo‘yicha**

# **O‘QUV-U SLUBIY MAJMU A**

**TOSHKENT -2024**

Mazkur o‘quv-uslubiy majmua Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2023 yil 25-avgustdagi 391-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan o‘quv dastur asosida tayyorlandi.

**Tuzuvchi:** TDTU, “Elektr stansiyalari, tarmoqlari va tizimlari” kafedrası mudiri, t.f.d.,  
prof. T.SH Gayibov

**Taqrizchi:** TDTU, t.f.d., professor N.Pirmatov

O‘quv-uslubiy majmua Toshkent davlat texnika universiteti Kengashining 2024 yil 31-yanvardagi 5-sonli yig‘ilishida ko‘rib chiqilib, foydalanishga tavsiya etildi.

## MUNDARIJA

<b>I. ISHCHI DASTUR .....</b>	<b>4</b>
<b>II. MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA’LIM METODLARI.....</b>	<b>10</b>
<b>III. NAZARIY MATERIALLAR.....</b>	<b>16</b>
<b>IV. AMALIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI.....</b>	<b>47</b>
<b>V. GLOSSARIY.....</b>	<b>61</b>
<b>VI. FOYDALANGAN ADABIYOTLAR.....</b>	<b>64</b>

# I. ISHCHI DASTUR

## KIRISH

O‘zbekiston Respublikasining 2020 yil 23 sentabrda tasdiqlangan “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevral “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-4947-son, 2019 yil 27 avgust “Oliy ta’lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to‘g‘risida”gi PF-5789-son, 2019 yil 8 oktabr “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5847-sonli Farmonlari hamda O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019 yil 23 sentabr “Oliy ta’lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi 797-sonli Qarorida belgilangan ustuvor vazifalar mazmunidan kelib chiqqan holda tuzilgan bo‘lib, u oliy ta’lim muassasalari pedagog kadrlarining kasb mahorati hamda innovatsion kompetentligini rivojlantirish hamda oliy ta’lim muassasalari pedagog kadrlarining kasbiy kompetentligini muntazam oshirib borishni maqsad qiladi.

Ushbu ishchi o‘quv dasturda energetika taraqqiyotining zamonaviy holati, energetik ishlab chiqarishning ekologik muammolari va ularni hal etish yo‘llari, intellektual elektr tizimlari, energiyani akkumulyatsiyalash muammolari, birlashgan energetika tizimlari, elektr energiyasini uzatish, taqsimlash va iste’mol qilish jarayonida energetik samaradorlikni oshirish usullarini o‘rganish bo‘yicha muammolar bayon etilgan.

### **Modulning maqsadi va vazifalari**

**Modulning maqsadi:** Elektr tarmoqlaridagi isroflarning turlari va ularni hisoblash usullari, elektr tarmoqlaridagi isroflarga ta’sir etuvchi asosiy faktorlar va parametrlar, elektr tarmoqlaridagi isroflarni kamaytirish va kuchlanishni rostdash usullarining o‘zaro bog‘liqligi; elektr tarmoqlaridagi isroflarni reaktiv quvvatni kompensatsiyalash orqali kamaytirish; yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirish tadbirlari; yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida reaktiv qarshilikni kompensatsiyalash va transformatsiyalash koeffitsiyentini rostdash orqali kamaytirish usullari bo‘yicha bilim. ko‘nikma va malakalarini rivojlantirish.

### **Modulning vazifalari:**

- elektr tarmoqlarida isroflarning turlarini o‘rganish;
- elektr tarmoqlaridagi isroflarni va ularning tashkil etuvchilarini hisoblash usullarini o‘rganish;
- elektr tarmoqlarida isroflarni uning tugunlaridagi kuchlanishlar bo‘yicha chegaraviy shartlarni e’tiborga olib kamaytirish usullarini o‘rganish;

- elektr tarmoqlaridagi isroflarni reaktiv quvvatni kompensatsiyalash orqali kamaytirish usullarini o‘rganish va ulardan foydalanish bo‘yicha bilimlarni shakllantirish;
- yopiq zanjirli elektr tarmoqlari isroflarni reaktiv qarshilikni kompensatsiyalash orqali kamaytirish bo‘yicha bilimlarni hosil qilish;
- yopiq zanjirli elektr tarmoqlari isroflarni konturdagi transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsiyentlarini rostlash orqali kamaytirish bo‘yicha bilimlarni hosil qilish.

### **Modul bo‘yicha tinglovchilarning bilimi, ko‘nikmasi, malakasi va kompetensiyalariga qo‘yiladigan talablar**

“Elektr tarmoklarida isroflarni xisoblash va kamaytirish tadbirlari” kursini o‘zlashtirish jarayonida amalga oshiriladigan masalalar doirasida:

#### **Tinglovchi:**

- elektr tarmoqlarida isroflarning urlarga ajratilishi;
- elektr tarmoqlarida isroflarni va ularning tashkil etuvchilarini hisoblash usullari;
- elektr tarmoqlaridagi isroflarni kamaytirish va kuchlanishni rostlash masalalari o‘rtasidagi bog‘liqlik;
- elektr tarmoqlarida isroflarni reaktiv quvvatni kompensatsiyalab kamaytirish usullari;
- yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirish usullari;
- yopiq zanjirli elektr tarmoqlarini bir jinsli ko‘rinishga keltirish usullari haqida

#### **bilimlarga ega bo‘lishi;**

#### **– Tinglovchi:**

- elektr tarmoqlarida isroflarni va ularning tashkil etuvchilarini hisoblash;
- elektr tarmoqlarida isroflarni kuchlanish bo‘yicha chegaraviy shartlarni hisobga olib kamaytirish usullarini qo‘llash;
- elektr tarmoqlarida isroflarni reaktiv quvvatni kompensatsiyalash orqali kamaytirish usullaridan foydalanish;
- yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirish usullarini ko‘llash bo‘yicha

#### **ko‘nikma va malakalarini egallashi;**

#### **– Tinglovchi:**

- egallagan bilim va ko‘nikmalarga asoslangan holda elektr tarmoqlarida isroflar va ularning tashkil etuvchilarini hisoblash masalalarini hal etish;
- elektr tarmoqlarida isroflarni minimumga keltirish uchun reaktiv quvvat kompensatorining quvvatini hisoblash;
- elektr tarmoqlaridagi isroflarni kamaytirishda kuchlanish bo‘yicha chegaraviy shartlarni e‘tiborga olish;
- yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni minimumga keltirish uchun reaktiv qarshilik kompensatorining parametrlarini aniqlash;

– yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni minimumga keltirish uchun konturdagi transformatorning optimal transformatsiyalash koeffitsiyentini tanlash bo'yicha kompetensiyalarni egallashi lozim.

### Modulni tashkil etish va o'tkazish bo'yicha tavsiyalar

– “Elektr tarmoklarida isroflarni xisoblash va kamaytirish tadbirlari” kursi ma’ruza va amaliy mashg’ulotlar shaklida olib boriladi.

– Kursni o'qitish jarayonida ta'limning zamonaviy metodlari, pedagogik texnologiyalar va axborot-kommunikatsiya texnologiyalari qo'llanilishi nazarda tutilgan:

– ma’ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida prezentatsion va elektron-didaktik texnologiyalardan;

– o'tkaziladigan amaliy mashg'ulotlarda texnik vositalardan, ekspress-so'rovlar, test so'rovlari, aqliy hujum, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash, kollokvium o'tkazish, va boshqa interaktiv ta'lim usullarini qo'llash nazarda tutiladi.

### Modulning oliy ta'limdagi o'rni

Modulni o'zlashtirish orqali tinglovchilar elektr energetika tizimlarida isroflarni turlarga ajratish, ularni hisoblash va kamaytirish, elektr tarmoqlarida kuchlanishni rostdash, ularning ish holatlarini optomallashtirish usullarini o'rganish, amalda qo'llash va baholashga doir kasbiy kompetentlikka ega bo'ladilar.

### Modul bo'yicha soatlar taqsimoti

№	Modul maruzalari	Tinglovchining o'quv yuklamasi, soat			
		Jami	Nazariy	Amaliy mashg'ulot	Ko'chma mashg'ulot
1.	Elektr tarmoqlaridagi isroflar va ularni hisoblash	4	2	2	
2.	Elektr tarmoqlaridagi isroflarni reaktiv quvvatni kompensatsiyalash orqali kamaytirish	4	2	2	
3	Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirish usullari	4	2	2	
4 .	Elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirishda kuchlanish bo'yicha chegaraviy shartlarni hisobga olish.	12	2	4	6
	<b>Jami:</b>	<b>24</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>6</b>

## NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

### 1-mavzu: Elektr tarmoqlaridagi isroflar va ularni hisoblash

Elektr tarmoqlaridagi isroflarning turlarga ajratilishi. Elektr tarmoqlaridagi isroflar bog'liq bo'lgan asosiy faktorlar. Yuklama, salt ishlash va tijoriy isroflar.

Elektr tarmoqlaridagi isroflarni hisoblash usullari. Salt ishlash isroflarni aniqlash. Tijoriy isroflarni aniqlash.

Yuklama grafikalari. Yuklama isroflarini hisoblash. Isroflarni maksimal yuklama va undan foydalanish vaqti bo'yicha hisoblash. Isroflarni o'rtacha yuklama va undan foydalanish vaqti bo'yicha hisoblash. Isroflarni yuklama grafigidan foydalanib hisoblash.

### **2-mavzu: Elektr uzatish liniyalari va transformatorlarda quvvat va energiya isroflarini hisoblash**

Elektr uzatish liniyalari va transformatorlarda quvvat va energiya isroflarining tashkil etuvchilari. Elektr uzatish liniyalari va transformatorlarda quvvat va energiya isroflarini yuklama grafigi bo'yicha hisoblash. Elektr uzatish liniyalari va transformatorlarda quvvat va energiya isroflarini maksimal yuklama va undan foydalanish vaqti bo'yicha hisoblash.

### **3-mavzu: Elektr tarmoqlaridagi isroflarni reaktiv quvvatni kompensatsiyalash orqali kamaytirish**

Turli konfiguratsiyadagi va kuchlanishdagi elektr tarmoqlarida reaktiv quvvat kompensatorlarining isrofnini minimumga keltiruvchi quvvatlarini hisoblash.

Elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirish uchun foydalaniluvchi kompensatorlarning o'tnatilish joylarini aniqlash.

### **4-mavzu: Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirish usullari**

Yopiq zanjirli elektr tarmoqlaridagi isroflar bog'liq bo'lgan asosiy faktorlar. Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni konturni bir jinsli ko'rinishga keltirish orqali kamaytirish. Konturni bir jinsli ko'rinishga keltirish usullari.

Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni reaktiv qarshilikni kompensatsiyalash orqali kamaytirish. Bo'ylama kompensatsiyalovchi qurilma parametrlarini aniqlash.

Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni rostlovchi transformatorning transformatsiyalash koeffitsiyentini optimallashtirish orqali kamaytirish.

## **AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI**

### **1- amaliy mashg'ulot: Elektr tarmoqlaridagi isroflar va ularni hisoblash.**

Elektr tarmoqlaridagi isroflarni yuklama quvvati va grafigi bo'yicha hisoblash. Elektr tarmoqlaridagi isroflarni maksimal yuklama va undan foydalanish vaqti bo'yicha hisoblash. Elektr tarmoqlaridagi isroflarni o'rtacha yuklama va undan foydalanish vaqti bo'yicha hisoblash. Elektr uzatish liniyalari va transformatorlarda quvvat va energiya isroflarini hisoblash.

Salt ishlash isroflarini aniqlash. Tijoriy isroflarni aniqlash.

## **2- amaliy mashg‘ulot: Elektr uzatish liniyalari va transformatorlarda isroflarni hisoblash.**

Elektr uzatish liniyalari va transformatorlardagi isroflarning tashkil etuvchilari. Elektr uzatish liniyalari va transformatorlardagi isroflarni yuklama grafigi bo‘yicha hisoblash.

Elektr uzatish liniyalari va transformatorlardagi isroflarni maksimal yuklama va undan foydalanish vaqti bo‘yicha hisoblash. Elektr uzatish liniyalari va transformatorlardagi salt ishlash isroflarini aniqlash.

## **3- amaliy mashg‘ulot: Elektr tarmoqlaridagi isroflarni reaktiv quvvatni kompensatsiyalash orqali kamaytirish.**

Turli konfiguratsiyadagi va kuchlanishdagi elektr tarmoqlarida quvvat va energiya isroflarini reaktiv quvvatni kompensatsiyalash orqali kamaytirish.

Turli konfiguratsiyadagi va kuchlanishli elektr tarmoqlarida quvvat va energiya isroflarni minimumga keltirish учун реактив қувват компенсаторлари ўрнатилувчи пунктларни аниқлаш.

## **4- amaliy mashg‘ulot: Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirish usullari.**

Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isrofning minimal bo‘lishini ta’minlovchi optimal quvvat oqimlarini hisoblash.

Optimal quvvat oqimlarini konturni ochish orqali ta’minlash. Optimal quvvat oqimlarini reaktiv qarshilikni kompensatsiyalash orqali ta’minlash. Optimal quvvat oqimlarini rostlovchi transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsiyentlarini tanlash orqali ta’minlash.

## **KO‘CHMA MASHG‘ULOTLAR MAZMUNI**

**Mavzu: Elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirishda kuchlanish bo‘yicha chegaraviy shartlarni hisobga olish.**

Ko‘chma mashg‘ulotda tinglovchilarni “O‘zbekiston milliy elektr tarmoqlari” AJ ob’ektlriga olib borish ko‘zda tutilgan. Mavzu yuzasidan yangi texnika va texnologiyalar bilan tanishish va amaliy ishlarni bajarish rejalashtirilgan.

## **TA’LIMNI TASHKIL ETISH SHAKLLARI**

Ta’limni tashkil etish shakllari aniq o‘quv material mazmuni ustida ishlayotganda o‘qituvchini tinglovchilar bilan o‘zaro harakatini tartiblashtirishni, yo‘lga qo‘yishni, tizimga keltirishni nazarda tutadi.

Modulni o‘qitish jarayonida quyidagi ta’limning tashkil etish shakllaridan foydalaniladi:

- ma’ruza;
- amaliy mashg‘ulot.



O‘quv ishini tashkil etish usuliga ko‘ra:

- jamoaviy;
- guruhli (kichik guruhlarda, juftlikda);
- yakka tartibda.

**Jamoaviy ishlash** – bunda o‘qituvchi guruhlarning bilish faoliyatiga rahbarlik qilib, o‘quv maqsadiga erishish uchun o‘zi belgilaydigan didaktik va tarbiyaviy vazifalarga erishish uchun xilma-xil metodlardan foydalanadi.

**Guruhlarda ishlash** – bu o‘quv topshirig‘ini hamkorlikda bajarish uchun tashkil etilgan, o‘quv jarayonida kichik guruxlarda ishlashda (3 tadan – 7 tagacha ishtirokchi) faol rol o‘ynaydigan ishtirokchilarga qaratilgan ta’limni tashkil etish shaklidir.

O‘qitish metodiga ko‘ra guruhni kichik guruhlarga, juftliklarga va guruhlarora shaklga bo‘lish mumkin.

Bir turdagi guruhli ish o‘quv guruhlari uchun bir turdagi topshiriq bajarishni nazarda tutadi.

Tabaqalashgan guruhli ish guruhlarda turli topshiriqlarni bajarishni nazarda tutadi.

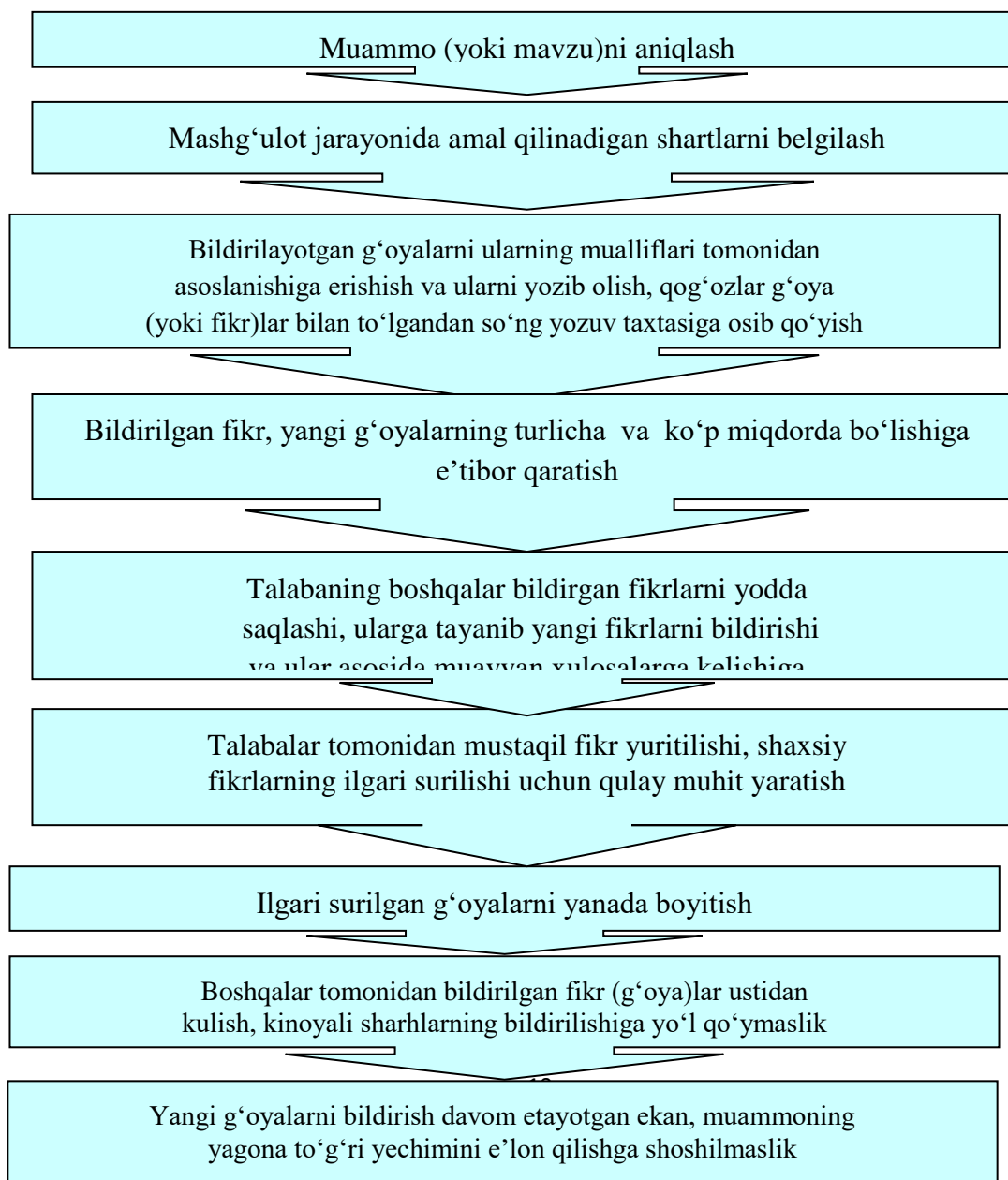
**Yakka tartibdagi shaklda** - har bir ta’lim oluvchiga alohida- alohida mustaqil vazifalar beriladi, vazifaning bajarilishi nazorat qilinadi.

## II.MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA’LIM METODLARI

### “AQLIY HUJUM” METODI

Metod talabalarni mavzu xususida keng va har tomonlama fikr yuritish, o‘z tasavvurlari, g‘oyalaridan ijobiy foydalanishga doir ko‘nikma, malakalarni hosil qilishga rag‘batlantiradi. U yordamida tashkil etilgan mashg‘ulotlarda ixtiyoriy muammolar yuzasidan bir necha original (o‘ziga xos) yechimlarni topish imkoniyati tug‘iladi. Metod mavzu doirasida ma’lum qarashlarni aniqlash, ularga muqobil g‘oyalarni tanlash uchun sharoit yaratadi.

Uni samarali qo‘llashda quyidagi qoidalarga amal qilish lozim:



## Mashg'ulotda metodni qo'llashda quyidagilarga e'tibor qaratish lozim:

O'quvchi (talaba)larni muammo doirasida keng fikr yuritishga undash, ular tomonidan mantiqiy fikrlarning bildirilishiga erishish

Har bir o'quvchi (talaba) tomonidan bildirilayotgan fikrlar rag'batlantirilib boriladi, bildirilgan fikrlar orasidan eng maqbullari tanlab olinadi; fikrlarning rag'batlantirilishi navbatdagi yangi fikrlarning tug'ilishiga olib keladi

Har bir o'quvchi (talaba) o'zining shaxsiy fikrlariga asoslanishi va ularni o'zgartirishi mumkin; avval bildirilgan fikrlarni umumlashtirish, turkumlashtirish yoki ularni o'zgartirish ilmiy asoslangan fikrlarning shakllanishiga zamin hozirlaydi

Mashg'ulotda o'quvchi (talaba)lar faoliyatini standart talablar asosida nazorat qilish, ular tomonidan bildiriladigan fikrlarni baholashga yo'l qo'yilmaydi (zero, fikrlar baholanib borilsa, o'quvchi (talaba)lar diqqatlarini shaxsiy fikrlarni himoya qilishga qaratadi, oqibatda yangi fikrlar ilgari surilmaydi; metodni qo'llashdan ko'zlangan asosiy maqsad o'quvchi (talaba)larni muammo bo'yicha keng fikr yuritishga undash ekanligini yodda tutib, ularni baholab borishdan voz kechishdir)

### Aqliy hujum metodining mavzuga qo'llanilishi: Fikrlash chun beriladigan savollar:

1. Tug'ri aloqa kanallari qanday vazifani bajaradi?
2. Xisoblagichlarning birlamchi axborotlari qanday aniqlanadi?
3. Interfeys uzgartirgichlarining ishlash prinsipi qanday?
4. Multipleksor orqali xisoblagichlarda so'rov o'tkazilishi bilan ENATni qanday tashkil etiladi?
5. Modem orqali xisoblagichlarda so'rov utkazilishi bilan ENATni qanday tashkil etiladi?.

## “YELPIG‘ICH” METODI

Bu metodi murakkab, ko‘ptarmoqli, mumkin qadar, muammo xarakteridagi mavzularni o‘rganishga qaratilgan.

Metodining mohiyati shundan iboratki, bunda mavzuning turli tarmoqlari bo‘yicha bir yo‘la axborot beriladi. Ayni paytda, ularning har biri alohida nuqtalardan muhokama etiladi. Masalan, ijobiy va salbiy tomonlari, afzallik, fazilat va kamchiliklari, foyda va zararlari belgilanadi.

Bu interfaol metodi tanqidiy, tahliliy, aniq mantiqiy fikrlashni muvaffaqiyatli rivojlantirishga hamda o‘z g‘oyalari, fikrlarini yozma va og‘zaki shaklda ixcham bayon etish, himoya qilishga imkoniyat yaratadi.

“Yelpig‘ich” metodi umumiy mavzuning ayrim tarmoqlarini muhokama qiluvchi kichik guruhlarning, har bir qatnashuvchining, guruhning faol ishlashiga qaratilgan.

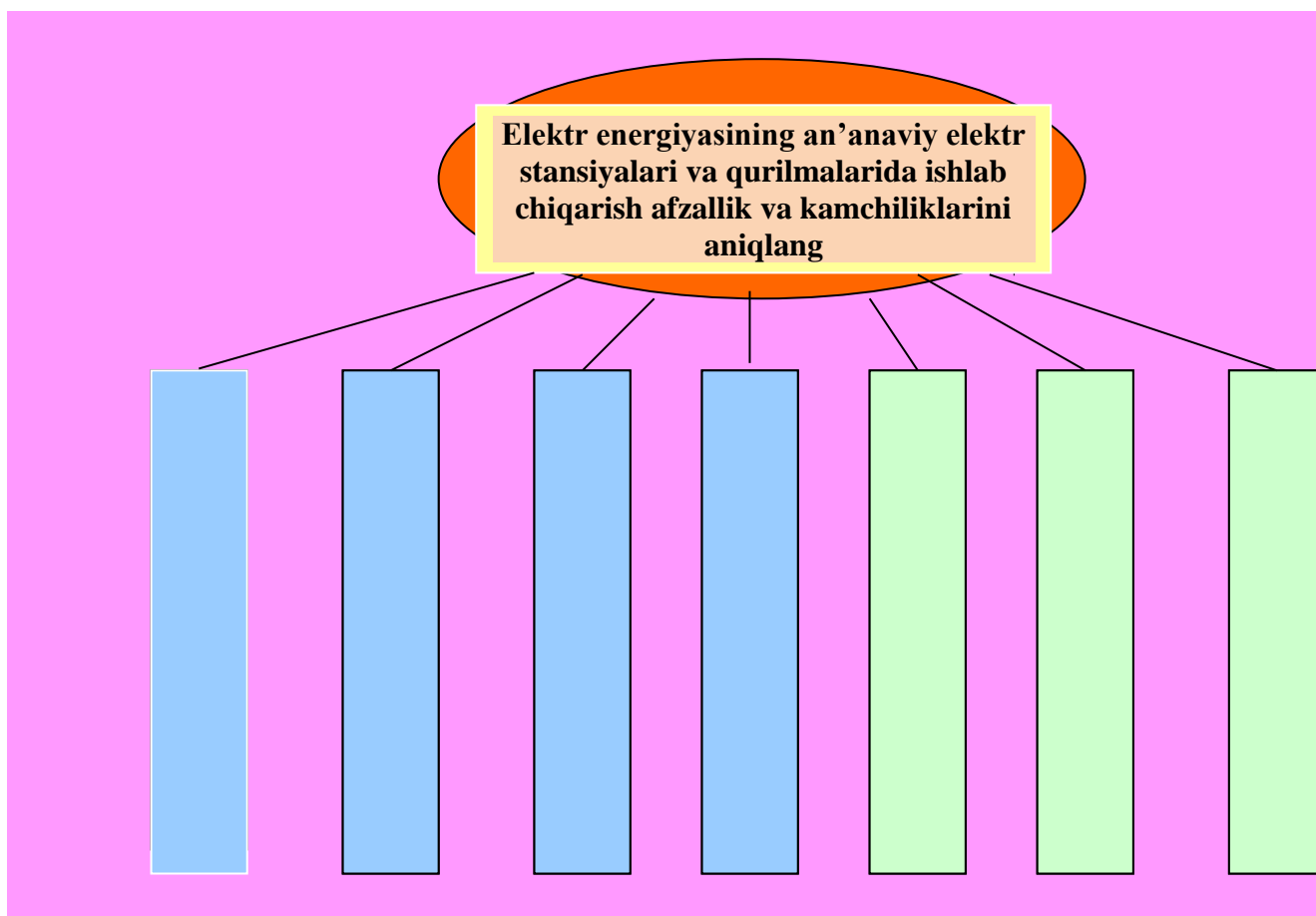
“Yelpig‘ich” metodi umumiy mavzuni o‘rganishning turli bosqichlarda qo‘llanishi mumkin.

**-boshida:** o‘z bilimlarini erkin faolashtirish;

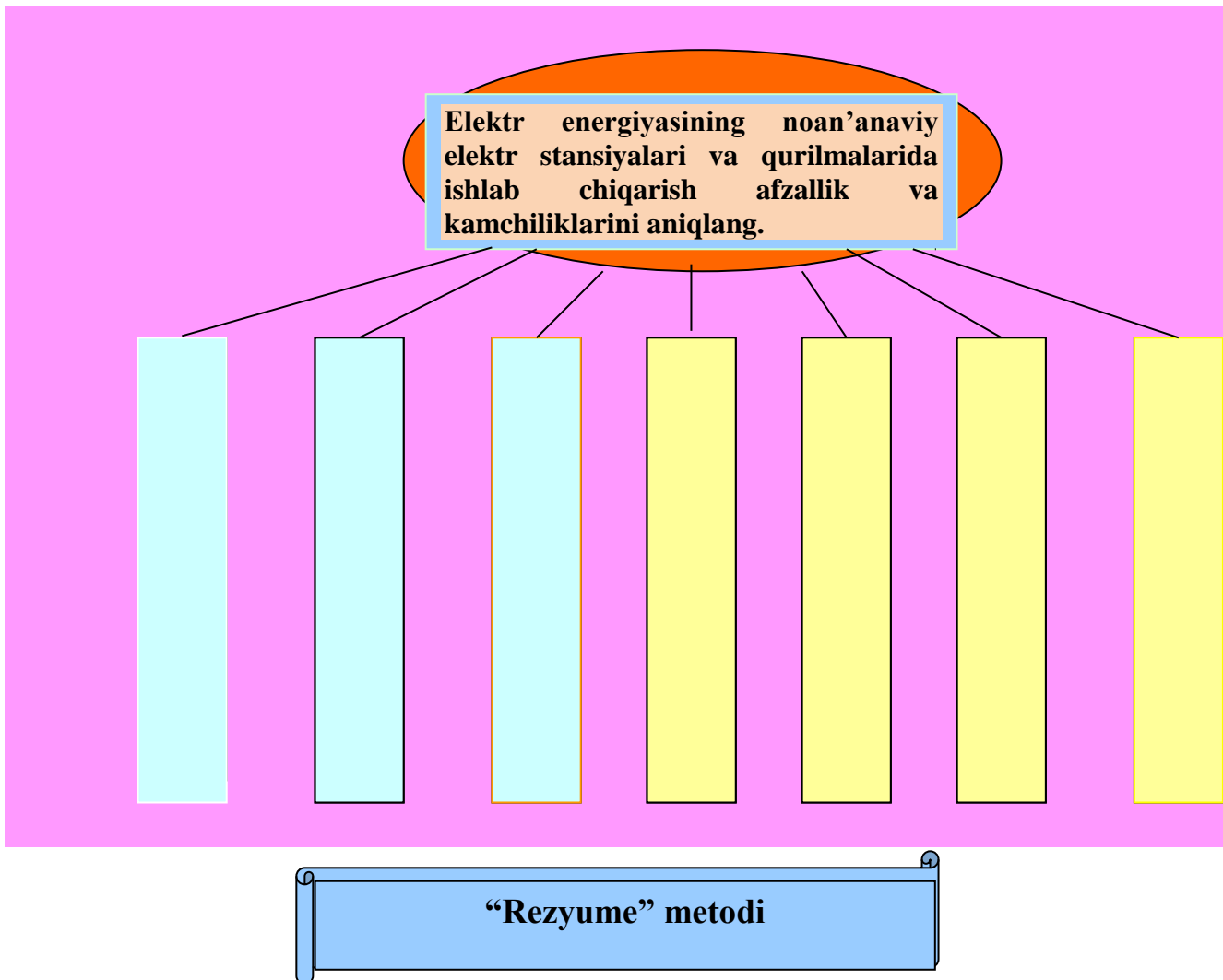
**-mavzuni o‘rganish jarayonida:** uning asoslarini chuqur fahmlash va anglab yetish;

**-yakunlash bosqichida:** olingan bilimlarni tartibga solish.

## 1-guruhga vazifa:



## 2-guruhga vazifa:



**“Rezyume” metodi-** murakkab, ko‘p tarmoqli mumkin qadar muammoli mavzularni o‘rganishga qaratilgan. Uning mohiyati shundan iboratki, bunda bir yo‘la mavzuning turli tarmoqlari bo‘yicha axborot beriladi. Ayni paytda ularning har biri alohida nuqtalardan muhokama etiladi. Masalan: ijobiy va salbiy tomonlari afzallik va kamchiliklar, foyda va zararlar belgilanadi. Ushbu metodning asosiy maqsadi ta‘lim oluvchilarning erkin, mustaqil, taqqoslash asosida mavzudan kelib chiqqan holda o‘quv muammosini yechimini topishga ham kerakli xulosa yoki qaror qabul qilishga, jamoa o‘z fikrini bilan ta‘sir etishga, uni ma‘qullashga, shuningdek, berilgan muammoni yechishga mavzuga umumiy tushuncha berishda o‘tilgan mavzulardan egallangan bilimlarni qo‘llay olish o‘rgatish.

**Mavzuga qo‘llanilishi:** Ma‘ruza darslarida, seminar, amaliy va laboratoriya mashg‘ulotlarni yakka yoki kichik guruhlar ajratilgan tartib o‘tkazish, shuningdek,

o‘yga vazifa berishda ham qo‘llash mumkin. Mashg‘ulot foydalaniladigan vositalar: A-3, A-4 formatdagi qog‘ozlarida (guruh soniga qarab) tayyorlangan tarqatma materiallar markerlar yoki rangli qalamlar.

**“Rezyume” metodini amalga oshirish bosqichlari:**

- Ta’lim beruvchi ta’lim oluvchilarning soniga qarab 3-4 kishidan iborat kichik guruh ajratiladi;
- Ta’lim beruvchi mashg‘ulotning maqsadi va o‘tkazilish tartibi bilan tanishtiradi va har biri kichik guruh qog‘ozning yuqori qismiga yozuv bo‘lgan ya’ni asosiy vazifa, unda ajratilgan o‘quv vazifalari va ularni yechish yo‘llari belgilangan, xulosa yozma bayon qilinadigan varaqlarni tarqatadi;
- Har bir guruh a’zolari topshiriq bo‘yicha ularning afzalligi va kamchiliklarini aniqlab, o‘z fikrlarini markerlar yordamida yozma tarzda bayon etadilar. Yozma bayon etilgan fikrlar asosida ushbu muammoning yechimini topib, eng maqbul variant sifatida umumiy xulosa chiqaradilar;
- Kichik guruh a’zolari biri tayyorlangan materialning jamoa nomidan taqdimot etadi. Guruhning yozma bayon etgan fikrlari o‘qib eshittiradi, lekin xulosa qismi bilan tanishtirilmaydi;
- Ta’lim beruvchi boshqa kichik guruhlardan taqdimot etgan guruhning xulosasini so‘rab, ular fikrini aniqlaydi va o‘z xulosalari bilan tanishtiradi;
- Ta’lim beruvchi guruhlar tomonidan berilgan fikrlar yoki xulosalarga izoh berib, ularni baholaydi, so‘ngi mashg‘ulotni yakunlaydi.

**Metodning mavzuga qo‘llanilishi:**

Elektroenergiya turlari					
Quyosh yordamida ishlab chikarilgan elektroenergiya		Shamol yordamida ishlab chiqarilgan elektroenergiya		Suv yerdamida ishlab chiqarilgan elektroenergiya	
Afzalligi	Kamchiligi	Afzalligi	Kamchiligi	Afzalligi	Kamchiligi
<b>Xulosa:</b>					

### **III. NAZARIY MATERIALLAR**

#### **1-mavzu: Elektr tarmoqlaridagi isroflar va ularni hisoblash.**

##### **Reja:**

1. Elektr tarmoqlaridagi isroflarni turlarga ajratish.
2. Elektr tarmoqlarida elektr energiya isrorfini hisoblash usullari.

**Tayanch so‘z va iboralar:** Energetika, energiya, elektr tarmoq, liniya transformator, quvvat isrofi, energiya isrofi, maksimal yuklama, maksimal yuklamadan foydalanish vaqti, maksimal isroflar vaqti.

##### **Elektr tarmoqlaridagi isroflarni turlarga ajratish.**

Elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirish yoqilg‘ini iqtisod qilishning muhim manbalaridan biridir.

Elektr energiya isroflarini tahlil qilishda isrof quyidagi turlarga ajratiladi:

- isrofning hisobot qiymati;
- isrofning hisobiy yoki texnik qiymati;
- tijoriy isroflar.

Hisobot isrofi tarmoqqa beriluvchi (ishlab chiqariluvchi) va iste‘molchilar qabul qilib olgan, quyid etish asboblarida qayd etilgan energiyalarning ayirmasiga teng.

Hisobiy yoki texnik isroflar elektr tarmoqlarining elementlarida ularning hisobiy va holat parametrlariga bog‘liq holda aniqlanuvchi isroflardir.

Tijoriy isroflar hisobot va hisobiy (texnik) isroflarning ayirmasiga teng bo‘lgani holda qayd etish va o‘lchash asboblarining xatoliklari, qayd etilmagan elektr energiyasi, elektr energiyasidan ruxsatsiz foydalanish kabilarni o‘z ichiga oladi.

##### **1.1. Elektr tarmoqlarida elektr energiya isrorfini hisoblash usullari.**

Elektr energiyani stansiyalardan iste‘molchilarga uzatish jarayonida o‘tkazgichlarni qizishi, elektromagnit maydonning hosil bo‘lishi va boshqa effektlarga bu energiyaning bir qismi isrof bo‘ladi.

Elektr tarmoqning har qanday elementida elektr energiya isrofi yuklamaning xarakteri va qurilayotgan vaqt jarayonida uning o‘zgarishiga bog‘liq. O‘zgarimas



yuklama bilan ishlab, □ aktiv quvvat isrofiga ega bo‘lgan EULda t vaqt davomida isrof bo‘luvchi energiya quyidagicha aniqlanadi:

(1)

Agar yuklama yil davomida o‘zgarib tursa, u holda elektr energiya isrofini turli usullar yordamida hisoblash mumkin. Mavjud barcha usullarni foydalaniluvchi matematik modelga bog‘liq ravishda ikkita katta gruppaga bo‘lish mumkin. Bular – aniq va ehtimoliy-statistik usullardir.

Elektr energiya isrofini hisoblashning eng aniq usuli –bu shoxobchalarning yuklama grafiklari bo‘yicha aniqlashdir. Bunda hisoblash yuklama grafigining har bir darajasi uchun quvvat isroflarini aniqlash va ularning yig‘indisini topishni ko‘zda tutadi. Bu usul ba’zan grafik interpolyatsiyalash usuli deb yuritiladi.

Yuklama grafiklari sutkalik va yillik yuklama grafiklariga bo‘linadi. Sutkalik grafiklar yuklama quvvatlarini sutka davomida yillik grafiklar esa yil davomida o‘zgarishini ifodalaydi. Yillik grafik bahorgi-yozgi va kuzgi-qishki davrlar uchun xarakterli sutkalik grafiklar asosida quriladi. Yillik energiya isrofini hisoblashda davomiylik bo‘yicha yuklama grafiklaridan foydalaniladi. Bunday grafikni hosil qilish quyidagi tartibda amalga oshiriladi. Bu grafikning boshlang‘ich ordinatasi maksimal yuklamaga teng qilib qabul qilinadi. Sutkalik grafiklar bo‘yicha turli tipdagi sutkalar sonini hisobga olib (shanba, yakshanba, dushanba, ish kuni) yuklama quvvatining har bir qiymati uchun u yil davomidagi soatlar soni aniqlanadi. Avvalo, maksimal yuklama o‘rinli bo‘lgan vaqt, so‘ngra yuklama quvvatining boshqa qiymatlari uchun (kamayib borish tartibida) vaqt oraliqlari aniqlanadi.

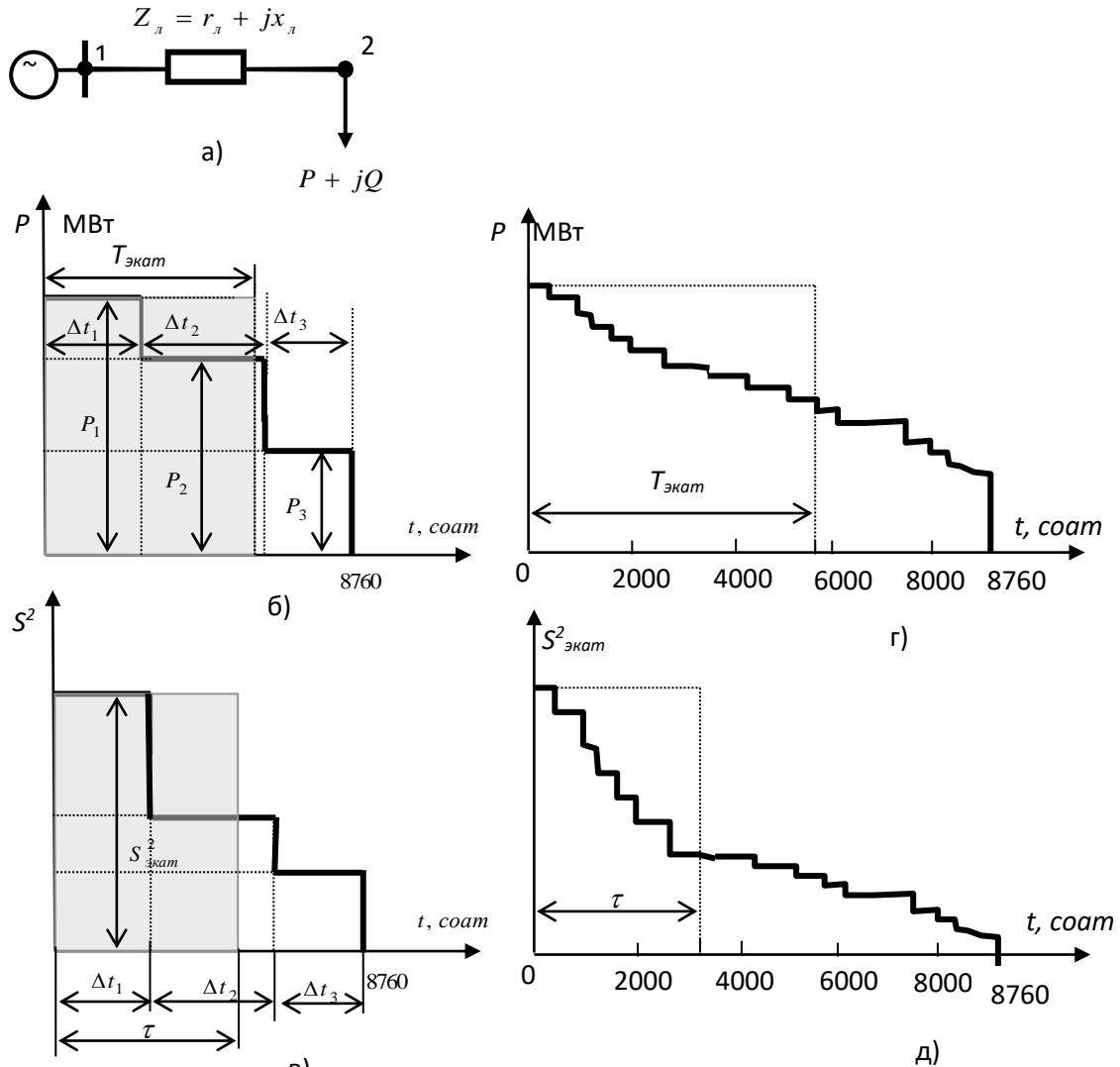
Yillik yuklama grafigi bo‘yicha yillik energiya isrofini aniqlash mumkin. Buning uchun har bir holat uchun quvvat va energiya isroflari aniqlanadi. So‘ngra, bu isroflar qo‘shiladi va yillik elektr energiya isrofi aniqlanadi.

Misol tariqasida uch pag‘onali yuklama grafigini (1,b-rasm) olamiz. Yuklama P bo‘lgan holat uchun 1,a-rasmdagi EULda quvvat isrofi quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta P_1 = \frac{S_1^2}{U_1^2} r_x \quad . \quad (2)$$

Elektr energiya isrofini ushbu holat uchun quvvat isrofini shu holatning davomiylik vaqtiga ko‘paytirish orqali topamiz:

$$\Delta W_1 = \Delta P_1 \Delta t_1 . \quad (3)$$



**1-rasm. Elektr energiya isrofini yuklama grafigi va maksimal isroflar vaqti bo'yicha topish:**

a – EULning almashtirish sxemasi; b,g – uch pag'onali va ko'p pag'onali yuklama grafiklari; v,g – uch pag'onali va ko'p pag'onali S2 grafiklari

Qolgan holatlar uchun ham elektr energiya isrofi shu tartibda topiladi. Yuklama  $P_2$  bo'lgan holat uchun

$$\Delta P_2 = \frac{S_2^2}{U_2^2} r_n ; \quad (4)$$

$$\Delta W_2 = \Delta P_2 \Delta t_2 , \quad (5)$$

yuklama  $P_3$  bo'lgan holat uchun

$$\Delta P_3 = \frac{S_3^2}{U_3^2} r_n . \quad (6)$$

$$\Delta W_3 = \Delta P_3 \Delta t_3 . \quad (7)$$

Yuqoridagilardan kelib chiqib,  $\square$  ta pag'onaga ega bo'lgan ko'p pag'onali yuklama grafigining  $\square$ -pag'onasi uchun quvvat va yil davomidagi energiya isroflari quyidagi formulalar bo'yicha aniqlanadi:

$$\Delta P_i = \frac{S_i^2}{U_i^2} r_i, \quad i = 1, \dots, N, \quad (8)$$

$$\Delta W = \sum_{i=1}^N \Delta P_i \Delta t_i . \quad (9)$$

Bu yerda  $\square$ -yuklama grafigining  $i$ -pag'onasi davomiyliigi.

$\Delta t_i$  vaqt davomida transformatorlarda quvvat va energiya isroflari quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta P = \Delta P_\kappa \left( \frac{S_{2i}}{S_{\text{ном}}} \right)^2 + \Delta P_c ; \quad (10)$$

$$\Delta W = \left[ \Delta P_\kappa \left( \frac{S_{2i}}{S_{\text{ном}}} \right)^2 + \Delta P_c \right] \Delta t_i . \quad (11)$$

Bu yerda  $\Delta P_\kappa, \Delta P_c$  - mos ravishda transformatorning mis va po'latida isrof bo'luvchi quvvat;  $S_{2i}$  - transformatorning ikkilamchi tomonida grafikning  $i$ - pag'onasi yuklamasi;  $S_{\text{ном}}$  - transformatorning nominal quvvati.

$\kappa$  ta transformator parallel ishlaganda  $N$  ta pag'onali yuklama grafigining  $\square$ -pag'onasida isrof bo'luvchi quvvat va yillik energiya isrofi mos ravishda quyidagi formulalar bo'yicha topiladi:

$$\Delta P_i = \frac{1}{k} \Delta P_\kappa \left( \frac{S_{2i}}{S_{\text{ном}}} \right)^2 + k \Delta P_c ; \quad (12)$$

$$\Delta W = \left[ \Delta P_\kappa \left( \frac{S_{2i}}{S_{\text{ном}}} \right)^2 + \Delta P_c \right] \Delta t_i . \quad (13)$$

Isroflarni yuklama grafigi bo'yicha aniqlash usulining afzalligi katta aniqligidadir. Ammo barcha shoxobchalarning yuklamalari haqida ma'lumotning yetarlimasligi ushbu usulning qo'llanilishini cheklaydi.

Isroflarni aniqlashning eng sodda usullaridan biri eng katta isroflar vaqti bo'yicha topishdir. Barcha holatlar ichidan quvvat isrofi eng katta bo'lgan holat aniqlanadi. Bu

holatni hisoblab, bu holat uchun quvvat isrofi topiladi. Yil davomida energiya isrofini bu quvvat isrofini eng katta isroflar vaqti  $\tau$  ga ko'paytirib topiladi:

$$\Delta W = \Delta P_{\text{экам}} \tau . \quad (14)$$

Eng katta isroflar vaqti shunday vaqtqi, agar bu vaqt davomida eng katta yuklama bilan ishlanganda isrof bo'luvchi energiya yil davomida yuklama grafigi bo'yicha ishlanganda isrof bo'luvchi energiyaga teng bo'ladi, ya'ni,

$$\Delta W = \Delta P_1 \Delta t_1 + \Delta P_2 \Delta t_2 + \dots + \Delta P_N \Delta t_N = \Delta P_{\text{экам}} \tau , \quad (15)$$

bu yerda  $N$  - yuklama grafiigi pag'onalar soni.

Elektr energiya isrofi va iste'molchi tomonidan qabul qilingan elektr energiya orasida quyidagi tartibda bog'lanishni o'rnatish mumkin.

Iste'molchi tomonidan qabul qilingan energiya:

$$\Delta W = \Delta P_1 \Delta t_1 + \Delta P_2 \Delta t_2 + \dots + \Delta P_N \Delta t_N = \sum_{i=1}^N \Delta P_i \Delta t_i = \Delta P_{\text{экам}} \tau , \quad (16)$$

bu yerda  $P_{\text{экам}}$  -yuklama qabul qiluvchi eng katta quvvat.

Eng katta yuklama vaqti  $T_{\text{экам}}$  shunday vaqtqi, bu vaqt davomida eng katta yuklama bilan ishlovchi iste'molchi tarmoqdan olgan energiyasi bir yil davomida u yuklama grafigi bo'yicha ishlab tarmoqdan olgan energiyaga teng bo'ladi, ya'ni

$$T_{\text{экам}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i}{P_{\text{экам}}} . \quad (17)$$

$S^2 = f(t)$  grafikni quramiz (1,v-rasm). Faraz qilaylik, yuklama grafigining pag'onasida quvvat isrofining taxminiy qiymati nominal kuchlanish bo'yicha topiladi, ya'ni (18.8) ning o'rniga quyidagi ifodadan foydalanamiz:

$$\Delta P_i = \frac{S_i^2}{U_{\text{ном}}^2} r_{\lambda} .$$

Agar  $r_{\lambda} / U_{\text{ном}}^2 = \text{const}$  ekanligini e'tiborga olsak,  $\tau$  vaqt davomida isrof bo'luvchi energiya ma'lum masshtabda  $S_i^2 \Delta t_i$  ga teng, ya'ni tomonlari  $\Delta t_i$  va  $S_i^2$  ga teng bo'lgan to'g'ri to'rtburchakning yuziga teng (1,v-rasm).

Elektr energiya isrofi ma'lum masshtabda  $I, I, \epsilon, \delta$ - rasmdagi grafiklarda tasvirlangan figuralar bilan chegaralangan yuzalarga teng.

$\tau$  uchun yuqorida keltirilgan ta'rifga muvofiq

$$S_{\text{экат}}^2 \tau = \sum_{i=1}^N S_i^2 \Delta t_i . \quad (18)$$

Pik qurinishidagi grafiklar uchun  $\tau$  ning qiymati quyidagi imperik formuladan topiladi:

$$\tau = (0,124 + \frac{T_{\text{экат}}}{10000})^2 \cdot 8760 . \quad (19)$$

(V.19) formulani yil uchun ya'ni  $T = 8760$  coar uchun foydalanish mumkin. Bunga nisbatan kichik vaqt davomi uchun hisoblash aniqligini oshirish uchun (V.19) o'rniga quyidagi ifodadan foydalanish maqsadga muvofiq:

$$\tau = 2T_{\text{экат}} - T + \frac{T - T_{\text{экат}}}{1 + \frac{T_{\text{экат}}}{T} - \frac{2P_{\text{экич}}}{P_{\text{экат}}}} \left( 1 - \frac{P_{\text{экич}}}{P_{\text{экат}}} \right)^2 . \quad (19a)$$

Qator turli xil xarakterli yuklama grafiklari uchun hisoblash yo'li bilan  $\tau = f(T_{\text{экат}}, \cos \varphi)$  bog'lanishni qurish mumkin va undan foydalanib, ma'lum  $T_{\text{экат}}$  va  $\cos \varphi$  lar bo'yicha  $\tau$  ni aniqlash mumkin.

#### **Nazorat savollari:**

1. Elektr tarmoqlaridagi isroflar qanday turlarga bo'linadi?
2. Elektr tarmoqlaridagi isroflarning turlarini ta'riflang.
3. Elektr tarmoqlaridagi hisobot isroflarigi nimalar kiradi?
4. Elektr tarmoqlaridagi texnik isroflar qanday aniqlanadi?
5. Elektr tarmoqlaridagi tijoriy isroflar qanday aniqlanadi?
6. Liniyalarda isroflar qanday aniqlanadi?

#### **Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. John R. Fanchi with Christoper J. Fanchi. Energy in the 21st Century. 2nd Edition. World Scientific Publishing Co. New Jersey...., 2011.
2. Energy Effeciency – a Bridge to Low Corbon Economy/ Edited by Zoran Morvaj/ Published by InTech. Rijeka Croatia. 2012.
3. Paul Breeze. Power Generation Technologies. Elsevier, Amsterdam and etc., 2005.

4. P. GiridharKiniand Ramesh C. Bansal, Energy managementsystems. Published by InTech. Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia. Copyright © 2011 InTech.
5. Frank Kreith D.Yogi Goswami.Energy management and conservation handbook. © 2008 by Taylor & Francis Group, LLC. CRCP ressisan imprint of Taylor & Francis Group, anInforma business.
6. Zoran Morvaj. Energy efficiency –a bridge tolow carbon economy. Published by InTech Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia. Copyright © 2012 InTech
7. Francis M. Vanek. Louis D. Energy Systems Engineering Evaluation and Implementation. Copyright © 2008 by The McGraw-Hill Companies.

## **2-mavzu: Elektr tarmoqlaridagi isroflarni reaktiv quvvatni kompensatsiyalash orqali kamaytirish.**

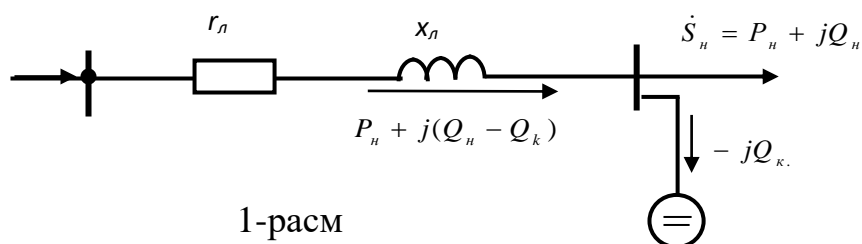
### **Reja:**

1. Elektr tarmoqlarda quvvat va energiya isrofini kamaytirish.
2. Reaktiv quvvatni kompensatsiyalovchi qurilmalar.

**Tayanch so‘z va iboralar:** Elektr tarmoq, quvvat isrofi, energiya isrofi, maksimal yuklama, maksimal yuklamadan foydalanish vaqti, maksimal isroflar vaqti, reaktiv quvvat, kompensatsiya, reaktiv quvvatni kompensatsiyalash.

### **2.1. Elektr tarmoqlarda quvvat va energiya isrofini kamaytirish.**

Taqsimlovchi elektr tarmoqlar ta‘minlovchi tarmoqlardan farqli ravishda doimo ochiq holda ishlaydi. Shu sababli ularda isrofini kamaytirishning eng samarali va keng foydalaniluvchi usuli reaktiv quvvatni kompensatsiyalashga asoslangan. Ushbu usul bo‘yicha isrofini kamaytirish imkoniyatlari bilan sxemasi 1-rasmda tasvirlangan bitta liniyadan iborat bo‘lgan tarmoq misolida tanishamiz.



Ma'lumki, reaktiv quvvati kompensatsiyalanmagan liniyada aktiv quvvat isrofi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta P = \frac{P_H^2 + Q_H^2}{U_H^2} \cdot r_n .$$

Liniyaning oxirida ulangan iste'molchilarning yonida kompensatsiyalovchi qurilma ulangandan so'ng yuklamaning umumiy (kompensator bilan birga hisoblanganda) aktiv quvvat koeffitsiyenti  $\cos\varphi$  oshadi va liniyadagi aktiv quvvat isrofi kamayadi:

$$\Delta P = \frac{P_H^2 + (Q_H - Q_k)^2}{U_H^2} \cdot r_n .$$

Kompensatorning tarmoqdagi quvvat isrofini eng kam bo'lishini ta'minlovchi optimal quvvatni isrof funksiyasi minimumligining zaruriy sharti, ya'ni u bo'yicha xususiy hosilaning nolga tengligidan foydalanib topish qulaydir:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_k} = - \frac{2(Q_H - Q_k)}{U_H^2} \cdot r_n = 0.$$

Shunday qilib, ko'rilayotgan tarmoq uchun  $Q_{k, opt.} = Q_H$ . Demak, ushbu holatda yuklamaning reaktiv quvvati kompensator yordamida to'la kompensatsiyalanganda (liniya orqali iste'molchiga faqat aktiv quvvat uzatilganda) tarmoqdagi aktiv quvvat isrofi minimal bo'ladi.

Elektr tarmog'ining sxemasi har qanday shaklda bo'luvchi umumiy holatda ham tugunning rostlanuvchan reaktiv quvvatini undagi aktiv quvvat isrofining minimum bo'lishi shartidan kelib chiqib tanlash mumkin. Bunday holatda masala elektr tarmog'ining holatini reaktiv quvvat bo'yicha optimallashtirish masalasi deb yuritilib, u umumiy holatda quyidagi ko'rinishda shakllantiriladi:

$$\Delta P \rightarrow \min \tag{1}$$

$$\left. \begin{aligned} W_i' &= P_i - P_{ib} = 0, \quad i \in \Gamma + H; \\ W_i'' &= Q_i - Q_{ib} = 0, \quad i \in \Gamma_1 + H \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

$$U_{i, \min} \leq U_i \leq U_{i, \max}, \quad i \in \Gamma + H; \tag{3}$$

$$Q_{i, \min} \leq Q_i \leq Q_{i, \max}; \quad i \in \Gamma - \Gamma_1; \tag{4}$$

$$P_{l, \min} \leq P_l \leq P_{l, \max}; \quad l \in L_p; \tag{5}$$

$$I_{l_{\min}} \leq I_l \leq I_{l_{\max}} ; \quad l \in L_l ; \quad (6)$$

bu yerda  $P_i, Q_i, P_{i3}, Q_{i3} - i$  – tugunning hisoblanuvchi va berilgan aktiv va reaktiv quvvatlari;  $U_i, U_{i,\min}, U_{i,\max} - i$  – tugundagi kuchlanish, hamda uning berilgan minimal va maksimal chegaraviy qiymatlari;  $PI, II$  – aktiv quvvat oqimi va toki nazorat qilinuvchi l-shoxobchanning hisoblanuvchi aktiv quvvati va toki;  $G, N$  – generatsiya va yuklama tugunlari to‘plamlari;  $G1$  – reaktiv quvvati rostlanmaydigan generatsiya tugunlari to‘plami;  $LP, LI$  – aktiv quvvat oqimi va toki nazorat qilinuvchi shoxobchalar to‘plamlari.

Yuqorida matematik usulda ifodalangan masala quyidagicha izohlanadi. Reaktiv quvvati rostlanuvchan qurilmalar (sinxron generatorlar, kompensatorlar, reaktiv quvvatning statik manbalari, sinxron dvigatellar) ning shunday quvvatlari topilishi kerakki, natijada keltirilgan (2)-(6) chegaraviy shartlar bajarilgani holda tarmoqdagi umumiy aktiv quvvat isrofi minimal bo‘lsin.

(1)- (6) masalani yechishning eng qulay usuli uni Lagranj funksiyasini tuzish orqali shartsiz optimallashtirish masalasiga keltirishga asoslangan. Bunda erksiz noma’lumlar bo‘yicha va funksional chegaraviy shartlarni jarima funksiyasi yordamida, tenglik ko‘rinishidagi chegaraviy shartlarni esa, noma’lum Lagranj ko‘paytuvchilari orqali hisobga olib, quyidagi shartsiz optimallashtirish masalasi hosil qilinadi:

$$L = \Delta P + III + \sum_{i \in \Gamma+H} \lambda_i' W_i' + \sum_{i \in \Gamma_1+H} \lambda_i'' W_i'' . \quad (7)$$

Bu yerda  $III = \sum_{i \in \Gamma+H} III_{U_i} + \sum_{i \in \Gamma} III_{Q_i} + \sum_{l \in LP} III_{P_l} + \sum_{l \in LI} III_{I_l}$  bo‘lib, u mos chegaraviy shart bajarilganda nolga teng va buzilganda buzilish darajasiga proporsional tarzda tez ortuvchi jarima funksiyalarining yig‘indisi;  $\lambda_i', \lambda_i''$  - noma’lum Lagranj ko‘paytuvchilari.

Optimallashtiruvchi parametrlarning qiymatlari, masalan optimal reaktiv quvvatlar, (7) funksiya minimumligining zaruriy shartidan hosil qilingan quyidagi tenglamalar sistemasini yechish asosida topiladi:



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial \lambda'_i} = W'_i = P_i - P_{iz} = 0; \quad i \in \Gamma + H, \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda''_i} = W''_i = Q_i - Q_{iz} = 0; \quad i \in \Gamma_1 + H, \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial \delta_i} = \frac{\partial F}{\partial \delta_i} + \sum_{j \in \Gamma + H} \lambda'_j \frac{\partial W'_j}{\partial \delta_i} + \sum_{j \in \Gamma_1 + H} \lambda''_j \frac{\partial W''_j}{\partial \delta_i} = 0; \quad i \in \Gamma + H, \\ \frac{\partial L}{\partial U_i} = \frac{\partial F}{\partial U_i} + \sum_{j \in \Gamma + H} \lambda'_j \frac{\partial W'_j}{\partial U_i} + \sum_{j \in \Gamma_1 + H} \lambda''_j \frac{\partial W''_j}{\partial U_i} = 0; \quad i \in \Gamma_1 + H, \end{array} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial Q_i} = \frac{\partial F}{\partial Q_i} + \sum_{j \in \Gamma + H} \lambda'_j \frac{\partial W'_j}{\partial Q_i} + \sum_{j \in \Gamma_1 + H} \lambda''_j \frac{\partial W''_j}{\partial Q_i} = 0; \quad i \in \Gamma - \Gamma_1. \end{array} \right. \quad (10)$$

Bu yerda  $P_i$ ,  $Q_i$ ,  $P_{iz}$ ,  $Q_{iz}$  –  $i$ -tugunning hisobiy va berilgan aktiv va reaktiv quvvatlari;  $U_i$ ,  $\delta_i$  –  $i$ -tugun kompleks kuchlanishining moduli va fazasi.

Hisoblashlarni qulaylashtirish maqsadida har bir yaqinlashishda yuqoridagi sistemani yechish uchta – (8), (9), (10) podsistemalarni ketma-ket tarzda yechish asosida amalga oshiriladi. (8) podsistemani yechish natijasida barcha tugunlar kuchlanishlarining fazalari va modullari (kuchlanishi optimallanuvchi tugundan tashqari); (9) podsistemani yechish natijasida noma'lum Lagranj ko'paytuvchilari va (10) podsistemani yechish natijasida optimal reaktiv quvvatlar topiladi.

## 2.2 Reaktiv quvvatni kompensatsiyalovchi qurilmalar

Yuqorida keltirilgan isrof formulasidan ko'rinib turibdiki, kompensatsiyalovchi uskunaning quvvati QKU qancha katta bo'lsa ( $QKU < Q$  bo'lgan holatda), quvvat isrofi shuncha kichik bo'ladi. Lekin, isrofnı bu usulda kamaytirish kompensatsiyalovchi uskunalarga sarflanuvchi qo'shimcha xarajatlarni talab qiladi. Bu xarajatlarni texnik-iqtisodiy hisoblashlarda e'tiborga olish lozim.

Reaktiv quvvatni kompensatsiyalash elektr ta'minoti samaradorligini oshirishning muhim omili (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).

Generatorning aktiv va reaktiv quvvatlari orasidagi nisbat 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:

$$Q_{KY} = \frac{I^2}{\omega C}$$

- 1) Bu holda, quvvat sig'imga teskari proporsional.
- 2) Qisqa tutashuvda kuchlanish birdaniga oshib ketmaydi, bundan farqli o'laroq tok keskin ko'tariladi. Bunda, har bir kondensatordagi kuchlanish  $\square$  ortadi va kondensa-

torlarning teshilishini oldini olish uchun bu kuchlanish ruxsat etilgandan katta bo'lmashligi 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.

- 3) Kondensatorli batareyalarning samaradorligi ma'lum darajada ular ulangan tarmoq yuklanishiga bog'liqdir. Bu asosan reaktiv quvvatning iqtisodiylik ekvivalenti KE bilan aniqlanadi.
- 4) Kondensatorli batareyalar rostlanadigan (RBK) va rostlanmaydigan (NBK) turlarga bo'linadi.
- 5) Generator, liniya va dvigatellar sistemaning asosiy elementlari, kompensator va kondensatorlar esa – reaktiv quvvat ishlab chiqarish uchun o'rnatilgan qo'shimcha manbalar hisoblanadi. Shuning uchun ularning o'zaro afzallik va kamchiliklarini baholash muhimdir.
- 6) Kondensatorli batareyalarning sinxron kompensatorlarga nisbatan afzalliklari:
- 7) arzonligi;
- 8) aktiv quvvat isrofining kamligi;
- 9) kichik quvvatlarda kam ishlatish mumkinligi;
- 10) mustahkamligi va ishlatishda ishonchliligi (harakatlanuvchi qismlarning yo'qligi)
- 11) kuchlanishni o'zgarish chizig'i shaklining yaxshilanishi.
- 12) Sinxron kompensatorlarning afzalliklari:
- 13) reaktiv quvvatni bir tekis rostlash imkoniyati mavjudligi;
- 14) reaktiv quvvatni ishlab chiqarish, hamda iste'mol qilish imkoniyatlari mavjudligi.

### **3-mavzu: Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirish usullari.**

#### **Reja:**

1. Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida quvvat oqimlarining tabiiy taqsimlanishi.
2. Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni tranesformatsiyalash koeffitsiyentlarini optimallashtirish orqali kamaytirish
3. Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida quvvat oqimlarini iqtisodiy taqsimlash usullari.

**Tayanch soʻz va iboralar:** Elektr tarmoq, yopiq zanjirli tarmoq, quvvat oqimining taqsimlanishi, bir jinsli yopiq zanjirli elektr tarmoq. Boʻylama kompensatsiya.

#### **3.1. Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida quvvat oqimining tabiiy va iqtisodiy taqsimnishi.**

Elektr isteʼmolchilarini taʼminlashda yuqori ishonchlilikni taʼminlash maqsadida yopiq tarmoqlardan foydalaniladi. Bundan tashqari yopiq tarmoqlardan foydalanilganda, isroflarni ochiq tarmoqlardagiga nisbatan kamaytirish imkoniyatlari paydo boʻlishi mumkin.

Yopiq tarmoq bir jinsli boʻlganda ulardan isteʼmolchilarga quvvat uzatish eng kam isroflarda amalga oshadi. Bunday tarmoqlar konturni tashkil etuvchi shoxobchalarning aktiv va reaktiv qarshiliklarining nisbatlari bir xilligi bilan xarakterlanadi, yaʼni

$$\frac{x_i}{r_i} = const .$$

Nojinsli (bir jinsli boʻlmagan) yopiq elektr tarmoqlarda konturni tashkil etuvchi shoxobchalarning qarshiliklari nisbatlari turlichadir. Bunday tarmoqlarda quvvatlarning tabiiy taqsimlanishi toʻla qarshilik  $z=r+jx$  boʻyicha amalga oshadi.

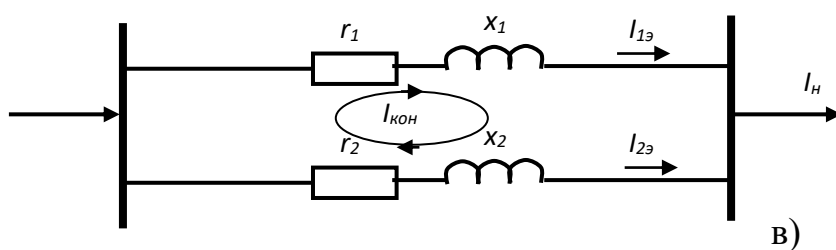
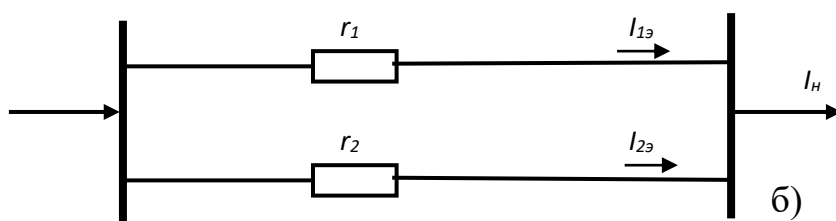
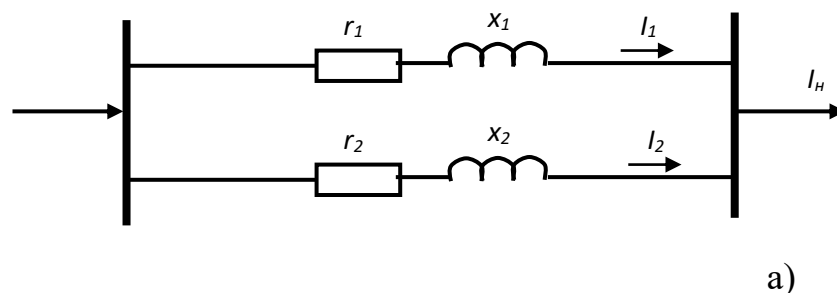
Yopiq tarmoqda quvvatning undagi isrofni eng kam boʻlish holatiga mos keluvchi iqtisodiy taqsimlanishi uni faqat aktiv qarshilik boʻyicha taqsimlanishi bilan bir hil boʻladi.

Nojinsli yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining iqtisodiy taqsimlash imkoniyatlarini oʻrganish uchun bir konturli yopiq tarmoqni koʻrib oʻtamiz (1,a-rasm).

Sxemalarda kўrsatilgan  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_{1\partial}$ ,  $I_{2\partial}$  toklar konturda quvvatlar tabiiy va iqtisodiy taqsimlangan holatlarga mos kelib, mazkur tarmoq uchun ularning qiymatlari Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlaridan foydalanib, quyidagicha hisoblanishi mumkin:

$$I_1 = I_H \cdot \frac{r_2 + jx_2}{r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2)}, \quad I_2 = I_H \cdot \frac{r_1 + jx_1}{r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2)},$$

$$I_{1\partial} = I_H \cdot \frac{r_2}{r_1 + r_2}, \quad I_{2\partial} = I_H \cdot \frac{r_1}{r_1 + r_2}.$$



1-расм

Agar 1,a-rasmda tasvirlangan konturda tarmoqning nojinsliligi tufayli tenglashtiruvchi tok  $I_{\text{KOH}}$  oqadi deb hisoblasak (1,v-rasm), u holda tabiiy va iqtisodiy taqsimlanish holatlari uchun toklar quyidagi ifodalar bilan boʻlingan:

$$I_1 = I_{1\partial} + I_{\text{KOH}}; \quad I_2 = I_{2\partial} - I_{\text{KOH}}.$$

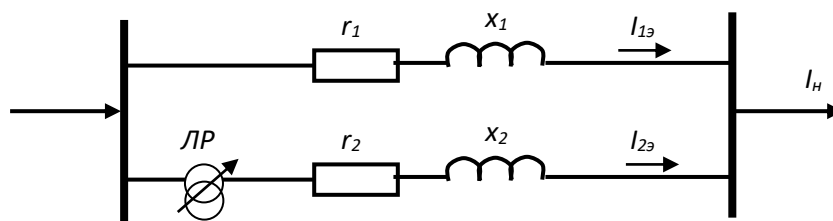
1) Shunday qilib, yopiq elektr tarmoqlarda quvvat isrofini minimallashtirish uchun ularda tenglashtiruvchi toklarni nolga keltirish lozim. Bu tarmoqning nojinsliligini kamaytirish yoki tenglashtiruvchi toklarni kompensatsiyalash orqali amalga oshiriladi.

2) Tarmoqning nojinsliligini kamaytirish  $\phi$ tkazgichlarning kesim yuzalarini  $\phi$ zgartirish va BKQ (b $\phi$ ylama kompensatsiyalovchi qurilma) ulash orqali amalga oshirilishi mumkin.

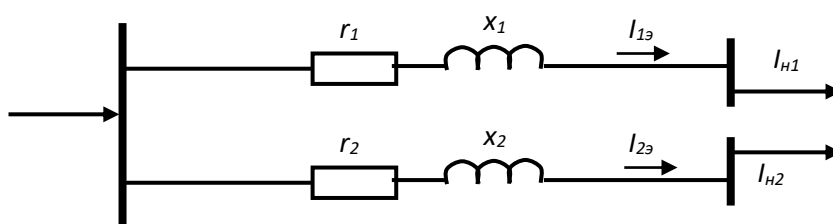
3) Tenglashtiruvchi kontur toklarini kompensatsiyalash ikki y $\phi$ l bilan amalga oshirilishi mumkin:

4) kompensatsiyalovchi tenglashtiruvchi toklarni hosil qilish orqali (konturda quvvat oqimini rostdlash);

5) Tenglashuvchi toklarning y $\phi$ lini uzish orqali (tarmoq konturlarini ochish orqali) (8.2,b-rasm).



a)



b)

2-rasm

Kompensatsiyalovchi tenglashtiruvchi toklarni hosil qilish konturlarga q $\phi$ shimcha EYK kiritish orqali amalga oshiriladi.  $\int$ z navbatida q $\phi$ shimcha EYK liniya rostdlagichlari

hisobiga, ya'ni kuchlanishni b $\acute{c}$ ylama-k $\acute{c}$ ndalang rostdash yoki muvozanatlashmagan transformatsiyalash koeffitsiyentlari hisobiga hosil qilinadi (2,a-rasm).

Ta'minlovchi elektr tarmoqlarda q $\acute{c}$ shimcha EYKning qiymatini yoki konturni ochish nuqtasini aniqlash uchun uning holatini optimallashtirish masalasi e $\acute{c}$ hila $\acute{d}$ i. Бунинг учун юқорида келтирилган алгоритмдан фойдаланиш самаралидир.

### **3.2. Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni transformatsiyalash koeffitsiyentlarini optimallashtirish orqali kamaytirish.**

Umumiy hollarda yopiq elektr tarmoqlarida quvvat oqimlarining iqtisodiy taqsimlanishi mavjud transformatorlarning optimal transformatsiyalash koeffitsiyentlarini ta'minlash hisobiga amalga oshirilishi mumkin. Bunday transformatsiyalash koeffitsiyentlari umumiy holatda oldingi mavzudagi reaktiv quvvatni optimallashtirishdagi singari mos matematik optimallashtirish masalasini yechish orqali aniqlanadi. Bunday masalalar murakkab no $\acute{c}$ hiziqli matematik dasturlash masalalari toifasiga kiradi. Uni yechishda asosiy yondoshuv har birida optimallashtirish qadami va elektr tarmoqning barqaror holatini hisoblash amalga oshiriluvchi iteratsiyalar sikliga bo'lishni ko'zda tutadi.

Hozirgi paytda keng tarqalgan va amalda keng qo'llaniluvchi algoritmlarda elektr tarmoqning barqaror holati Nyuton, optimallashtirish esa gradiyent usulida amalga oshiriladi. Bu algoritmlar asosan soddalik, oddiy va funksional chegaraviy shartlarni oson hisobga olishdek bir qator afzalliklarga ega. Shu bilan bir qatorda ko'plab tugunlarga ega bo'lgan zamonaviy elektr tarmoqlarining holatlarini hisoblashda jarayonning sekinligi, tebranuvchanligi va mos holda uning yaqinlashishini nisbatan ishonchsizligi kabi qiyinchiliklar uchraydi. Shu munosabat bilan elektr tarmoqlarining holatlarini optimallashtirishning ushbu qiyinchiliklarni yengib o'tuvchi takomillashgan algoritmlarini yaratish va joriy etish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Erkli o'zgaruvchilarga qo'yiluvchi chegaralar (oddiy chegaraviy shartlar) har bir qadamda chegaradan chiqib ketgan o'zgaruvchilarni mos chegaralarga birlashtirish orqali

hisobga olinadi. Keyingi qadamlarda oldingi qadamda chegaraviy qiymatiga birlashtirilgan o'zgaruvchini bo'shatish zarurati tekshirib ko'riladi.

Ko'riluvchi algoritmlarda erksiz o'zgaruvchilarga qo'yilgan chegaralar (funktional chegaraviy shartlar) jarima funksiyasi yordamida hisobga olinadi. Mos holda ko'rilayotgan shartli optimallashtirish masalasi ketma-ket holda shartsiz optimallashtirish masalasiga keltirib yechiladi.

Tarmoqning holatini ruxsat etilgan sohaga olib kiritish, shuningdek, chegaraviy shartlar birgalikda bo'lmagan hollarda ularning minimal darajada buzilishiga olib keluvchi yechimlarni aniqlash maqsadida funksional va erksiz o'zgaruvchilarga qo'yiluvchi chegaraviy shartlar ham jarima funksiyasi yordamida hisobga olinadi.

Erksiz o'zgaruvchiga qo'yilgan chegaraviy shart  $\alpha_{yi}$  ni hisobga olish uchun jarima funksiyasi ko'rib o'tiluvchi algoritmlarda quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$III_{yi} = \frac{\alpha_{yi}}{2} (y_i - \bar{y}_i)^2. \quad (1)$$

Bu yerda  $\alpha_{yi}$  – yuk koeffitsiyenti (jarima koeffitsiyenti);  $\bar{y}_i$  - erksiz o'zgaruvchining hisobiy va berilgan chegaraviy qiymatlari.

Optimallashtirish qadamining bajarilishidan oldin jarima funksiyasi yordamida hisobga olinuvchi har bir chegaraviy shartning bajarilishi tekshirib ko'riladi. Bunda bajarilgan chegaraviy shartlar uchun mos jarima funksiyasi sun'iy ravishda nulgga tenglashtirilib, navbatdagi qadam uni hisobga olmasdan amalga oshiriladi.

Erksiz o'zgaruvchilarga qo'yiluvchi chegaraviy shartlarni hisobga olishning qabul qilingan usulini e'tiborga olgan holda maqsad funksiyasi quyidagi ko'rinishni oladi.

$$F = \pi + \sum_{i \in \Gamma_1 + H} III_{ui} + \sum_{i \in \Gamma - \Gamma_1} III_{Qi} + \sum_{l \in Lp} III_{Pl} + \sum_{l \in L_1} III_{ll}. \quad (2)$$

Bu yerda  $III_{ui}$ ,  $III_{Qi}$ ,  $III_{Lp}$ ,  $III_{ll}$  - mos holda G1+N to'plamning i- chi tugunida kuchlanishning qiymati, G-G1 to'plamning i- chi tugunida reaktiv quvvat, Lp to'plamning l – shoxobchasida aktiv quvvat oqimi va L1 to'plamning l –chi shoxobchasida tokning qiymati bo'yicha chegaraviy shartlar buzilgan holatda kiritiluvchi jarima funksiyalari.

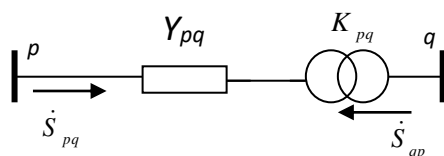


Funksiya ekstremumini zaruriy shartidan foydalanish asosida transformatorlarni transformatsiyalash koefitsientlari bo'yicha elektr tarmoqlarining rejimini optimal-  
lash.

Optimallashtirish algoritmi va tugunlar kuchlanishi kabi boshqariladigan konturli transformatorlarni transformatsiyalashni optimal koefitsientlar formulasini olish uchun bir necha o'zgaruvchilarning murakkab funksiyasi singari  $F$  ning maqsadli funksiyasini differensiallaymiz va quyidagilarni olamiz:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dF}{dK'_{pq}} &= \frac{\partial F}{\partial K'_{pq}} + \sum_j \frac{\partial F}{\partial P_j} \frac{dP_j}{dK'_{pq}} + \sum_j \frac{\partial F}{\partial Q_j} \frac{dQ_j}{dK'_{pq}} \\ \frac{dF}{dK''_{pq}} &= \frac{\partial F}{\partial K''_{pq}} + \sum_j \frac{\partial F}{\partial P_j} \frac{dP_j}{dK''_{pq}} + \sum_j \frac{\partial F}{\partial Q_j} \frac{dQ_j}{dK''_{pq}} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

Bu yerda  $K'_{pq}$  va  $K''_{pq}$  – konturli transformatorni transformatsiyasini kompleks koefitsientini tegishlicha bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchisi;  $p - q$  – elektr tarmog'ining bir shaxobchasi, bu yerda transformatorlar mavjud (2.1-rasm).



2.1-rasm. Boshqariladigan transformatorni ushlab turgan elektr tarmog'i almashtirish sxemasi

(3) ga  $\frac{\partial F}{\partial K'_{pq}}, \frac{\partial F}{\partial K''_{pq}}, \frac{dP}{dK'_{pq}}, \frac{dP}{dK''_{pq}}, \frac{dQ}{dK'_{pq}}$  ba  $\square$  ning analitik qiymatlarini qo'ygan holda

transformatsiya koefitsientlari bo'yicha  $F$  chiqarish funksiyasining hisoblash formulasini olish mumkin. Quyidagi ushbu formula so'zsiz optimizatsiyalash holatlari uchun chiqariladi, qaysiki bunda maqsadli funksiya tarmoqdagi aktiv quvvatni jami yo'qotilishi ko'rinishida aks etadi (jarima tashkil etuvchilar mavjud emas).

Aktiv quvvatlarni yo‘qotilishi tugunlarning aktiv quvvatlarni algebraik summasi sifatida aniqlanadi:

$$\pi = \sum_{i=0}^n P_i, \quad (4)$$

Negaki  $i \neq p, q$  da  $\frac{\partial P_i}{\partial K_{pq}}$  va  $\frac{\partial Q_i}{\partial K_{pq}}$  hossalari nolga teng ekan, bunday holda faqat va tugunlarining quvvatlarini hisobga olish yetarlidir. Kirxgofning birinchi qonuniga binoan va ning quvvatlarini ushbu tugunlardan tarqaluvchi shaxobchalar bo‘yicha aktiv quvvatlar oqimining algebraik summasi sifatida ko‘rsatishimiz mumkin:

$$P_p = \sum_{j \neq p} P_{pj} + P_{pq}^{(p)} = -g_{pp} U_p^2 + U_p \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq p, q}}^n U_j (g_{pj} \cos \delta_{pj} + b_{pj} \sin \delta_{pj}) - \\ - K'_{pq} U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} + b_{pq} \sin \delta_{pq}) - K''_{pq} U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} - b_{pq} \cos \delta_{pq}); \quad (5)$$

$$Q_p = \sum_{j \neq p} Q_{pj} + Q_{pq}^{(p)} = b_{pp} U_p^2 + U_p \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq p, q}}^n U_j (g_{pj} \sin \delta_{pj} - b_{pj} \cos \delta_{pj}) - \\ - K'_{pq} U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} - b_{pq} \cos \delta_{pq}) + K''_{pq} U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} + b_{pq} \sin \delta_{pq}); \quad (6)$$

$$P_q = \sum_{j \neq q} P_{qj} + P_{qp}^{(q)} = -g_{qq}^* U_q^2 + U_q \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq p, q}}^n U_j (g_{qj} \cos \delta_{qj} + b_{qj} \sin \delta_{qj}) + A_{pq}^2 U_q^2 g_{pq} - \\ - K'_{pq} U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} + b_{pq} \sin \delta_{pq}) + K''_{pq} U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} - b_{pq} \cos \delta_{pq}); \quad (7)$$

$$Q_q = \sum_{j \neq q} Q_{qj} + Q_{qp}^{(q)} = b_{qq}^* U_q^2 + U_q \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq p, q}}^n U_j (g_{qj} \sin \delta_{qj} - b_{qj} \cos \delta_{qj}) - A_{pq}^2 U_q^2 b_{pq} - \\ - K'_{pq} U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} - b_{pq} \cos \delta_{pq}) - K''_{pq} U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} + b_{pq} \sin \delta_{pq}). \quad (8)$$

Бу ерда  $y_{qq}^* = y_{qq} - y_{qp}$ .

(3) formuladagi  $\frac{\partial F}{\partial P_i}, \frac{\partial F}{\partial Q_i}$  hosilalarni chiziqli algebraik tenglamalar sistemasi

(CHATS) ni yechish asosida topamiz.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial \delta_i} &= \sum_j \frac{\partial F}{\partial P_j} \frac{\partial P_j}{\partial \delta_i} + \sum_j \frac{\partial F}{\partial Q_j} \frac{\partial Q_j}{\partial \delta_i} \\ \frac{\partial F}{\partial U_i} &= \sum_j \frac{\partial F}{\partial P_j} \frac{\partial P_j}{\partial U_i} + \sum_j \frac{\partial F}{\partial Q_j} \frac{\partial Q_j}{\partial U_i} \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

Qolgan hosilalarni (4) va (5) tenglamalarni differensiallash asosida aniqlaymiz. Bunda to'la hosilalarning qiymatlarini aniqlashni osonlashtirish uchun ularning taxminiy sanaluvchi xususiy hosilalari bilan almashtiramiz.

Юқоридагилар асосида куйидагини оламиз:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\pi}{dK'_{pq}} &= \left( 1 + \frac{\partial \pi}{\partial P_p} \right) \frac{\partial P_p}{\partial K'_{pq}} + \left( 1 + \frac{\partial \pi}{\partial P_q} \right) \frac{\partial P_q}{\partial K'_{pq}} + \frac{\partial \pi}{\partial Q_p} \frac{\partial Q_p}{\partial K'_{pq}} + \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} \frac{\partial Q_q}{\partial K'_{pq}} \\ \frac{d\pi}{dK''_{pq}} &= \left( 1 + \frac{\partial \pi}{\partial P_p} \right) \frac{\partial P_p}{\partial K''_{pq}} + \left( 1 + \frac{\partial \pi}{\partial P_q} \right) \frac{\partial P_q}{\partial K''_{pq}} + \frac{\partial \pi}{\partial Q_p} \frac{\partial Q_p}{\partial K''_{pq}} + \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} \frac{\partial Q_q}{\partial K''_{pq}} \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

Bu yerda

$$\frac{\partial P_p}{\partial K'_{pq}} = -U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} + b_{pq} \sin \delta_{pq});$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial K''_{pq}} = -U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} - b_{pq} \cos \delta_{pq});$$

$$\frac{\partial Q_p}{\partial K'_{pq}} = -U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} - b_{pq} \cos \delta_{pq});$$

$$\frac{\partial Q_p}{\partial K''_{pq}} = U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} + b_{pq} \sin \delta_{pq}); \quad (11)$$

$$\frac{\partial P_q}{\partial K'_{pq}} = -U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} - b_{pq} \sin \delta_{pq}) + 2K'_{pq} U_q^2 g_{pq};$$

$$\frac{\partial P_q}{\partial K''_{pq}} = -U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} + b_{pq} \cos \delta_{pq}) + 2K''_{pq} U_q^2 g_{pq};$$

$$\frac{\partial Q_q}{\partial K'_{pq}} = U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} + b_{pq} \cos \delta_{pq}) - 2K'_{pq} U_q^2 b_{pq};$$

$$\frac{\partial Q_q}{\partial K''_{pq}} = -U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} - b_{pq} \sin \delta_{pq}) - 2K''_{pq} U_q^2 b_{pq}.$$

(11) tenglamani optimallik shartidan kelib chiqqan holda transformatsiyaning optimallik koeffitsentlarini hisoblashni quyidagi rekurrentli formulaga keltirish mumkin:

$$K'_{pqon} = \frac{U_p \left[ \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_p} + \frac{\partial \pi}{\partial P_q} \right) g_{pq} \cos \delta_{pq} + \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_p} - \frac{\partial \pi}{\partial P_q} \right) b_{pq} \sin \delta_{pq} \right]}{2U_q \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_q} g_{pq} - \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} b_{pq} \right)} +$$

$$+ \frac{U_p \left[ \left( \frac{\partial \pi}{\partial Q_p} - \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} \right) g_{pq} \sin \delta_{pq} - \left( \frac{\partial \pi}{\partial Q_p} + \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} \right) b_{pq} \cos \delta_{pq} \right]}{2U_q \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_q} g_{pq} - \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} b_{pq} \right)} \quad (12)$$

$$K''_{pq} = \frac{U_p \left[ \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_p} + \frac{\partial \pi}{\partial P_q} \right) g_{pq} \sin \delta_{pq} - \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_p} - \frac{\partial \pi}{\partial P_q} \right) b_{pq} \cos \delta_{pq} \right]}{2U_q \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_q} g_{pq} - \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} b_{pq} \right)} -$$

$$- \frac{U_p \left[ \left( \frac{\partial \pi}{\partial Q_p} - \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} \right) g_{pq} \cos \delta_{pq} - \left( \frac{\partial \pi}{\partial Q_p} + \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} \right) b_{pq} \sin \delta_{pq} \right]}{2U_q \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_q} g_{pq} - \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} b_{pq} \right)}. \quad (13).$$

Ular optimizatsiya algoritmlari qatorida teng qo'llaniladi. Bunda (11) bo'yicha hisob kitobda kuzatiladigan hisoblash jarayonini tebranishini yo'qotish uchun har bir iteratsiyada aniqlangan optimal  $K'_{pq}$  ning qiymati quyidagi formula bo'yicha korreksiyalanadi:

$$\left. \begin{aligned} K'_{pq \text{ kop}}^{(k)} &= K'_{pq \text{ kop}}^{(k-1)} + \beta_1^{(k)} (K'_{pq}^{(k)} - K'_{pq \text{ kop}}^{(k-1)}) \\ K''_{pq \text{ kop}}^{(k)} &= K''_{pq \text{ kop}}^{(k-1)} + \beta_2^{(k)} (K''_{pq}^{(k)} - K''_{pq \text{ kop}}^{(k-1)}) \end{aligned} \right\},$$

Bu yerda  $\beta_1, \beta_2$  – dempfiraydigan koeffitsentlar;  $K'_{pq}^{(k)}, K''_{pq \text{ kop}}^{(k)}$  – transformatsiya koeffitsentini  $k$  - yaqinlashishda olingan va to'g'rilangan qiymatlari.

$h$  - kuchaytiruvchilar singari demfiraydigan koeffitsentlarning boshlang'ich qiymati hisoblash tajribalari asosida operator yordamida kiritiladi, keyingi iteratsiyalarda esa ularni qiymatlari ma'lum bo'lgan algoritmlar bo'yicha o'zgartiriladi.

Shunday qilib, konturli transformatorlarning transformatsiya koefitsentlari bo'yicha optimallashtirish algoritmi quyidagilardan iborat:

1.  $\frac{\partial F}{\partial P_i}$  va  $\frac{\partial F}{\partial Q_i}$  hususiy hosilalar (9) CHATS yechimi asosida hisoblanadi.

2. (12) va (13) bo'yicha  $K'_{pqOnm}$  va  $K''_{pqOnm}$  hisoblangan transformatorlarning optimal koefitsentlarining hisob – kitobi bajariladi.

Ushbu yaqinlashishda olingan  $K'_{pqOnm}$  va  $K''_{pqOnm}$  ni hisobga olgan holda tugunli va o'zining o'tkazuvchanlik matritsasini tegishli elementlarini qayta hisoblash bajariladi.

Elektr tarmog'ining o'rnatilgan rejimini hisoblash bajariladi.

Optimallashtirish jarayonida o'tish shartlarini bajarilishi tekshiriladi. Shart bajarilgan taqdirda hisob – kitoblar to'xtatiladi va oxirgi iteratsiya natijalari optimal hisoblanadi. Aks holda transformatorning yangi transformatsiya koefitsenti bilan hisob – kitoblar qaytariladi.

#### **4-mavzu: Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirish usullari.**

##### **Reja:**

1. Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida quvvat oqimlarining tabiiy taqsimlanishi.
2. Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni transformatsiyalash koefitsientlarini optimallashtirish orqali kamaytirish

**Tayanch so'z va iboralar:** Elektr tarmoq, yopiq zanjirli tarmoq, quvvat oqimining taqsimlanishi, bir jinsli yopiq zanjirli elektr tarmoq. Bo'ylama kompensatsiya.

#### **4.1. Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida quvvat oqimining tabiiy va iqtisodiy taqsimlanishi.**

Elektr iste'molchilarini ta'minlashda yuqori ishonchlilikni ta'minlash maqsadida yopiq tarmoqlardan foydalaniladi. Bundan tashqari yopiq tarmoqlardan foydalanilganda, isroflarni ochiq tarmoqlardagiga nisbatan kamaytirish imkoniyatlari paydo bo'lishi mumkin.

Yopiq tarmoq bir jinsli bo‘lganda ulardan iste‘molchilarga quvvat uzatish eng kam isroflarda amalga oshadi. Bunday tarmoqlar konturni tashkil etuvchi shoxobchalarning aktiv va reaktiv qarshiliklarining nisbatlari bir xilligi bilan xarakterlanadi, ya’ni

$$\frac{x_i}{r_i} = const .$$

Nojinsli (bir jinsli bo‘lmagan) yopiq elektr tarmoqlarda konturni tashkil etuvchi shoxobchalarning qarshiliklari nisbatlari turlichadir. Bunday tarmoqlarda quvvatlarning tabiiy taqsimlanishi to‘la qarshilik  $z=r+jx$  bo‘yicha amalga oshadi.

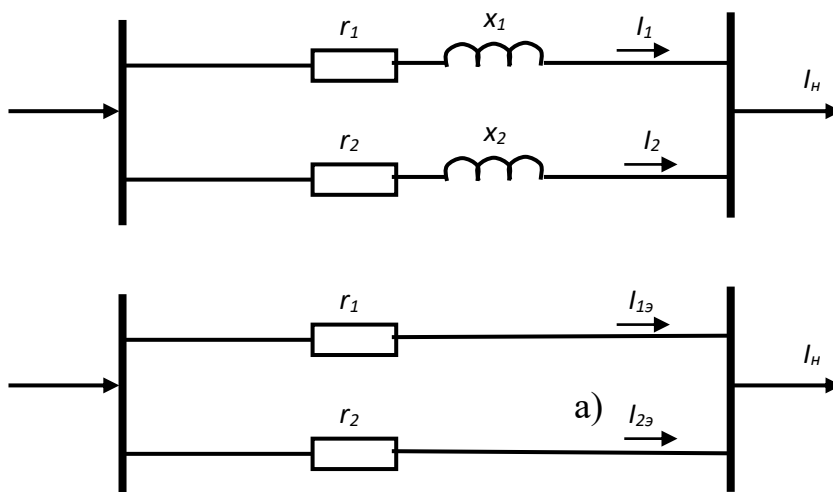
Yopiq tarmoqda quvvatning undagi isrofni eng kam bo‘lish holatiga mos keluvchi iqtisodiy taqsimlanishi uni faqat aktiv qarshilik bo‘yicha taqsimlanishi bilan bir hil bo‘ladi.

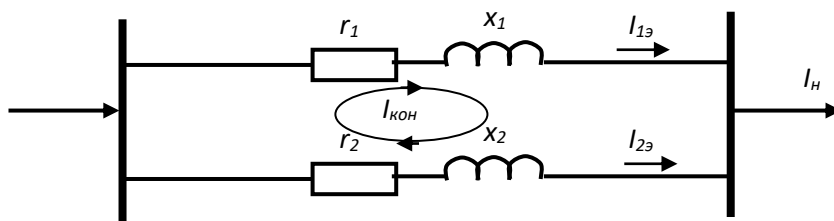
Nojinsli yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining iqtisodiy taqsimlash imkoniyatlarini o‘rganish uchun bir konturli yopiq tarmoqni ko‘rib o‘tamiz (1,a-rasm).

Sxemalarda ko‘rsatilgan  $I_1, I_2, I_{1\varnothing}, I_{2\varnothing}$  toklar konturda quvvatlar tabiiy va iqtisodiy taqsimlangan holatlarga mos kelib, mazkur tarmoq uchun ularning qiymatlari Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlaridan foydalanib, quyidagicha hisoblanishi mumkin:

$$I_1 = I_H \cdot \frac{r_2 + jx_2}{r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2)}, \quad I_2 = I_H \cdot \frac{r_1 + jx_1}{r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2)},$$

$$I_{1\varnothing} = I_H \cdot \frac{r_2}{r_1 + r_2}, \quad I_{2\varnothing} = I_H \cdot \frac{r_1}{r_1 + r_2}.$$





б)

в)

### 1-пачм

Agar 1,a-rasmda tasvirlangan konturda tarmoqning nojinsliligi tufayli tenglashtiruvchi tok  $I_{\text{KOH}}$  oqadi deb hisoblasak (1,v-rasm), u holda tabiiy va iqtisodiy taqsimlanish holatlari uchun toklar quyidagi ifodalar bilan bog‘langan:

$$I_1 = I_{1\text{э}} + I_{\text{KOH}} ; \quad I_2 = I_{2\text{э}} - I_{\text{KOH}} .$$

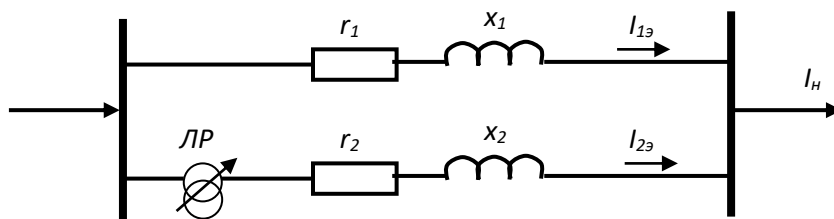
6) Shunday qilib, yopiq elektr tarmoqlarda quvvat isrofini minimallashtirish uchun ularda tenglashtiruvchi toklarni nolga keltirish lozim. Bu tarmoqning nojinsliligini kamaytirish yoki tenglashtiruvchi toklarni kompensatsiyalash orqali amalga oshiriladi.

7) Tarmoqning nojinsliligini kamaytirish o‘tkazgichlarning kesim yuzalarini o‘zgartirish va BKQ (bo‘ylama kompensatsiyalovchi qurilma) ulash orqali amalga oshirilishi mumkin.

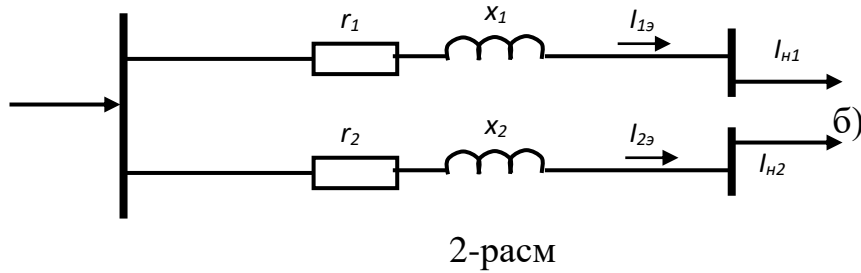
8) Tenglashtiruvchi kontur toklarini kompensatsiyalash ikki yo‘l bilan amalga oshirilishi mumkin:

9) kompensatsiyalovchi tenglashtiruvchi toklarni hosil qilish orqali (konturda quvvat oqimini rostdash);

10) Tenglashtiruvchi toklarning yo‘lini uzish orqali (tarmoq konturlarini ochish orqali) (8.2,b-rasm).



a)



Kompensatsiyalovchi tenglashtiruvchi toklarni hosil qilish konturlarga qo‘shimcha EYK kiritish orqali amalga oshiriladi. O‘z navbatida qo‘shimcha EYK liniya rostlagichlari hisobiga, ya’ni kuchlanishni bo‘ylama-ko‘ndalang rostlash yoki muvozanatlashmagan transformatsiyalash ko‘effitsiyentlari hisobiga hosil qilinadi (2,a-rasm).

Ta’minlovchi elektr tarmoqlarda qo‘shimcha EYKning qiymatini yoki konturni ochish nuqtasini aniqlash uchun uning holatini optimallashtirish masalasi yechiladi. Buning uchun yuqorida keltirilgan algoritmdan foydalanish samaralidir.

#### **4.2. Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni transformatsiyalash ko‘effitsiyentlarini optimallashtirish orqali kamaytirish**

Umumiy hollarda yopiq elektr tarmoqlarida quvvat oqimlarining iqtisodiy taqsimlanishi mavjud transformatorlarning optimal transformatsiyalash ko‘effitsiyentlarini ta’minlash hisobiga amalga oshirilishi mumkin. Bunday transformatsiyalash ko‘effitsiyentlari umumiy holatda oldingi mavzudagi reaktiv quvvatni optimallashtirishdagi singari mos matematik optimallashtirish masalasini yechish orqali aniqlanadi. Bunday masalalar murakkab noxiziq matematik dasturlash masalalari toifasiga kiradi. Uni yechishda asosiy yondoshuv har birida optimallashtirish qadami va elektr tarmoqning barqaror holatini hisoblash amalga oshiriluvchi iteratsiyalar sikliga bo‘lishni ko‘zda tutadi.

Hozirgi paytda keng tarqalgan va amalda keng qo‘llaniluvchi algoritmlarda elektr tarmoqning barqaror holati Nyuton, optimallashtirish esa gradiyent usulida amalga oshiriladi. Bu algoritmlar asosan soddalik, oddiy va funksional chegaraviy shartlarni oson hisobga olishdek bir qator afzalliklarga ega. Shu bilan bir qatorda ko‘plab tugunlarga ega



bo'lgan zamonaviy elektr tarmoqlarining holatlarini hisoblashda jarayonning sekinligi, tebranuvchanligi va mos holda uning yaqinlashishini nisbatan ishonchsizligi kabi qiyinchiliklar uchraydi. Shu munosabat bilan elektr tarmoqlarining holatlarini optimallashtirishning ushbu qiyinchiliklarni yengib o'tuvchi takomillashgan algoritmlarini yaratish va joriy etish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Erkli o'zgaruvchilarga qo'yiluvchi chegaralar (oddiy chegaraviy shartlar) har bir qadamda chegaradan chiqib ketgan o'zgaruvchilarni mos chegaralarga biriktirish orqali hisobga olinadi. Keyingi qadamlarda oldingi qadamda chegaraviy qiymatiga biriktirilgan o'zgaruvchini bo'shatish zarurati tekshirib ko'riladi.

Ko'riluvchi algoritmlarda erksiz o'zgaruvchilarga qo'yilgan chegaralar (funktional chegaraviy shartlar) jarima funksiyasi yordamida hisobga olinadi. Mos holda ko'rilayotgan shartli optimallashtirish masalasi ketma-ket holda shartsiz optimallashtirish masalasiga keltirib yechiladi.

Tarmoqning holatini ruxsat etilgan sohaga olib kiritish, shuningdek, chegaraviy shartlar birgalikda bo'lmagan hollarda ularning minimal darajada buzilishiga olib keluvchi yechimlarni aniqlash maqsadida funksional va erksiz o'zgaruvchilarga qo'yiluvchi chegaraviy shartlar ham jarima funksiyasi yordamida hisobga olinadi.

Erksiz o'zgaruvchiga qo'yilgan chegaraviy shart  $y_i \leq \bar{y}_i$  ni hisobga olish uchun jarima funksiyasi ko'rib o'tiluvchi algoritmlarda quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$III_{y_i} = \frac{\alpha_{y_i}}{2} (y_i - \bar{y}_i)^2. \quad (1)$$

Bu yerda  $\alpha_{y_i}$  – yuk koeffitsiyenti (jarima koeffitsiyenti);  $\bar{y}_i$  – erksiz o'zgaruvchining hisobiy va berilgan chegaraviy qiymatlari.

Optimallashtirish qadamining bajarilishidan oldin jarima funksiyasi yordamida hisobga olinuvchi har bir chegaraviy shartning bajarilishi tekshirib ko'riladi. Bunda bajarilgan chegaraviy shartlar uchun mos jarima funksiyasi sun'iy ravishda nulgaga tenglashtirilib, navbatdagi qadam uni hisobga olmasdan amalga oshiriladi.

Erksiz o'zgaruvchilarga qo'yiluvchi chegaraviy shartlarni hisobga olishning qabul qilingan usulini e'tiborga olgan holda maqsad funksiyasi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi.

$$F = \pi + \sum_{i \in \Gamma_1 + H} III_{U_i} + \sum_{i \in \Gamma - \Gamma_1} III_{Q_i} + \sum_{l \in L_p} III_{P_l} + \sum_{l \in L_1} III_{I_l} . \quad (2)$$

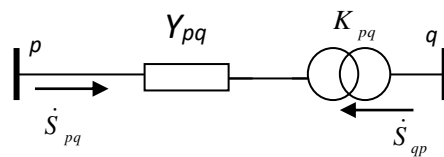
Bu yerda  $III_{U_i}$ ,  $III_{Q_i}$ ,  $III_{L_p}$ ,  $III_{I_l}$  - mos holda G1+N to‘planning i- chi tugunida kuchlanishning qiymati, G-G1 to‘planning i- chi tugunida reaktiv quvvat,  $L_p$  to‘planning 1 – shoxobchasida aktiv quvvat oqimi va  $L_1$  to‘planning 1 –chi shoxobchasida tokning qiymati bo‘yicha chegaraviy shartlar buzilgan holatda kiritiluvchi jarima funksiyalari.

Funksiya ekstremumini zaruriy shartidan foydalanish asosida transformatorlarni transformatsiyalash koefitsientlari bo‘yicha elektr tarmoqlarining rejimini optimal-  
lash.

Optimallashtirish algoritmi va tugunlar kuchlanishi kabi boshqariladigan konturli transformatorlarni transformatsiyalashni optimal koefitsientlar formulasini olish uchun bir necha o‘zgaruvchilarning murakkab funksiyasi singari F ning maqsadli funksiyasini differensiallaymiz va quyidagilarni olamiz:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dF}{dK'_{pq}} &= \frac{\partial F}{\partial K'_{pq}} + \sum_j \frac{\partial F}{\partial P_j} \frac{dP_j}{dK'_{pq}} + \sum_j \frac{\partial F}{\partial Q_j} \frac{dQ_j}{dK'_{pq}} \\ \frac{dF}{dK''_{pq}} &= \frac{\partial F}{\partial K''_{pq}} + \sum_j \frac{\partial F}{\partial P_j} \frac{dP_j}{dK''_{pq}} + \sum_j \frac{\partial F}{\partial Q_j} \frac{dQ_j}{dK''_{pq}} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

Bu yerda  $K'_{pq}$  va  $K''_{pq}$  – konturli transformatorni transformatsiyasini kompleks koefitsientini tegishli bo‘ylama va ko‘ndalang tashkil etuvchisi;  $p - q$  – elektr tarmog‘ining bir shoxobchasi, bu yerda transformatorlar mavjud (2.1-rasm).



2.1-rasm. Boshqariladigan transformatorni ushlab turgan elektr tarmog‘i almashtirish sxemasi

(3) ga  $\frac{\partial F}{\partial K'_{pq}}$ ,  $\frac{\partial F}{\partial K''_{pq}}$ ,  $\frac{dP}{dK'_{pq}}$ ,  $\frac{dP}{dK''_{pq}}$ ,  $\frac{dQ}{dK'_{pq}}$  va  $\frac{dQ}{dK''_{pq}}$  ning analitik qiymatlarini qo‘ygan

holda transformatsiya koefitsientlari bo‘yicha F chiqarish funksiyasining hisoblash formulasini olish mumkin. Quyidagi ushbu formula so‘zsiz optimizatsiyalash hola-

tlari uchun chiqariladi, qaysiki bunda maqsadli funksiya tarmoqdagi aktiv quvvatni jami yo‘qotilishi ko‘rinishida aks etadi (jarima tashkil etuvchilar mavjud emas).

Aktiv quvvatlarni yo‘qotilishi tugunlarning aktiv quvvatlarni algebraik summasi sifatida aniqlanadi:

$$\pi = \sum_{i=0}^n P_i, \quad (4)$$

Negaki  $i \neq p, q$  da  $\frac{\partial P_i}{\partial K_{pq}}$  va  $\frac{\partial Q_i}{\partial K_{pq}}$  hossalari nolga teng ekan, bunday holda faqat  $p$  va  $q$

tugunlarining quvvatlarini hisobga olish yetarlidir. Kirxgofning birinchi qonuniga binoan  $s_p$  va  $s_q$  ning quvvatlarini ushbu tugunlardan tarqaluvchi shaxobchalar bo‘yicha aktiv quvvatlar oqimining algebraik summasi sifatida ko‘rsatishimiz mumkin:

$$P_p = \sum_{j \neq p}^n P_{pj} + P_{pq}^{(p)} = -g_{pp} U_p^2 + U_p \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq p, q}}^n U_j (g_{pj} \cos \delta_{pj} + b_{pj} \sin \delta_{pj}) - \\ - K'_{pq} U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} + b_{pq} \sin \delta_{pq}) - K''_{pq} U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} - b_{pq} \cos \delta_{pq}); \quad (5)$$

$$Q_p = \sum_{j \neq p}^n Q_{pj} + Q_{pq}^{(p)} = b_{pp} U_p^2 + U_p \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq p, q}}^n U_j (g_{pj} \sin \delta_{pj} - b_{pj} \cos \delta_{pj}) - \\ - K'_{pq} U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} - b_{pq} \cos \delta_{pq}) + K''_{pq} U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} + b_{pq} \sin \delta_{pq}); \quad (6)$$

$$P_q = \sum_{j \neq q}^n P_{qj} + P_{qp}^{(q)} = -g_{qq}^* U_q^2 + U_q \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq p, q}}^n U_j (g_{qj} \cos \delta_{qj} + b_{qj} \sin \delta_{qj}) + A_{pq}^2 U_q^2 g_{pq} - \\ - K'_{pq} U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{qp} + b_{pq} \sin \delta_{qp}) + K''_{pq} U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{qp} - b_{pq} \cos \delta_{qp}); \quad (7)$$

$$Q_q = \sum_{j \neq q}^n Q_{qj} + Q_{qp}^{(q)} = b_{qq}^* U_q^2 + U_q \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq p, q}}^n U_j (g_{qj} \sin \delta_{qj} - b_{qj} \cos \delta_{qj}) - A_{pq}^2 U_q^2 b_{pq} - \\ - K'_{pq} U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{qp} - b_{pq} \cos \delta_{qp}) - K''_{pq} U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{qp} + b_{pq} \sin \delta_{qp}). \quad (8)$$

Bu yerda  $y_{qq}^* = y_{qq} - y_{qp}$ .

(3) formuladagi  $\frac{\partial F}{\partial P_i}$ ,  $\frac{\partial F}{\partial Q_i}$  hosilalarni chiziqli algebraik tenglamalar sistemasi

(CHATS) ni yechish asosida topamiz.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial \delta_i} &= \sum_j \frac{\partial F}{\partial P_j} \frac{\partial P_j}{\partial \delta_i} + \sum_j \frac{\partial F}{\partial Q_j} \frac{\partial Q_j}{\partial \delta_i} \\ \frac{\partial F}{\partial U_i} &= \sum_j \frac{\partial F}{\partial P_j} \frac{\partial P_j}{\partial U_i} + \sum_j \frac{\partial F}{\partial Q_j} \frac{\partial Q_j}{\partial U_i} \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

Qolgan hosilalarni (4) va (5) tenglamalarni differensiallash asosida aniqlaymiz. Bunda to'la hosilalarning qiymatlarini aniqlashni osonlashtirish uchun ularning taxminiy sanaluvchi xususiy xosilalari bilan almashtiramiz.

Yuqoridagilar asosida quyidagini olamiz:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\pi}{dK'_{pq}} &= \left( 1 + \frac{\partial \pi}{\partial P_p} \right) \frac{\partial P_p}{\partial K'_{pq}} + \left( 1 + \frac{\partial \pi}{\partial P_q} \right) \frac{\partial P_q}{\partial K'_{pq}} + \frac{\partial \pi}{\partial Q_p} \frac{\partial Q_p}{\partial K'_{pq}} + \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} \frac{\partial Q_q}{\partial K'_{pq}} \\ \frac{d\pi}{dK''_{pq}} &= \left( 1 + \frac{\partial \pi}{\partial P_p} \right) \frac{\partial P_p}{\partial K''_{pq}} + \left( 1 + \frac{\partial \pi}{\partial P_q} \right) \frac{\partial P_q}{\partial K''_{pq}} + \frac{\partial \pi}{\partial Q_p} \frac{\partial Q_p}{\partial K''_{pq}} + \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} \frac{\partial Q_q}{\partial K''_{pq}} \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

Бу ерда

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_p}{\partial K'_{pq}} &= -U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} + b_{pq} \sin \delta_{pq}); \\ \frac{\partial P_p}{\partial K''_{pq}} &= -U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} - b_{pq} \cos \delta_{pq}); \\ \frac{\partial Q_p}{\partial K'_{pq}} &= -U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} - b_{pq} \cos \delta_{pq}); \\ \frac{\partial Q_p}{\partial K''_{pq}} &= U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} + b_{pq} \sin \delta_{pq}); \\ \frac{\partial P_q}{\partial K'_{pq}} &= -U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} - b_{pq} \sin \delta_{pq}) + 2K'_{pq} U_q^2 g_{pq}; \\ \frac{\partial P_q}{\partial K''_{pq}} &= -U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} + b_{pq} \cos \delta_{pq}) + 2K''_{pq} U_q^2 g_{pq}; \\ \frac{\partial Q_q}{\partial K'_{pq}} &= U_p U_q (g_{pq} \sin \delta_{pq} + b_{pq} \cos \delta_{pq}) - 2K'_{pq} U_q^2 b_{pq}; \\ \frac{\partial Q_q}{\partial K''_{pq}} &= -U_p U_q (g_{pq} \cos \delta_{pq} - b_{pq} \sin \delta_{pq}) - 2K''_{pq} U_q^2 b_{pq}. \end{aligned} \quad (11)$$

(11) tenglamani optimallik shartidan kelib chiqqan holda transformatsiyaning optimallik koeffitsentlarini hisoblashni quyimdagi rekurrentli formulaga keltirish mumkin:

$$K'_{pqon} = \frac{U_p \left[ \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_p} + \frac{\partial \pi}{\partial P_q} \right) g_{pq} \cos \delta_{pq} + \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_p} - \frac{\partial \pi}{\partial P_q} \right) b_{pq} \sin \delta_{pq} \right]}{2U_q \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_q} g_{pq} - \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} b_{pq} \right)} +$$

$$+ \frac{U_p \left[ \left( \frac{\partial \pi}{\partial Q_p} - \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} \right) g_{pq} \sin \delta_{pq} - \left( \frac{\partial \pi}{\partial Q_p} + \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} \right) b_{pq} \cos \delta_{pq} \right]}{2U_q \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_q} g_{pq} - \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} b_{pq} \right)}$$

$$K''_{pq} = \frac{U_p \left[ \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_p} + \frac{\partial \pi}{\partial P_q} \right) g_{pq} \sin \delta_{pq} - \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_p} - \frac{\partial \pi}{\partial P_q} \right) b_{pq} \cos \delta_{pq} \right]}{2U_q \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_q} g_{pq} - \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} b_{pq} \right)} -$$

$$- \frac{U_p \left[ \left( \frac{\partial \pi}{\partial Q_p} - \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} \right) g_{pq} \cos \delta_{pq} - \left( \frac{\partial \pi}{\partial Q_p} + \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} \right) b_{pq} \sin \delta_{pq} \right]}{2U_q \left( \frac{\partial \pi}{\partial P_q} g_{pq} - \frac{\partial \pi}{\partial Q_q} b_{pq} \right)}.$$

Ular optimizatsiya algoritmlari qatorida teng qo‘llaniladi. Bunda (11) bo‘yicha hisob kitobda kuzatiladigan hisoblash jarayonini tebranishini yo‘qotish uchun har bir iteratsiyada aniqlangan optimal  $K'_{pq}$  ning qiymati quyidagi formula bo‘yicha korreksiyalanadi:

$$\left. \begin{aligned} K'_{pq \text{ kop}}^{(k)} &= K'_{pq \text{ kop}}^{(k-1)} + \beta_1^{(k)} (K'_{pq}^{(k)} - K'_{pq \text{ kop}}^{(k-1)}) \\ K''_{pq \text{ kop}}^{(k)} &= K''_{pq \text{ kop}}^{(k-1)} + \beta_2^{(k)} (K''_{pq}^{(k)} - K''_{pq \text{ kop}}^{(k-1)}) \end{aligned} \right\},$$

Bu yerda  $\beta_1, \beta_2$  – dempirlaydigan koeffitsentlar;  $K'_{pq}^{(k)}, K''_{pq \text{ kop}}^{(k)}$  – transformatsiya koeffitsentini  $k$  - yaqinlashishda olingan va to‘g‘rilangan qiymatlari.

$h$  - kuchaytiruvchilar singari dempirlaydigan koeffitsentlarning boshlang‘ich qiymati hisoblash tajribalari asosida operator yordamida kiritiladi, keyingi iteratsiyalarda esa ularni qiymatlari ma‘lum bo‘lgan algoritmlar bo‘yicha o‘zgartiriladi.

Shunday qilib, konturli transformatorlarning transformatsiya koeffitsentlari bo‘yicha optimallashtirish algoritmi quyidagilardan iborat:

3.  $\frac{\partial F}{\partial P_i}$  va  $\frac{\partial F}{\partial Q_i}$  hususiy hosilalar (9) CHATS yechimi asosida hisoblanadi.

4. (12) va (13) bo'yicha  $K'_{pqOnm}$  va  $K''_{pqOnm}$  hisoblangan transformatorlarning optimal koeffitsentlarining hisob – kitobi bajariladi.
5. Ushbu yaqinlashishda olingan  $K'_{pqOnm}$  va  $K''_{pqOnm}$  ni hisobga olgan holda tugunli va o'zining o'tkazuvchanlik matritsasini tegishli elementlarini qayta hisoblash bajariladi.
6. Elektr tarmog'ining o'rnatilgan rejimini hisoblash bajariladi.
7. Optimallashtirish jarayonida o'tish shartlarini bajarilishi tekshiriladi. Shart bajarilgan taqdirda hisob – kitoblar to'xtatiladi va oxirgi iteratsiya natijalari optimal hisoblanadi. Aks holda transformatorning yangi transformatsiya koeffitsienti bilan hisob – kitoblar qaytariladi.

### **Nazorat savollari**

1. Yopiq zanjirli elektr tarmoqda quvvat oqimining tabiiy taqsimlanishi qanday aniqlanadi?
2. Yopiq zanjirli elektr tarmoqda quvvat oqimining iqtisodiy taqsimlanishi qanday aniqlanadi?
3. Bir jinsli yopiq elektr tarmog'ini ta'riflang.
4. Bir jinsli bo'lmagan yopiq zanjirli tarmoqda aktiv isrofni kamaytirish usullarini tushuntiring?
5. Konturga kiruvchi transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsiyentini optimallashtirish qanday mezon bo'yicha amalga oshiriladi?
6. Transformatsiyalash koeffitsiyentini gradiyent usulida optimallashtirishda funksional chegaraviy shartlar qanday hisobga olinadi

#### IV. AMALIY MASHG'ULOT MATERIALLARI

##### 1- amaliy mashg'ulot. Elektr tarmoqlaridagi isroflar va ularni hisoblash

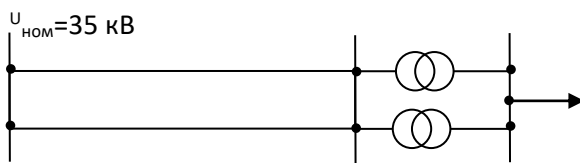
**Ишдан мақсад:** elektr tarmoqlaridagi texnik isroflarning tashkil etuvchilari, ular bog'liq bo'lgan asosiy parametrlar va ularni hisoblash usullarini o'rganish.

##### Masala yechish na'munalari

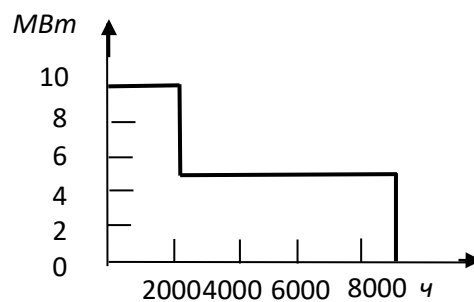
###### 1- masala.

Sxemasi 1-rasmda keltirilgan 35 kV kuchlanishli elektr uzatmada yillik energiya isrofini berilgan yuklama grafigi (2-rasm) va maksimal isroflar vaqti ( bo'yicha hisoblash talab etiladi.

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



1-расм



2-расм

**Yechish:** Yuklama maksimal bo'lgan holatdagi quvvatlar isrofini hisoblaymiz:

$$\Delta P_T = 0,5 \cdot \Delta P_x \cdot \left( \frac{P_{\text{макс}}}{S_{\text{ном}} \cos \varphi} \right)^2 + 2 \cdot \Delta P_x = 0,5 \cdot 46,5 \cdot \left( \frac{10}{6,3 \cdot 0,9} \right)^2 + 2 \cdot 9,2 = 72,17 + 18,4 = 90,57 \text{ кВт} ;$$

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{S_{\text{макс}}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot r_{\text{л}} = \frac{\left( \frac{10}{0,9} \right)^2}{35^2} \cdot \frac{0,28 \cdot 15}{2} \cdot 10^3 = 211 \text{ кВт} ;$$

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_T + \Delta P_{\text{л}} = 90,57 + 211 = 301,57 \text{ кВт} ;$$

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

Bu yerda  $\Delta P_T, \Delta P_{\text{л}}$  - transformatorlar va liniyalardagi aktiv quvvat isroflari;

$\Delta P_{\Sigma}, \Delta P_{\Sigma}^*$  - elektr tarmoqdagi haqiqiy va foiz birligidagi umumiy aktiv quvvat isrofi.

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

$$\begin{aligned} \Delta W &= (72,17 + 211) \cdot 2000 + 0,5^2 (72,17 + 211) \cdot 6760 + 18,4 \cdot 8760 = \\ &= 1200 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{coam} . \end{aligned}$$

Yil davomida iste'molchiga uzatiluvchi energiya:

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

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  $\tau$  bo'yicha aniqlaymiz. Bunda  $\tau$  ning qiymatini soddalashtirilgan formula bo'yicha topamiz:

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

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

$$\Delta W = (72,17 + 211) \cdot 3840 + 18,4 \cdot 8760 = 1248 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{coam} ;$$

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

3)  $\tau$  ning qiymatini tipik egri chiziqlar bo'yicha ham topish mumkin. Biz ko'rib chiqayotgan – maksimal yuklamadan foydalanish vaqti  $T_{\text{макс}} = 5380 \text{ coam}$  va  $\cos \varphi = 0,9$



boʻlgan holat uchun ushbu egri chiziqlar boʻyicha  $\tau=3650$  coam ekanligini aniqlaymiz (qoʻllanmadan). U holda yillik energiya isrofi quyidagi miqdorni tashkil etadi:

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

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

**2-masala.** Pasaytiruvchi podstansiyada ikkita TDTN-40000/110 tipdagi uch chulhamli transformatorlar parallel holda qurilgan (3-rasm).

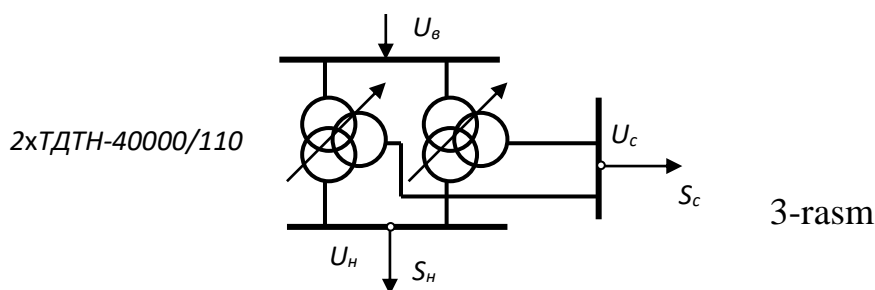
Maksimal va minimal yuklama holatlarida podstansiyaning qurta va quyi tomonlaridagi yuklamalar quyidagicha:

$$\dot{S}_{c, \text{макс}} = 25 + j10 \text{ MBA}; \quad \dot{S}_{n, \text{макс}} = 15 + j8 \text{ MBA}; \quad \dot{S}_{c, \text{мин}} = 14 + j7 \text{ MBA}; \quad \dot{S}_{n, \text{мин}} = 10 + j6 \text{ MBA}$$

110 kV kuchlanishli tarmoqning maksimal va minimal yuklama holatlarini hisoblash natijasida podstansiyaning yuqori tomonida quyidagi kuchlanishlar aniqlangan:  $U_{в, \text{макс}} = 112 \text{ kB}$ ;  $U_{в, \text{мин}} = 114 \text{ kB}$ .

Podstansiyaning qurta va quyi tomonidagi isteʼmolchilar uchun maksimal yuklamadan foydalanish vaqtlari mos ravishda  $T_{y, \text{макс}} = 5800$  coam va  $T_{к, \text{макс}} = 4500$  coam ni tashkil etadi.

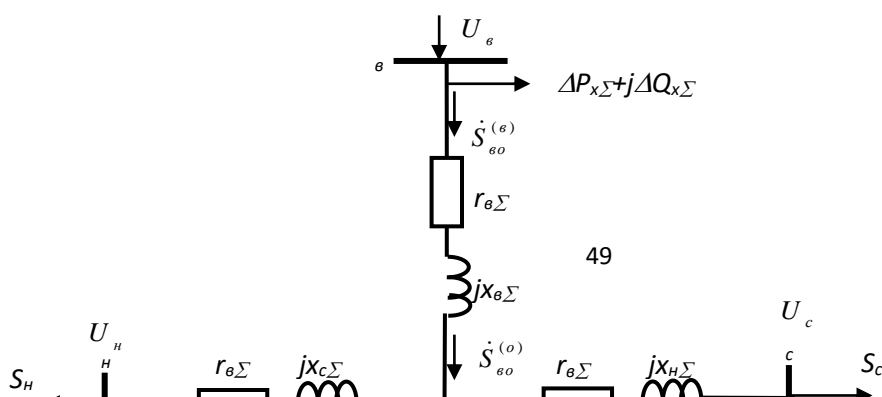
Ushbu podstansiyada yillik elektr energiya isrofini topish talab etiladi.



**Yechish.** Transformatorning katalog parametrlari boʻyicha ekvivalent almashtirish sxemasining hisob parametrlarini aniqlaymiz (4-rasm).

$$\Delta P_{x\Sigma} = 0,1 \text{ MBm}, \quad \Delta Q_{x\Sigma} = 0,72 \text{ MBAP};$$

$$r_{\theta\Sigma} = r_{c\Sigma} = r_{н\Sigma} = 0,47 \text{ OM}; \quad x_{\theta\Sigma} = 17,7 \text{ OM}; \quad x_{c\Sigma} = 0; \quad x_{н\Sigma} = 10,3 \text{ OM}.$$



#### 4-расм

Maksimal yuklama holatida transformatorlarning quyi, ўрта va yuqori chulhamlaridagi quyidagi isroflarni topamiz:

$$\Delta P_{\kappa, \text{макс}} = 0,011 \text{ MBm}, \quad \Delta P_{\text{y}, \text{макс}} = 0,028 \text{ MBm}, \quad \Delta P_{\text{ю}, \text{макс}} = 0,075 \text{ MBm}.$$

Kўrilayotgan masalada iste'molchilar uchun maksimal yuklamadan foydalanish vaqti berilganligi sababli yillik energiya isrofini maksimal isroflar vaqtdan foydalanib hisoblaymiz.

Yuqori kuchlanish chulhami uchun maksimal yuklamadan foydalanish vaqtining quyidagi formula b'oyicha hisoblanuvchi qiymatidan foydalanamiz:

$$T_{\text{ю}, \text{макс}} = \frac{P_{\text{y}, \text{макс}} T_{\text{y}, \text{макс}} + P_{\kappa, \text{макс}} T_{\kappa, \text{макс}}}{P_{\text{y}, \text{макс}} + P_{\kappa, \text{макс}}} = \frac{25 \cdot 5800 + 15 \cdot 4500}{25 + 15} = 5312,5 \text{ соам}.$$

Yuqori, ўрта va quyi chulhamlar uchun maksimal isroflar vaqtini hisoblaymiz:

$$\tau_{\text{ю}} = \left( 0,124 + \frac{T_{\text{ю}, \text{макс}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left( 0,124 + \frac{5312,5}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3761 \text{ соам},$$

$$\tau_{\text{y}} = \left( 0,124 + \frac{T_{\text{y}, \text{макс}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left( 0,124 + \frac{5800}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 4312 \text{ соам},$$

$$\tau_{\kappa} = \left( 0,124 + \frac{T_{\kappa, \text{макс}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left( 0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2886 \text{ соам}.$$

Podstansiyada yillik energiya isrofi va uning yil davomida uzatiluvchi energiyaga nisbati:

$$\begin{aligned} \Delta W &= 8760 \Delta P_{\kappa} + \Delta P_{\text{ю}, \text{макс}} \tau_{\text{ю}} + \Delta P_{\text{y}, \text{макс}} \tau_{\text{y}} + \Delta P_{\kappa, \text{макс}} \tau_{\kappa} = \\ &= 8760 \cdot 0,1 + 0,075 \cdot 3761 + 0,028 \cdot 4312 + 0,011 \cdot 2886 = 1310,56 \text{ MBm} \cdot \text{соам} = \\ &= 1310560 \text{ кВт} \cdot \text{соам}, \end{aligned}$$

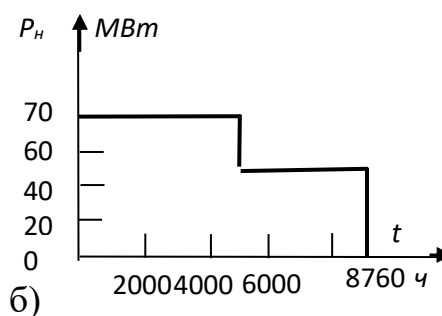
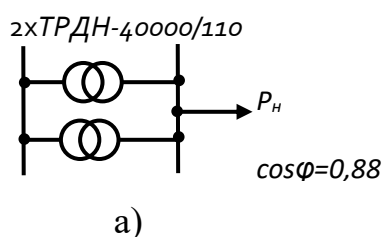
$$\Delta W_* = \frac{1310560 \cdot 100}{(25 \cdot 5800 + 15 \cdot 4500) \cdot 10^3} = 0,62\%.$$

### Mustaqil yechish uchun masala

**3-masala.** Podstansiyada ikkita TRDN-40000/110 tipdagi transformatorlar parallel holda ishlab (5,a-rasm), davomiylik bo'yicha yillik yuklama grafigi 5,b-rasmda tasvirlangan iste'molchini ta'minlaydi.

Transformatorlarda isrof bo'luvchi yillik energiya isrofi va maksimal isroflar vaqtini toping.

Transformatorning katalog parametrlari qo'llanma jadvaldan olinsin.

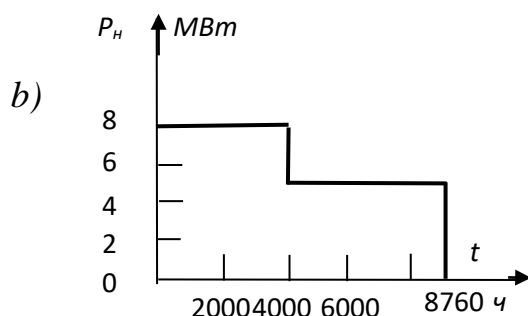
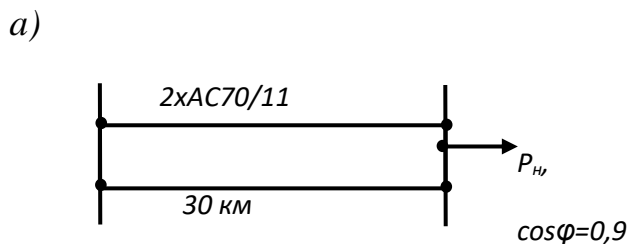


5-рasm

**4- masala.** AS70/11 markali o'tkazgichdan tayyorlangan 30 km uzunlikdagi 35 kV nominal kuchlanishli ikki zanjirli liniyadan ta'minlanuvchi iste'molchining (6,a-rasm) davomiylik bo'yicha yillik yuklama grafigi 6,b-rasmda keltirilgan.

Iste'molchining maksimal yuklamadan foydalanish vaqti, liniyada yillik energiya isrofi va maksimal isroflar vaqtini toping.

Liniyaning 1 km uzunligi uchun hisob parametrlari qo'llanma jadvaldan olinsin.



6 rasm

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Железко Й. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Й. С. Железко. - М.: ЭНАС, 2009. - 456 с.

2. Железко Й. С., Артемев А. В., Савченко О. В. Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. - М.: НС ЭНАС, 2005.-280 с.

3. P. GiridharKiniand Ramesh C. Bansal, Energy management systems. Published by InTech. JanezaTrdine 9, 51000 Rijeka, Croatia. Copyright © 2011 InTech.

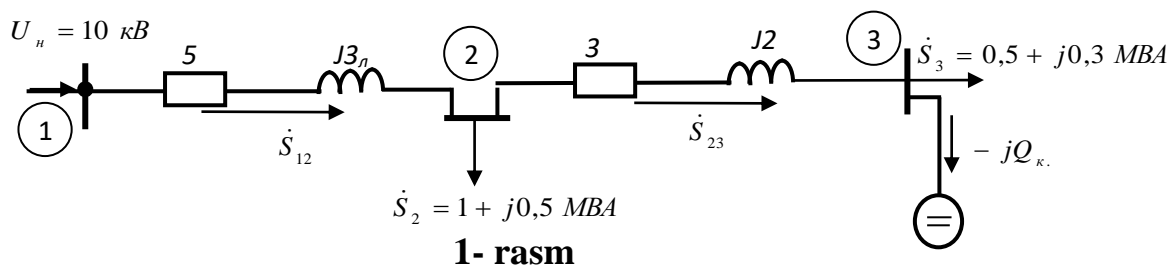
4. Frank Kreith D.Yogi Goswami.Energy management and conservation handbook. © 2008 by Taylor & Francis Group, LLC. CRCPrussian imprint of Taylor & Francis Group, anInforma business.

## **2-amaliy mashg‘ulot. Elektr tarmoqlaridagi isroflarni reaktiv quvvatni kompensatsiyalash orqali kamaytirish**

**Ishdan maqsad:** Elektr tarmoqlarida isroflarni reaktiv quvvatni kompensatsiyalash orqali kamaytirish masalasining qo‘yilishi, uni yechish usullari va optimal reaktiv quvvatni hisoblash algoritmlarini o‘rganish.

### **Masalaning quyilishi:**

Sxemasi 1-rasmda keltirilgan ochiq elektr tarmoqning chekka punktidagi iste‘molchisida ulanuvchi reaktiv quvvat kompensatorning tarmoqdagi isrofning minimal bo‘lishini ta‘minlovchi optimal quvvatini topish talab etiladi.



### **Masalani yechish:**

1-2 va 2-3 shoxobchalardagi quvvatlar oqimlarini 2- va 3- tugunlar uchun Kirxgofning birinchi qonunidan foydalanib ifodalaymiz:

$$\dot{S}_{12} = 1,5 + j(0,8 - Q_k),$$

$$\dot{S}_{23} = 0,5 + j(0,3 - Q_k).$$

Elektr tarmoqdagi aktiv quvvat isrofini kompensatorning noma'lum quvvati orqali ifodalaymiz:

$$\Delta P = \frac{P_{12}^2 + Q_{12}^2}{U_H^2} \cdot r_{12} + \frac{P_{23}^2 + Q_{23}^2}{U_H^2} \cdot r_{23} = \frac{1,5^2 + (0,8 - Q_k)^2}{10^2} \cdot 5 + \frac{0,5^2 + (0,3 - Q_k)^2}{10^2} \cdot 3.$$

Kompensatorning optimal reaktiv quvvatini aktiv quvvat isrofi funksiyasi minimumligining zaruriy shartidan foydalanib topamiz:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_k} = -\frac{2(0,8 - Q_k)}{100} \cdot 5 - \frac{2(0,3 - Q_k)}{100} \cdot 3 = 0,$$

$$Q_{k, \text{opt}} = \frac{0,08 + 0,018}{0,1 + 0,06} = 0,612 \text{ MBAP} = 612 \text{ kBAP}.$$

Reaktiv quvvatni kompensatsiyalashdan olinuvchi samarani baholash uchun dastlabki va kompensatorni ulashdan keyingi holatlardagi aktiv quvvat isroflarini solishtiramiz.

Dastlabki tarmoq uchun:

$$\Delta P = \frac{1,5^2 + 0,8^2}{10^2} \cdot 5 + \frac{0,5^2 + 0,3^2}{10^2} \cdot 3 = 0,155 \text{ MBm};$$

*Reaktiv quvvati kompensatsiyalangan tarmoq uchun:*

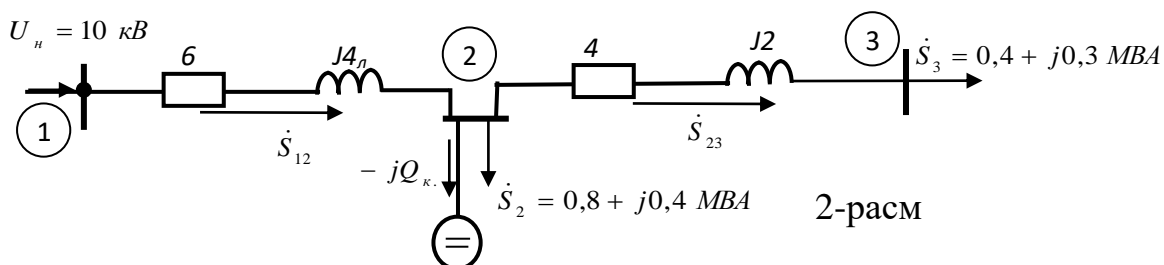
$$\Delta P_s = \frac{1,5^2 + (0,8 - 0,612)^2}{10^2} \cdot 5 + \frac{0,5^2 + (0,3 - 0,612)^2}{10^2} \cdot 3 = 0,117 \text{ MBm}.$$

Shunday qilib, tarmoq oxirida reaktiv quvvatni optimal kompensatsiyalash natijasida undagi isrof

$$\Delta \Delta P = \Delta P - \Delta P_s = 0,155 - 0,117 = 0,038 \text{ MBm} = 38 \text{ кВт га, яъни } 24,5\% \text{ га камаяди.}$$

## Mustaqil yechish uchun masala

Sxemasi 2-rasmda keltirilgan elektr tarmoqda kompensatorning reaktiv quvvatini isrofnini minimal bo'lish sharti bo'yicha aniqlang.



## Foydalanilgan adabiyotlar

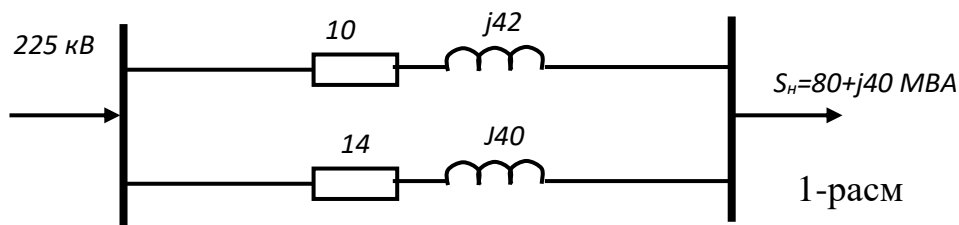
1. Насиров Т.Х., Гайибов Т.Ш. Теоретические основы оптимизации режимов энергосистем. – Т.: «Фан ва технология», 2014, 184 с.
2. Гайибов Т.Ш. Методы и алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем. – Т.: Изд. ТашГТУ, 2014, 188 с.
3. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике/Под общ. ред. Й.Н.Руденко и В.А.Семенова. –М.: Издательство МЕИ, 2000.
4. John r. Fanchi. Energy in the 21st century. (2nd edition) Texas Christian University, USA. With christoper j. Fanchi. Copyright © 2011 by world scientific publishing co. Pte. Ltd.
5. Francis M. Vanek. Louis D. Energy Systems Engineering Evaluation and Implementation. Copyright © 2008 by The McGraw-Hill Companies.

## 3-amaliy mashg'ulot. Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirish usullari. (2 soat)

**Ishdan maqsad:** Yopiq zanjirli elektr tarmoqlarida isroflarning quvvatlarning taqsimlanishiga bog'liq ekanligini o'rganish; quvvatning tabiiy va iqtisodiy taqsimlanishlarni aniqlash; quvvatning iqtisodiy taqsimlanishini ta'minlash; transformatorlarning optimal transformatsiyalash ko'effitsiyentlarini aniqlash usul va algoritmlarini o'rganish.

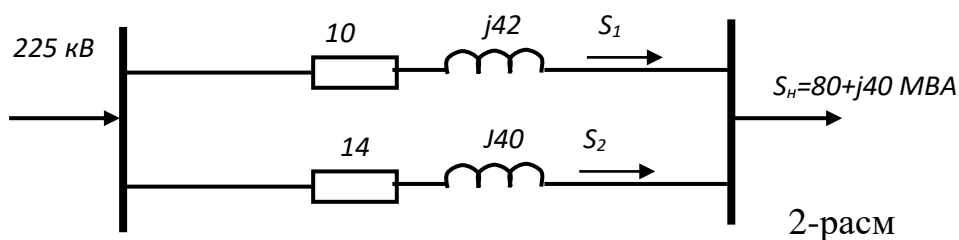
### Masalaning qo'yilishi.

Sxemasi 8.4-rasmda keltirilgan yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining tabiiy va iqtisodiy taqsimlanishini hisoblang. Tarmoqning minimal isroflar bilan ishlash holatini konturni ochish orqali ta'minlang.



**Yechish.** Tarmoqning shohobchalarida quvvat oqimining taqsimlanishini Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlaridan foydalanib topamiz.

Tabiiy taqsimlanishni va bu holatdagi aktiv quvvat isrofini hisoblaymiz (2-rasm):



$$\dot{S}_1 = \frac{\hat{Z}_2}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2} \cdot \dot{S}_H = \frac{14 - j40}{10 - j42 + 14 - j40} \cdot (80 + j40) = 38,6 + j21,86 \text{ MBA},$$

$$\dot{S}_2 = \frac{\hat{Z}_1}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2} \cdot \dot{S}_H = \frac{10 - j42}{10 - j42 + 14 - j40} \cdot (80 + j40) = 41,4 + j18,14 \text{ MBA},$$

$$\Delta P = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_H^2} \cdot r_1 + \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_H^2} \cdot r_2 = \frac{38,6^2 + 21,86^2}{220^2} \cdot 10 + \frac{41,4^2 + 18,14^2}{220^2} \cdot 14 = 1,007 \text{ MBm}.$$

Iqtisodiy taqsimlanishni va bu holatdagi aktiv quvvat isrofini hisoblaymiz:

$$\dot{S}_{1_3} = \frac{r_2}{r_1 + r_2} \cdot \dot{S}_H = \frac{14}{24} \cdot (80 + j40) = 46,67 + j23,33 \text{ MBA},$$

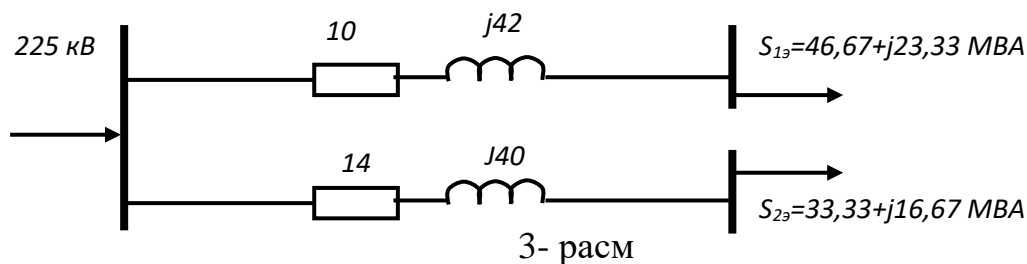
$$\dot{S}_{2_3} = \frac{r_1}{r_1 + r_2} \cdot \dot{S}_H = \frac{10}{24} \cdot (80 + j40) = 33,33 + j16,67 \text{ MBA},$$

$$\Delta P_3 = \frac{P_{1_3}^2 + Q_{1_3}^2}{U_H^2} \cdot r_1 + \frac{P_{2_3}^2 + Q_{2_3}^2}{U_H^2} \cdot r_2 = \frac{46,67^2 + 23,33^2}{220^2} \cdot 10 + \frac{33,33^2 + 16,67^2}{220^2} \cdot 14 = 0,962 \text{ MBm}.$$

Shunday qilib, ushbu elektr tarmoqida quvvat oqimining iqtisodiy taqsimlanishi natijasida aktiv quvvat isrofi

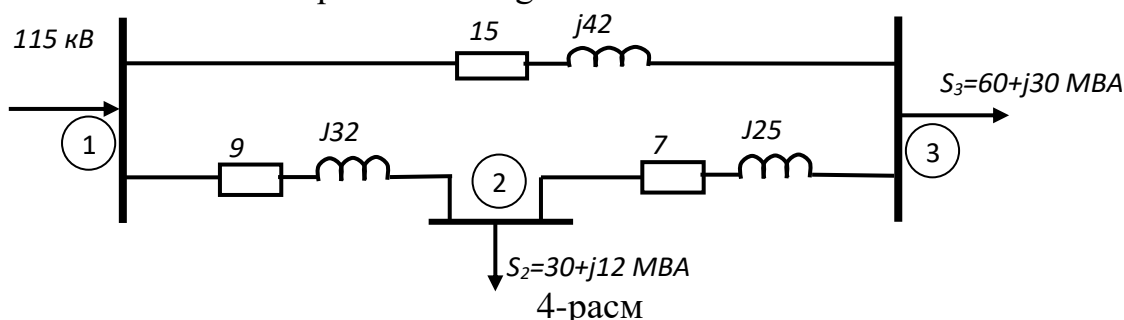
$$\Delta\Delta P = \Delta P - \Delta P_s = 1,007 - 0,962 = 0,045 \text{ MBm} \text{ ga, ya'ni } 4,5\% \text{ ga kamayadi.}$$

Ushbu iqtisodiy holatni ta'minlash uchun konturni yuklama tugunida 3-rasmda tasvirlangan ko'rinishda ochimiz.



### Mustaqil yechish uchun masala

Sxemasi 4-rasmda keltirilgan yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining tabiiy va iqtisodiy taqsimlanishini hisoblang. Tarmoqning minimal isroflar bilan ishlash holatini konturni ochish orqali ta'minlang.



### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Насиров Т.Х., Гайибов Т.Ш. Теоретические основы оптимизации режимов энергосистем. – Т.: «Фан ва технология», 2014, 184 с.
2. Гайибов Т.Ш. Методы и алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем. – Т.: Изд. ТашГТУ, 2014, 188 с.
3. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике/Под общ. ред. Й.Н.Руденко и В.А.Семенова. –М.: Издательство МЕИ, 2000.
4. John r. Fanchi. Energy in the 21st century. (2nd edition) Texas Christian University, USA. With christoper j. Fanchi. Copyright © 2011 by world scientific publishing co. Pte. Ltd.



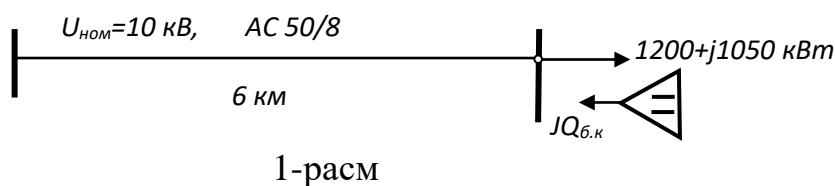
#### 4-amaliy mashg'ulot. Elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirishda kuchlanish bo'yicha chegaraviy shartlarni hisobga olish.(4 soat)

**Ishdan maqsad:** Elektr tarmoqlarida kuchlanishlarning reaktiv quvvatga bog'liqligini tahlil qilish, isroflarni kamaytirishda reaktiv quvvatni kuchlanishlar bo'yicha chegaraviy shartlarni hisobga olib kompensatsiyalash usullari va optimal reaktiv quvvatni hisoblash algoritmlarini o'rganish.

#### 1- masala.

Bosh pasaytiruvchi podstansiyadan 5 km masofada joylashgan podstansiya AS 50/8 markali o'tkazgichdan tayyorlangan yoqoch tayanchlardagi havo liniyasi orqali ta'minlanadi. o'tkazgichlar tomoni 1750 mm bo'lgan teng tomonli uchburchakning uchlarida joylashgan. Liniyadan uzatiluvchi quvvat  $1200+j1050$  kV(A (1-rasm).

Liniyada kuchlanish isrofini 5% gacha kamaytirish uchun yuklamaga parallel holda ulanishi lozim bo'lgan kondensatorlar batareyasining quvvatini toping.



#### Yechish.

Qo'llanma jadvaldan AS 50/8 markali o'tkazgichdan tayyorlanib, faza o'tkazgichlari orasidagi o'rtacha geometrik masofa  $D_{o'r}=1750$  mm bo'lgan 10 kV kuchlanishli liniyaning solishtirma qarshiliklarini aniqlaymiz:

$$r_0 = 0,603 \text{ Ом} / \text{км}; x_0 = 0,388 \text{ Ом} / \text{км}.$$

1. Liniyada kuchlanish isrofining kondensatorlar batareyasini o'rnatishdan oldingi qiymati:

$$\Delta U = \frac{Pr_l + Qx_l}{U_{ном}} = \frac{1200 \cdot 0,603 \cdot 5 + 1050 \cdot 0,388 \cdot 5}{10} = 565,5 \text{ В} > \Delta U_{дон} = 500 \text{ В},$$

2. Kondensatorlar batareyasini o'rnatish natijasida liniyadagi kuchlanish isrofi (U<sub>рух</sub>=500 V ni tashkil etishi lozim. Demak,

$$\Delta U = \frac{Pr_l + (Q - Q_{б.к})x_l}{U} = \Delta U_{рух},$$

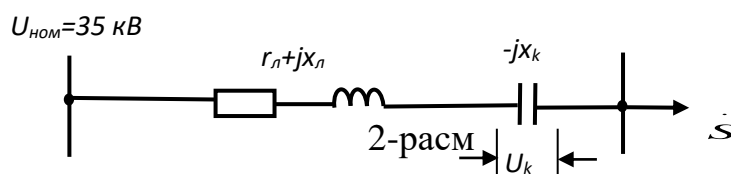
Bu munosabatdan kondensatorlar batareyasining quvvatini topamiz:

$$Q_{\delta.k} = \frac{U(\Delta U - \Delta U_{\text{don}})}{x_n} = \frac{(565,5 - 500) \cdot 10}{5 \cdot 0,388} = 337,6 \text{ kBAP}.$$

Nominal quvvati 400 kVAR bo‘lgan kondensatorlar batareyasini tanlaymiz.

**2-masala.** Pasaytiruvchi podstansiya ta’minlash markazi bilan uzunligi 20 km bo‘lgan 35 kV kuchlanishli AS 95/15 markali o‘tkazgichdan tayyorlangan bir zanjirli liniya orqali bo‘hlangan. Podstansiyaning hisobiy maksimal yuklamasi  $S_2=12+6$  MV(A. Iste’molchilarning ishlash shartlari bo‘yicha bu yuklamada liniyadagi kuchlanish isrofi 7% dan ortiq bo‘lmasligi shart. Kuchlanish isrofini kamaytirish uchun liniyaning har bir fazasiga ketma-ket tarzda 40 kvar quvvatli 0,66 kV kuchlanishli bir fazali standart kondensatorlardan (KS2A-0,66-40) iborat bo‘lgan kondensatorlar batareyasini ulash ko‘zda tutilgan (2-rasm).

Kondensatorlar batareyasida talab etilgan kondensatorlar soni, batareyaning nominal kuchlanishi va o‘rnatilgan quvvatini aniqlang.



**Yechish.** Ko‘rilayotgan havo liniyasi almashtirish sxemasining solishtirma va hisob parametrlarini aniqlaymiz:

$$r_0 = 0,314 \text{ OM/kM}; \quad r_n = r_0 l = 0,314 \cdot 20 = 6,28 \text{ OM};$$

$$x_0 = 0,42 \text{ OM/kM}; \quad x_n = x_0 l = 0,42 \cdot 20 = 8,4 \text{ OM}.$$

Kondensatorlarsiz liniyadagi kuchlanish isrofini topamiz:

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_n + Q \cdot x_n}{U_{\text{nom}}} = \frac{12 \cdot 6,28 + 6 \cdot 8,4}{35} = \frac{125,76}{35} = 3,6 \text{ kB}.$$

Masalaning sharti bo‘yicha ruxsat etilgan kuchlanish isrofi:

$$\Delta U_{\text{pyx}} = \frac{7}{100} \cdot 35 = 2,35 \text{ kB}.$$

Liniyada kuchlanish isrofini 2,35 kV gacha kamaytiruvchi kondensatorlarning qarshiligini quyidagi tenglamadan topamiz:

$$2,35 = \frac{12 \cdot 6,28 + 6 \cdot (8,4 - x_k)}{35},$$

$$x_k = 7,22 \text{ Ом.}$$

Berilgan hisobiy yuklamada liniya toki:

$$I_n = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U_{НОМ}} = \frac{\sqrt{12^2 + 6^2}}{\sqrt{3} \cdot 35} \cdot 10^3 = 221 \text{ А.}$$

KS2A-0,66-40 tipdagi kondensatorning nominal toki

$$I_{к.НОМ} = \frac{S_{к.НОМ}}{U_{к.НОМ}} = \frac{40000}{660} = 60,6 \text{ А,}$$

Bundan har bir fazada parallel holda ulanuvchi kondensatorli shoxobchalarning soni  $m = 221/60,6 = 3,6$  dan katta bo'lishi lozimligi kelib chiqadi.

Demak, ularning sonini 4 ta qabul qilamiz.

KS2A-0,66-40 tipdagi kondensatorning qarshiligini aniqlaymiz:

$$x_{к.НОМ} = \frac{U_{к.НОМ}}{I_{к.НОМ}} = \frac{660}{60,6} = 10,9 \text{ Ом.}$$

Har bir kondensatorli shoxobchada ketma-ket ulanuvchi kondensatorlar soni  $n$  ni shoxobchalar soni va bitta kondensatorning qarshiligi bo'yicha topamiz:

$$\frac{10,9n}{4} = 7,22, \quad \text{ДЕМАК} \quad n = \frac{4 \cdot 7,22}{10,9} = 2,6.$$

$n = 3$  ta etib tanlaymiz.

Shunday qilib, liniyaning uchta fazasidagi kondensatorlarning umumiy soni

$$n_{\Sigma} = 3 \cdot 4 \cdot 3 = 36 \text{ та;}$$

kondensatorlar batareyasining o'rnatilgan quvvati

$$Q_{b.k.nom} = 36(40(10-3) = 1,44 \text{ MVAR;}$$

kondensatorlar batareyasining nominal kuchlanishi

$$U_{b.k.nom} = 0,66(3) = 1,98 \text{ kV;}$$

kondensatorlar batareyasining nominal toki

$$I_{b.k.nom} = 60,6(4) = 242,4 \text{ А.}$$

Kondensatorlar batareyasining umumiy qarshiligi:

$$x_k = (10,9(3))/4 = 8,175 \text{ Ом.}$$

Bunda liniyadagi kuchlanish isrofi

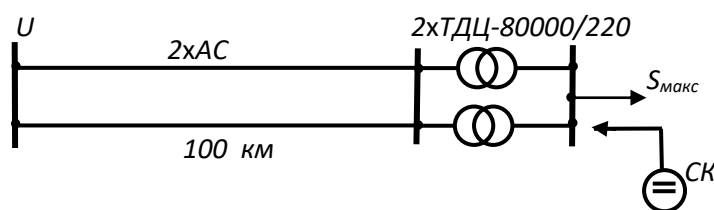
$$\Delta U = \frac{12 \cdot 6,28 + 6 \cdot (8,4 - 8,175)}{35} = 2,19 \text{ кВ,}$$

bo'lib, u maksimal ruxsat etilgan qiymatdan kichikdir.

### Mustaqil yechish uchun masalalar

**3- masala.** Kuchlanishni pasaytiruvchi podstansiya AS300/39 markali o'tkazgichdan tayyorlangan 220 kV kuchlanishli 100 km uzunlikdagi ikki zanjirli liniya orqali ta'minlanadi (3-rasm). Podstansiyada ikkita TDS-80000/220 tipdagi ikki chulhamli transformatorlar parallel ishlaydi. Ular rostdash diapazoni (2 (2,5% b'lgan QAU qurilmasigi ega. Liniya boshlanishidagi ta'minlovchi podstansiya shinasidagi kuchlanishlar maksimal va minimal yuklama holatlarida  $U_{maks}=222$  kV va  $U_{min}=224$  kV. Podstansiyadagi maksimal va minimal yuklamalar quyidagicha:  $S_{maks}=90+j40$  MVA va  $S_{min}=50+j20$  MVA.

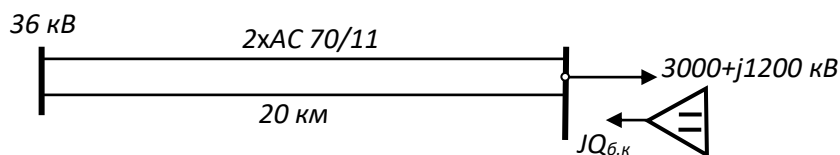
Podstansiyaning quyi tomonida kuchlanishni qarama-qarshi rostdashni ta'minlovchi sinxron kompensatorning minimal quvvatini aniqlang.



3-расм

**4-masala.** Kuchlanishni pasaytiruvchi asosiy podstansiyadan 40 km masofada joylashgan postansiya AS70/11 markali o'tkazgichdan tayyorlangan 35 kV kuchlanishli ikki zanjirli havo liniyasi orqali ta'minlanadi. Liniya orqali iste'molchiga uzatiluvchi quvvat  $3200+j1700$  kV(A (4-rasm).

Agar ta'minlash punktidagi kuchlanish 36 kV b'lsa, u holda iste'molchi punktida 35 kV kuchlanishni ta'minlash uchun yuklamaga parallel tarzda ulanishi lozim b'lgan kondensator batareyasining quvvatini aniqlang.



4-расм

## V.GLOSSARIY

Availability	A condition in which a machine is ready to perform the duty for which it is intended.	Mavjudligi - bir mashina uchun mo'ljallangan burchini bajarish uchun tayyor bo'lgan bir holati.
Balancing	Controlling electricity production so that it fully matches electricity demand.	Muvozanat - bu to'liq elektr talabni va elektr ishlab chiqarishni nazorat qilish.
Base load	A constant demand level for electric energy that is present during a prolonged time period.	Asosiy yuklama - uzoq vaqt davomida mavjud elektr energiyasi uchun doimiy talab darajasida bolgan.
Coefficient of performance	The ratio of the amount of heat or cold produced by a heat pump and the amount of energy needed to drive the heat pump.	Bajarish koeffitsiyenti - bir issiqlik nasosi va issiqlik nasos haydovchi uchun zarur bo'lgan energiya miqdori tomonidan ishlab chiqarilgan issiqlik yoki sovuq miqdori nisbati.
Cogeneration	An effective method to utilize the heat released during the production of electric energy for process heating, space heating or cooling.	Generaciya - jarayon isitish yoki sovutish uchun elektr energiyasini ishlab chiqarish davomida ozod issiqlik foydalanish uchun samarali usul.
Common cause fault	A fault in a process that negatively affects the whole process.	Sabab aybi - salbiy butun jarayonini ta'sir jarayonida bir aybi.
Common mode fault	A fault in a process that affects only one unit in a process with several identical units in parallel without affecting the others.	Umumiy tartib aybi - boshqalarga ta'sir holda parallel bir necha xil birliklari bilan bir jarayonda faqat bitta birligidan ta'sir jarayonida bir aybi.
Demand management	A method to decrease electricity demand by switching of part of electricity consumption.	Talab boshqarish - elektr iste'moli qismi kommutatsiya tomonidan elektr ehtiyojni kamaytirish uchun bir usul.
Discount rate	The fraction of an invested capital that is desired as an annual yield.	Chegirma darajasi - bir yillik hosildorligi sifatida istalgan bir kapitalning ulushi.

Distribution grid	The system that distributes electricity or gas to households, commercial users and small industries.	Tarqatish tarmoq - uy, tijorat foydalanuvchilar va kichik sanoat elektr yoki gaz tarqatadigan tizimi.
Electricity intensity	The amount of electric energy needed to create a certain gross domestic product, often expressed in kwh/€ of kwh/\$	Yelektr intensivligi - muayyan yalpi ichki mahsulotni yaratish uchun zarur bo'lgan elektr energiya miqdori, tez-tez
Energy	Amount of physical work stored or delivered to a process	Yenergiya - jismoniy ish yoki jarayon uchun yetkaziladigan miqdor
Energy storage	Storage of energy for later use, often in pumped hydro, batteries, flywheels, and compressed air but primarily in fuels	Yenergiya saqlash - keyinchalik foydalanish uchun, tez-tez shimib gidroyenergiya, batar-eyalar, 1 va siqilgan havo, balki, birinchi navbatda
Final energy use	Energy use by the consumers, such as industries, commercials and households. It does not include the energy consumption needed for processing fuels and the energy losses of power plants	Ohirgi energiyadan foydalanish - masalan, sanoat, reklama va uy kabi iste'molchilar tomonidan energiya foydalanish. Bu qayta ishlash yoqilg'i uchun zarur bo'lgan energiya iste'molini va quvvat o'simliklar energiya yo'qotishlarni o'z ichiga olmaydi
Fixed charge rate	The rate of capital costs resulting from a given discount rate and the given life of an installation	Belgilangan zaryad tezligi - berilgan chegirma stavka natijasida kapital xarajatlarning darajasi va o'rnatish berilganligi
Frequency	The number of repetitive cycles of a process per second, with unit Hz (hertz).	Chastota - birligi Hz (Gertz) bilan soniyada bir jarayonning takrorlanadigan soni.
Gas engine	A machine that converts the chemical energy stored in fuel gas into mechanical energy.	Gaz-motor - mexanik energiyaga aylanishiga yoqilg'i gaz saqlanadi kimyoviy energiya aylantirgan mashinasi.
Gross domestic product	– The total monetary value of the amount of goods and services produced per year in a country.	Yalpi ichki mahsulot (YAIM) - bir mamlakatda yiliga ishlab chiqarilgan tovarlar va xizmatlar

(GDP)	Often, the gdp is expressed in the local purchasing power parity (ppp) of the us\$, since the buying power of the us\$ differs from country to country.	miqdori umumiy pul qiymati. AQSH dollari sotib olish kuchi, mamlakatdan mamlakatga farq buyon tez-tez, yalpi ichki mahsulot, AQSH dollari, mahalliy xarid qobiliyati pariteti ifoda etiladi.
Highvoltage AC	A three wire system for transporting electric energy at high voltage (> 35 kv) as alternating current.	Yuqori kuchlanish UT- yuqori kuchlanish elektr energiya tashish uchun uch sim tizimi (> 35 kV) muqobil oqim sifatida.

## VI. FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Mirziyoyev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va oliyanob xalqimiz bilan birga quramiz. – T.: “O‘zbekiston” NMIU, 2017. – 488 b..
2. O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida. - T.:2017 yil 7 fevral, PF-4947-sonli Farmoni.
3. Каримов И.А. Мамлакат тараққиёти, иқтисодиёт барқарорлиги ва фаровонликнинг мустаҳкам асоси // Халқ сўзи. №110, 2014. Б. 1 – 3.
4. Т.Sh. Gayibov. Elektr energetika tizimlarini optimallashtirish nazariy asoslari. Darslik. – T.: “Fan”, 2023.
5. Elektr tarmoqlari va tizimlari: o‘quv qo‘llanma/ A.M. Safarov, T.Sh. Gayibov, A.X. Sulliyev. – Toshkent: Tafakkur bo‘stoni. 2013.- 224 b.
6. Насиров Т.Х., Гайибов Т.Ш. Теоретические основы оптимизации режимов энергосистем. – Т.: «Фан ва технология», 2014, 184 с.
7. Гайибов Т.Ш. Методы и алгоритмы оптимизации режимов электро-энергетических систем. – Т.: Изд. ТашГТУ, 2014, 188 с.
8. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике/Под общ. ред. Й.Н.Руденко и В.А.Семенова. –М.: Издательство МЕИ, 2000.
9. Mohamed E. El-Hawary. Introduction to Electrical Power Systems. Copyright 2008 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. All rights reserved. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada
10. P. GiridharKiniand Ramesh C. Bansal, Energy managementsystems. Published by InTech. JanezaTrdine 9, 51000 Rijeka, Croatia. Copyright © 2011 InTech.
11. Frank Kreith D.Yogi Goswami.Energy management and conservation handbook. © 2008 by Taylor & Francis Group, LLC. CRCP ressisan imprint of Taylor & Francis Group, anInforma business.
12. Zoran Morvaj. Energy efficiency –a bridge tolow carbon economy. Published by InTech Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia. Copyright © 2012 InTech
13. Moustafa Eissa. Energy efficiency –the innovative ways for smart energy, the future towards modern utilities. <http://dx.doi.org/10.5772/2590> Edited by Moustafa Eissa. Electric Power Distribution Handbook, T. A. Short. Taylor & Francis Group. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300.
14. Energy in the 21st century. (2nd edition) John r. Fanchi. Texas Christian University, USA. With christoper j. Fanchi. Copyright © 2011 by world scientific publishing co. Pte. Ltd.
15. Mohamed E. El-Hawary. Introduction to Electrical Power Systems. Copyright 2008 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. All rights reserved. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada



### **Internet ma'lumotlari:**

1. [www.edu.uz](http://www.edu.uz)
2. <http://bimm.uz>
3. <http://ziyonet.uz>
4. [www.regimov.net](http://www.regimov.net)
5. [www.online-electric.ru](http://www.online-electric.ru)