

Z.G.Nazirova

O'TKINCHI JARAYONLAR

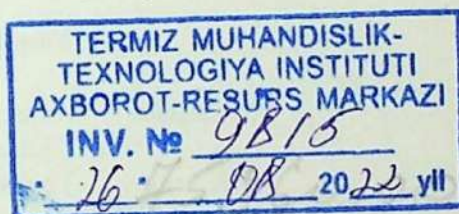
Toshkent – 2017

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI**

Nazirova Zamira Gafirovna

O'TKINCHI JARAYONLAR

**5310200 – Elektr energetikasi (temir yo'l transporti) ta'lim
yo'nalishi talabalari uchun o'quv qo'llanma**



«Sano-standart» nashriyoti
Toshkent – 2017

UO'K: 621.3.018.782.3(075.8)

KBK: 31.264

N 18

O'tkinchi jarayonlar. O'quv qo'llanma: Z.G. Nazirova.—T.: «Sano-standart» nashriyoti, 2017.— 204 bet.

«O'tkinchi jarayonlar» fani bo'yicha mazkur o'quv qo'llanmada elektromagnit va qisqacha elektromexanik o'tkinchi jarayonlar yoritilgan bo'lib, unda elektr sistema, uning parametrlari, rejimlari va elementlari, simmetrik va nosimmetrik qisqa tutashuvlar, ularni hisoblash usullari, qisqa tutashuvlarning oqibatlar va ularning oldini olish usullari, sistemada rejim mavjudligi sharti, statik, dinamik va natijaviy turg'unliklarga oid asosiy nazariy ma'lumotlar keltirilgan. Har bir bob tegishli tayanch so'zlar, o'z-o'zini sinash va test savollari, mustaqil ishlar vazifalari va masalalar bilan to'ldirilgan. Bu kurs 54 soat ma'ruza, 54 soat amaliy dars, 1 kurs ishi va 132 soat mustaqil ishiga mo'ljallangan.

O'quv qo'llanma 5310200 – elektr energetikasi (temir yo'l transporti) bakalavriat ta'lim yo'nalishi talabalariga mo'ljallangan bo'lib, undan boshqa sohadagi “elektr energetika” ta'lim yo'nalishi talabalari, shu soha magistrant, mutaxassis, ilmiy tadqiqotchi va professor-o'qituvchilari ham foydalanishlari mumkin.

Institutning Ilmiy-uslubiy kengashi tomonidan nashrga tavsiya etildi.

Taqrizchilar:

Q.R.Allaev – Toshkent davlat texnika universiteti

“ETT” kafedrasi, profs., t.f.d.;

S.F.Amirov – Toshkent temir yo'l muhandislari

instituti “TYET” kafedrasi mudiri, profs., t.f.d.

UO'K: 621.3.018.782.3(075.8)

KBK: 31.264

ISBN: 978-9943-5001-3-6

© «Sano-standart» nashriyoti, 2017

© Nazirova Zamira Gafirovna

Kirish

«O'tkinchi jarayonlar» fani elektr sistemalarda, shu jumladan temir yo'l transporti elektr ta'minoti sistemalarida vujudga keluvchi elektromagnit va elektromexanik o'tkinchi jarayonlarining nazariy masalalarini va ularni hisoblash usullarini o'rgatadi.

«O'tkinchi jarayonlar» fanini o'qitishdan maqsad – elektr energetik sistema va uning elementlarining asosiy xarakteristikalarini, ish rejimlarini, turli shikastlanish rejimlarining sabablari va oqibatlarini tahlil qila oladigan va uning oldini olish chora-tadbirlarini biladigan nazariy bilimlarini amaliy ko'nikmalar bilan uyg'unlashtirgan kadrlarni tayyorlashdan iborat. Fanning vazifasi – elektr energetik sistemaning har xil elementlarida o'tkinchi jarayonlar xossalarini aks ettiruvchi ularning matematik modellarini, o'tkinchi jarayonlarni tadqiq qilish usullarini, qisqa tutashuv (QT) toklarini hisoblash amaliy usullarini, nosimmetrik QT larda va faza simlar uzilganda tok va kuchlanishlarni hisoblash xossalarini, QT toklarining elektrodinamik va termik ta'sirlarini, statik va dinamik turg'unliklarni baholash amaliy mezonlarini talabalar o'zlashtirishidan iborat.

Hozirgi vaqtda O'zbekiston temir yo'llarining umumiy uzunligi 4,1 ming km tashkil etib, ulardan 700 km dan ortig'i elektrlashtirilgan. Temir yo'llarni rivojlantirish strategiyasi bo'yicha jami respublikada 2 ming km yo'llarni elektrlashtirish rejalashtirilgan. Temir yo'l transporti elektr tarmoqlari va sistemalarida yuzaga keluvchi har qanday rejim parametrlarining o'zgarishi mos holda texnik-iqtisodiy ko'rstakichlarga ma'lum ta'sir ko'rsatadi. Agar bu o'zgarishlar halokatli rejimni keltirib chiqarsa, uning salbiy oqibatlari ham texnik, ham iqtisodiy ziyon keltiradi. Shuning uchun elektr sistemada va uning elementlarida yuzaga keluvchi har qanday o'tkinchi jarayon parametrlari ishlab chiqarishda o'ta mas'uliyatli texnologik jarayonlarni amalga oshirishda muhim o'rin tutadi va ularni nazorat qilish, boshqarib (rostlab) turish zarurati doimo mavjud. Shuning uchun ushbu fan ishlab chiqarish texnologik sistemaning ajralmas bo'g'ini bo'lib, bo'lg'usi mutaxassislardan chuqur bilim, malaka va ko'nikmalarni talab etadi.

O'zbekiston energetika tizimi bunyodga kelishi 1934-yilga to'g'ri kelib, o'sha paytda uning umumiy quvvati 180 ming kV bo'lgan Chirchiq-Bo'zsuv yo'nalishidagi ketma-ket qurilgan gidro kV elektr stansiyalarini¹ qurilishi bilan bog'liq [1,4]. Hozirgi davrda ko'p miqdorda ishlab chiqariluvchi elektr energiyani masofaga samarali uzatish va iste'molchilarga taqsimlash turli kuchlanishdagi elektr uzatish liniyalaridan foydalanishni talab etadi. O'zbekistondagi barcha nominal kuchlanishli elektr uzatish liniyalarining umumiy uzunligi taxminan 220 ming km bo'lib, 500 kV li liniyalar 1,6 ming km, 220 kV li liniyalar 4,6 ming km va 0,4 -10 kV li liniyalar 170 ming km ni tashkil etadi [1].

«O'tkinchi jarayon» fani umumkasbiy fan hisoblanib elektr energetik ta'lim yo'nalishi talabalariga o'qitiladi. Dasturni amalga oshirish o'quv rejasidagi oliy matematika, fizika, elektrotexnikaning nazariy asoslari, elektromexanika fanlaridan yetarli bilim va ko'nikmalarga ega bo'lishni talab etadi. O'z navbatida ushbu fan «Elektr tarmoqlari va tizimlari», «Kontakt tarmog'i», «Tortuvchi nimstansiyalar» kabi ixtisoslik fanlari uchun asos bo'lib xizmat qiladi. «O'tkinchi jarayonlar» fanini o'zlashtirish jarayonida amalga oshiriladigan masalalar doirasida bakalavr: elektr sistemasi va uning elementlarida vujudga keluvchi o'tkinchi jarayonlari turlari haqida; elektr sistema elementlarining almashtirish sxemalari va ularni hisoblashni; elektr sistema(elementlar)da bo'ladigan QT lar va ularning tokini hisoblash usullarini bilishi kerak; elektr sistema statik turg'unligini baholash me'zonlari; elektr sistema dinamik turg'unligi va uning parametrlarini to'g'ri aniqlash ko'nikmalariga ega bo'lishi kerak; talaba muayyan elektr sistemasi va uning elementlarida vujudga keluvchi o'tkinchi jarayonlarni hisoblash va tahlil qilish malakalariga ega bo'lishi kerak.

O'quv qo'llanma 7 bobdan iborat. Nazariy materiallarni mustahkamlash uchun yechilishlari ko'rsatilgan masalalar, tayanch so'zlar va iboralar, o'z-o'zini sinash savollari, mustaqil ishlar mavzulari va test savollari berilgan. Ularni talabalar tomonidan mustaqil bajarish maqsadga muvofiqdir.

¹ G.R.Rahimov 1932-1934 yillarda Elekt texnik birlashmasining O'rta Osiyo bo'limida ishlab chiqarish sektori boshlig'i va loyihalash sektori bosh muhandisi sifatida ushbu elektr stansiyalarni va Toshkent yuqori voltli elektr tarmog'ini barpo etishda qatnashgan.

1-BOB. Elektr sistema, uning rejim va jarayonlari

1.1. Elektr sistema, uning elementlari va parametrlari to'g'risida umumiy tushunchalar

Elektr sistema "O'tkinchi jarayonlar" fanida o'rganiladigan asosiy ob'yekt hisoblanadi. **Elektr energetika sistemasi** – elektr tarmoqlari yordamida o'zaro tutashib, umumiy ish rejimiga ega bo'lgan elektr stansiyalari, nimstansiyalari va iste'molchilari majmuidir.

Elektr sistema (ES) – elektr energetik sistemaning shartli ravishda ajratilgan elektr qismi bo'lib, uning elementlari **elektr energiyani ishlab chiqarish (generatsiya qilish), o'zgartirish, uzatish hamda iste'mol qilish yagona jarayoni bilan birlashadi**. Ushbu elementlarni ikki guruhga bo'lish mumkin.

Birinchisi, **kuch elementlari** – elektr energiyani a) ishlab chiqaruvchi (generator, turbinalar); b) o'zgartiruvchi (kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi transformatorlar, to'g'irlagichlar, invertorlar); v) uzatuvchi (havo va kabel uzatish liniyalar, tarmoqlar); g) taqsimlovchi (nimstansiyalar, taqsimlovchi punktlar); d) iste'mol qiluvchi (yuklamalar) elementlardir.

Ikkinchisi, **boshqarish elementlari** – sistema holatini o'zgartiruvchi va boshqaruvchi elementlar (sinxron mashinalarni qo'zg'atishini avtomatik rostlagichlari, chastota rostlagichlari, relelar, uzgichlar, o'chirgichlar va h.k).

Elektr sistema ishini o'rganishda elektr jarayonlarni ko'rib chiqish va ularga bog'liq bo'lgan sistema elementlaridagi mexanik jarayonlarda ham to'xtab o'tish kerak bo'ladi. Shu jumladan birlamchi motor (turbina) laridagi va ularning avtomatik rostlagichlaridagi, iste'molchi motorlaridagi jarayonlarda.

Barcha sistema elementlari elektr energiyani ishlab chiqish (ya'ni generatsiya), uzatish, taqsimlash va iste'mol qilish jarayonlari umumiyliги bilan bog'langan. Shuningdek sistema holati o'zgarganda elementlarda umumiy jarayonlar hosil bo'ladi. Ta'kidlash kerakki, alohida elementlarni birlashtiruvchi sistema alohida elementlarda kuzatilmaydigan xususiyatlarga ega bo'ladi. Sistemada sodir bo'ladigan jarayonlar uning elementlarida ro'y beradigan jarayonlardan ancha farq qilishi mumkin.

Sistemada mavjud bo'lgan va har vaqt onida yoki biror vaqt intervalida uning holatini aniqlovchi jarayonlar majmui **sistema rejimi (holati)** deb ataladi. Rejim sistema elementlarining bog'lanish sxemasiga va uning parametrlariga bog'liq bo'ladi.

Sistema rejimi miqdor va sifat ko'rsatkichlariga ega.

Miqdor ko'rsatkichlari: ishlab chiqarilayotgan aktiv P va reaktiv Q quvvatlar, Q va P quvvatlar oqimlari, ishlab chiqarilayotgan elektroenergiya miqdori.

Sifat ko'rsatkichlari: sistema shinalaridagi kuchlanishning qiymati, chastota f , kuchlanish va toklarning sinusoidal shakli, uch fazali kuchlanish va tok vektorlarining simmetrikligi va boshqalar.

Rejim parametrlari – sistemaning holatini miqdor jihatdan aniqlaydigan va sistema holati o'zgarganda o'zgaradigan (P , Q , U , I , f , φ kabi) parametrlaridir, ya'ni rejimni xarakterlaydigan ko'rsatkichlardir.

Sistema parametrlari – sistema elementlarining miqdor jihatdan fizik xususiyatlari, bog'lanish sxemalari va qator hisobiy farazlar bilan aniqlanadigan ko'rsatkichlardir.

Elementlarning to'la (Z , Y), aktiv (R , G) va reaktiv (X , B) qarshilik va o'tkazuvchanliklari, xususiy va o'zaro qarshiliklar, transformatsiya koeffitsientlari, zanjirlarning vaqt doimiylari, kuchaytirish koeffitsientlari va h.k. kabi parametrlar sistema parametrlaridir.

Rejim parametrlari o'zaro bog'lanish munosabatlariga (tenglamlarga) sistema parametrlari ham kiradi.

Masalan, $\dot{I} = \dot{U}/R$ ifodada I , U – rejim parametrlari, R – sistema parametridir. Tugun potentsiallari usuli bo'yicha aniqlangan murakkab sistema shaxobchasidagi tok:

$$\dot{I} = \dot{E}_1 \underline{Y}_{11} + \dot{E}_2 \underline{Y}_{12} + \dots + \dot{E}_k \underline{Y}_{1k},$$

bu yerda I , E – rejim parametrlari,

Y – sistema parametrlari.

Sistema parametrlari rejim parametrlariga bog'liq bo'lsa, sistema **nochiziq sistema** deyiladi. Demak, uning tarkibida $U(I)$ volt amper xarakteristikasi egri chiziq bo'lgan **nochiziq elementlar** mavjud.

Masalan, quyidagi nochiziq bog'lanishlarni ko'p marta hisobga olish kerak bo'ladi:

$$P = U^2 / R; \quad P = (U_1 \cdot U_2 / X) \sin \delta,$$

bu yerda R , X – sistema parametrlari;

P , U , δ – rejim parametrlari.

Sistema parametrlari umumiy holda nochiziqlidir. Lekin ushbu kursni o'rganishda biz ularni ko'p hollarda o'zgarmas kattaliklar (chiziqli) deb qabul qilamiz.

1.2. Elektr sistema rejimlari

Elektr sistema rejimlari **ikkita guruhga** bo'linadi, ya'ni **turg'un** (barqaror) va **o'tkinchi** (noturg'un) rejimlariga, ular esa quyidagi turlarga bo'linadi [2].

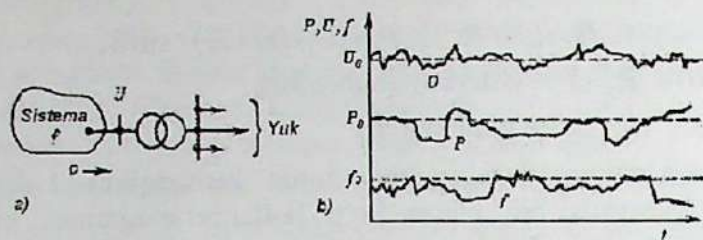
1.Normal turg'un rejimi (ish rejimi)—bu o'zgarmay uzoq vaqt davom etadigan rejim. Normal ish rejimida sistema iste'molchini qabul qilingan me'yorga mos keladigan va yetarli darajada o'zgarmas sifatli elektr energiya bilan ta'minlashi kerak.

Bunda sistema rejimi mutlaqo o'zgarmasa ma'qul bo'lar edi, ammo butunlay "turg'un rejim" amalda bo'lishi mumkin emas (1.1-rasm). Sistemadagi yuklama doimo o'zgarib turadi. Masalan, iste'molchilar soni, quvvati, tarkibi uzluksiz o'zgaradi, ya'ni yuklama "nafas" oladi. Shu tufayli tarmoq kuchlanishi har bir nuqtada nominal qiymatidan og'ib turadi. Bu "kichik o'zgarishlar" **fluktuatsiya** deyiladi.

Elektr energiya iste'molchilari va generatorlarning **nominal kuchlanishi** deb, ularni normal sharoitda ishlashi uchun mo'ljallangan kuchlanishiga aytiladi. Sistemani loyihalashda ushbu rejim uchun uning asosiy texnik-iqtisodiy xarakteristikalarini (tasnifi) aniqlanadi. 50 l/s li uch fazali tok sistemasi kuchlanishi nominal qiymatidan og'ishi $\pm 5\%$ dan katta bo'lmasligi kerak.

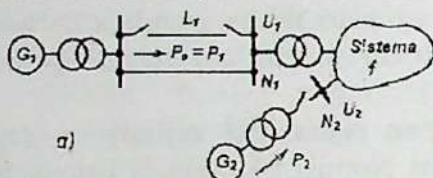
2.Normal o'tkinchi rejimi – bu sistemaning normal ish paytida bir ish rejimidan ikkinchi ish rejimiga o'tishidir.

Sistemada tez-tez uchraydigan «katta o'zgarishlar» sodir bo'ladi. Ular ishlab chiqariladigan va iste'mol qilinadigan quvvatlar miqdorlari hamda sistema konfiguratsiyasi o'zgarishiga bog'liqdir. Ya'ni sistema element (uzatish liniya, generator, transformator, kuchli nimstansiya, yuklama tuguni)larini ulash yoki uzish (yoqish, o'chirish) bilan bog'liq bo'ladi (1.2-rasm).



1.1-rasm. Sistemaning normal rejimi:

a) sistema sxemasi; b) normal rejim vaqt diagrammalari: U – yuklamani ta'minlovchi nimstansiya shinalaridagi kuchlanish; P – yuklama iste'mol qiladigan quvvat oqimi; f – sistema chastotasi; o – indeks nominal qiymatini bildiradi.



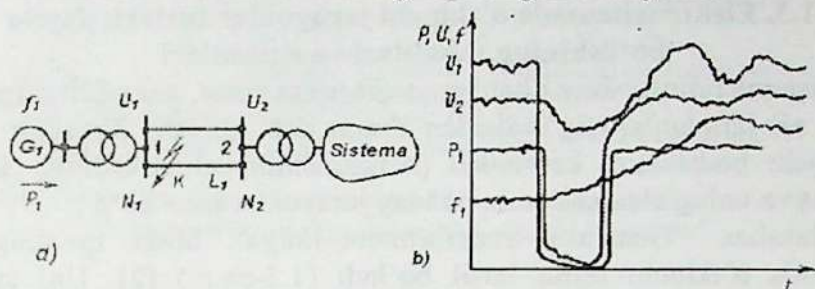
1.2-rasm. Sistemaning normal o'tkinchi rejimi:

a) sistema sxemasi; b) uzatish liniya L_1 ning o'chirilishi: U_1 – nimstansiya N_1 shinalaridagi kuchlanish; P_1 – generator G_1 dan kelayotgan quvvat oqimi; v) kuchli generator G_2 ning yoqilishi va yuklamasini to'plashi: U_2 – nimstansiya N_2 shinalaridagi kuchlanish; P_2 – generator G_2 dan kelayotgan quvvat oqimi. o – indeks boshlang'ich qiymatni, 1, 2 – indekslar turg'un qiymatni bildiradi.

3. Avariya (shikastlanish) o'tkinchi rejimi. Har qanday boshqa sistemaga o'xshab elektr sistema ba'zida avariya (shikastlanish) ta'sirlariga duch kelishi mumkin. **Avariya o'tkinchi rejimi** – bu sistemaning avariya rejimi paytidagi holati va undan keyingi bo'ladigan yangi ish rejimiga o'tishidir (1.3-rasm).

Ushbu rejimlar uchun avariyanı bartaraf etishga mo'ljallangan qurilmalarning texnik xarakteristikallari hamda sistemaning keyingi ishlash shartlari aniqlanadi.

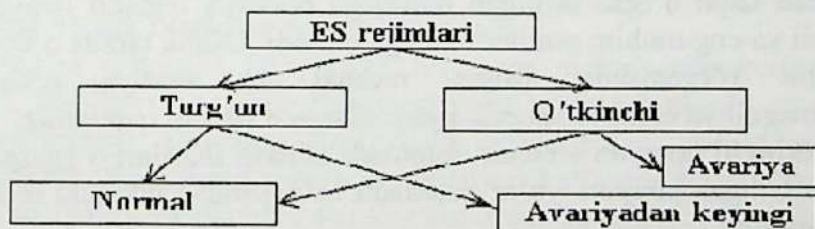
Avariylar quyidagi **sabablarga** ko'ra bo'lishi mumkin. Birinchisi, sistema rejimi buzilishi natijasida. Masalan, alohida elementlarning yuklamasi oshib ketishi va ular avtomatik ravishda o'chirilishi hamda shu tufayli sistemaning alohida qismlariga bo'linib ketishi ya'ni "sistema barbod bo'lishi" bilan bog'liq bo'lgan avariylar.



1.3-rasm. Sistemaning avariya o'tkinchi rejimi:

a) sistema sxemasi; b) N_1 yaqinida K nuqtada liniya L_1 da qisqa tutashuv (QT) bo'lganligi tufayli L_1 o'chiriladi. Sistema turg'un holatda qoladi. U_1 va U_2 - N_1 va N_2 nimstansiyalar shinalaridagi kuchlanishlar; P_1 - generator G_1 dan kelayotgan quvvat oqimi; f_1 - sistema chastotasi. U_1 va P_1 lar keskin kamayadi (kuchlanish chuqur pasayadi).

Ikkinchisi, sistemaning alohida elementlari vayron bo'lishi natijasida. Masalan: tashqi ta'sirlar (shamol, yaxmalak) tufayli elektr uzatish liniyalarning tayanchlari qulashi va vayron bo'lishi mumkin. Qisqa tutashuv toklarining oshib ketishi bilan bog'liq bo'lgan ichki ta'sirlar tufayli generator, transformator, reaktorlar va nimstansiyalar ishdan chiqishi mumkin.



1.4-rasm. Elektr sistema rejimlari.

4. Avariya dan keyingi turg'un rejim umumiy rejimdagi sistemaning normal sxemasi o'zgarishi bilan xarakterlanadi. Avariya dan keyin bitta yoki qator shikastlangan elementlar o'chiriladi. Bu rejimda

sistema normal rejimga nisbatan bir muncha yomonlashgan texnik-iqtisodiy xarakteristikalar bilan ishlash mumkin. Demak, elektr sistemada sodir bo'ladigan to'rtta rejimni kuzatish mumkin ekan (1.4-rasm).

1.3. Elektr sistemada o'tkinchi jarayonlar turlari, paydo bo'lishining sabablari va oqibatlari

Sistema rejimi tabiiy jihatdan yaxlit narsa emas, uni tahlil qilganda, u har xil jarayonlar yig'indisidan iborat deb olinadi. **Jarayon** – bu qandaydir hodisalarni ketma-ket (o'zgarishidir) almashishidir. Elektr sistema va uning elementlarida bunday jarayonlar juda ko'p.

Masalan, "Generator–transformator–liniya" bloki qo'shilganda sistemada o'tkinchi rejim hosil bo'ladi (1.5-rasm) [2]. Uni tashkil etuvchi o'tkinchi jarayonlar quyidagilar: elektromagnit jarayon (tok ulanishi); elektromexanik jarayon; issiqlik yoki gidromexanik jarayon (IES yoki GES turbinasidagi jarayon); mexanik jarayon (turbina validagi moment, transformatoridagi kuchlar); issiqlik jarayoni (generator qizishi); to'liqinsimon jarayon (uzatish liniyasi bo'ylab U va I larni tarqalishi); fazoda nurlanish jarayoni (muhitga ta'sir etish) va h.k.lar.

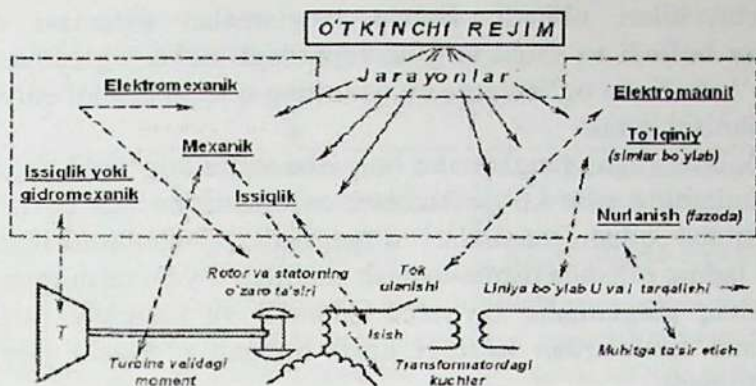
Demak, har bir jarayon ma'lum bir rejim parametrlarini o'zgarishini aks ettiradi. Bunda vaqt va masofa bo'yicha o'zgarishlarni bir vaqtda ko'rish lozim bo'ladi.

Rejimlarning alohida jarayonlari ko'rilganda rejim parametrlari **jarayon parametrlari** deb ataladi.

Har qanday muhandislik masalalarini yechishda barcha jarayonlardan faqat o'rganilayotgan masalaga bevosita tegishli jarayonlar ajratiladi va eng muhim omillar hisobga olinadi. Ushbu tarzda o'tkinchi rejimlarni o'rganishda asosan normal va avariya o'tkinchi elektromagnit va elektromexanik jarayonlarga e'tiborni qaratamiz.

O'tkinchi jarayon – elektr sistemada ishlash shartlari o'zgarganda hosil bo'ladigan jarayon, ya'ni sistemani bir rejimdan ikkinchi rejimga o'tish jarayoni.

Muhandislik masalalarining yechilishini ancha soddalashtirish uchun o'tkinchi jarayonlarni kechishiga ta'sir etuvchi faqat asosiy omillar hisobga olinadi.



1.5-rasm. "Generator-transformator-liniya" bloki yoqilganda sistemada o'tkinchi rejim hosil bo'lishi va uni tashkil etuvchi jarayonlar.

Shuningdek tadqiqot paytida o'tkinchi jarayonlar, xuddi rejimlarga o'xshab, quyidagi alomatlar bo'yicha turlarga bo'linishi, ya'ni sinflanishi mumkin:

1) **kechish sharoitlariga ko'ra** – normal va avariya o'tkinchi jarayonlar.

2) **yuzaga kelish sabablariga ko'ra**. Har qanday o'tkinchi jarayonlar biror sabablarga ko'ra sistema parametrlari o'zgarishi tufayli sodir bo'ladi. Ushbu sabablar **turtki ta'sirlar (rejim turtkilari yoki turtkilar)** deb nomlanadi va rejim parametrlarida boshlang'ich og'ishlar paydo bo'lishiga olib keladi.

Normal o'tkinchi jarayonlarda rejim parametrlari o'zgarishi turg'un kattaliklaridan kichik miqdorda farq qiladi. Masalan sistemada yuklamani o'zgarishi, rostlagichlar faoliyati va hokozolar uzluksiz davom etadi va buning natijasida o'tkinchi jarayonlarga sabab bo'luvchi **kichik turtkilar** doimo kuzatiladi.

Avariya o'tkinchi jarayonlari bir qism elektr generatorlarining uzilishi, liniyalarning qisqa tutashuvi yoki boshqa hollarda va rejim parametrlarining shiddatli kutilmagan o'zgarishlari natijasida yuz beradi. Avariya natijasida rejim parametrlari katta miqdorga o'zgaradi (U , P kamayadi), ya'ni elektr sistema **katta turtki** ta'sirida bo'ladi.

3) **matematik ifodalanishi to'liqligiga ko'ra**, ya'ni differensial tenglamalarni tuzish va yechishda qo'llangan farazlarga ko'ra. Bunday farazlar turlicha. Masalan, real nochiziqli sistemadagi rejim parametrlarining xarakteristikalarini Teylor qatoriga yoyilib, uning faqat chiziqli

tashkil etuvchilari olinadi. Bunda tenglamalar sistemasi chiziq-
lashtirilgan bo'ladi va faqat turg'un rejimdagi kichik og'ishlar uchun
to'g'ri bo'ladi. Katta og'ishlarda bu qatorning qolgan tashkil etuvchilari
hisobga olinishi kerak.

Chiziqlashtirilgan tenglamalar bo'yicha statik turg'unliklar, o'tkin-
chi jarayonlarning sifat ko'rsatkichlari, avtomatik boshqaruvchi quril-
malarni sintez qilish masalalari o'rganiladi. Chiziqlashtirilgan sis-
temalarni tadqiq qilishda ustma-ustlash usulidan foydalanish mumkin.

Nochiziq tenglamalar bo'yicha dinamik va natijaviy turg'unlik
hamda katta turtkilardan keyingi hosil bo'lgan o'tkinchi jarayonlar
tadqiqot qilinadi.

Matematik ifodalashga sistemani almashlash sxemalari bilan
ifodalash, jarayonlarni tahlil qilish uchun elektron hisoblash mashi-
nalarida dasturlar yaratish ham kiradi.

4) o'rganilaytgan **sistema strukturasi murakkabligiga ko'ra.**

5) **o'tkinchi jarayonlar kechish tezliliga (vaqtiga) ko'ra** (mikro-
sekunddan to bir necha soatgacha davom etishi mumkin) to'lqinsimon,
elektromagnit va elektromexanik o'tkinchi jarayonlar turlariga ajratiladi
(1.6-rasm).

Rejimga turtki berish onida hosil bo'lgan o'tkinchi jarayon nazariy
jihatdan cheksiz vaqt davom etadi. Amalda o'zgarishlarni xarak-
terlovchi parametrning qiymati nazariy jihatdan hisoblangan turg'un
qiymatlardan konkret shartlarga bog'liq bo'lgan biror bir cheklangan
kichik qiymatga farq qiladi deb olinadi.

Energosistema qurilmalarining elektromagnit va mexanik rejim-
larini o'zgarish tezligi sezilarli farq qiladi. Masalan:

To'lqinsimon o'tkinchi jarayonlar [$t_{0..lq}=(10^{-8} \div 10^{-5})s$] ular ichki
kommutatsiya, momaqaldiraq va boshqa o'ta kuchlanishlar bilan
bog'liq. Mexanik o'zgarishlar ushbu jarayonga ta'sir etmaydi;

Elektromagnit o'tkinchi jarayonlar [$t_{em}=2 \cdot (10^{-5} \div 10^{-2})s$] – siste-
mada yuz berayotgan mexanik rejimlarni hisobga olmagan holda
o'rganiladi. Bunda sinxron generator rotorlarini aylanish tezligi
o'zgarmas ($\omega_r=const$) deb faraz kiritiladi;

Elektromexanik o'tkinchi jarayonlarga [$t_{emx}=0,02 \div 10s$ va undan
katta] – generator, turbina, motorlarning aylanish tezliklarining o'zga-
rishi sezilarli darajada ta'sir etadi. Elektromagnit va mexanik rejimlar
bir vaqtda ko'riladi.

O'tkinchi jarayonlar (O'J)



To'liqsimon o'tkinchi jarayonlar	Elektromagnit o'tkinchi jarayonlar	Elektromexanik o'tkinchi jarayonlar
$t_{to'liq} = (10^{-8} \div 10^{-5}) s$ Mexanik o'zgarishlar ushbu jarayonga ta'sir etmaydi	$t_{em} = 2 \cdot (10^{-5} \div 10^{-2}) s$ Sistemadagi mexanik rejimlar hisobga olinmaydi va sinxron generator rotorlarining aylanish tezligi o'zgarmas ($\omega_r = const$) deb faraz kiritiladi	$t_{emx} = 0,02 \div 10 s$ va katta Elektromagnit va mexanik rejimlar bir vaqtda ko'riladi, chunki generator, turbina, motorlarning aylanish tezliklarining o'zgarishi sezilarli darajada ta'sir etadi.

1.6-rasm. O'tkinchi jarayonlar kechish vaqti bo'yicha turlarga ajratilishi.

Sistema bir boshlang'ich turg'un rejimdan ikkinchi rejimga o'tganda uning elektr yoki elektromexanik zanjirining boshlang'ich (dastlabki) rejimiga bog'liq bo'lgan energiya miqdorini o'zgarishi kuzatiladi.

Masalan, QT larda, ayniqsa uch fazali QT da, barcha energiya shikastlanish joyida sarflanadi va shuning uchun u yerda qurilmalarning mexanik buzilishini, ravshan portlashni yoki shu kabilarni kuzatish mumkin. Bu jarayon juda tez sodir bo'ladi, kuchlanish deyarli zudlik bilan nolgacha kamayadi, lekin boshlang'ich momentda generator va motorlarning aylanish tezliklari ularning inertsionliklari tufayli o'zgarishsiz qoladi. Aylanuvchi mashinalarning vallaridagi momentlar balansi o'zgarishi hisobiga ularning aylanish tezligi sekin asta o'zgaradi. Boshqacha so'z bilan aytganda, agregatlarning elektromagnit va mexanik holatlari o'zgarish tezligi sezilarli farq qiladi.

Yuqorida keltirilgan o'tkinchi jarayonlar bo'linishi shartlidir.

Tayanch so'zlar va iboralar:

Elektr sistema, sistemaning kuch va boshqarish elementlari, **sistema rejimi**, rejim parametrlari, sistema parametrlari, nochiqlik va chiziqli sistema; normal turg'un rejimi, nominal kuchlanish, normal

o'tkinchi rejimi, avariya turg'un va o'tkinchi rejimlari, avariya dan keyingi turg'un rejimi, kichik va katta turtkilar; **o'tkinchi jarayon**, jarayon, jarayon parametrlari; to'liqsimon, elektromagnit, elektromexanik o'tkinchi jarayonlar.

O'z-o'zini sinash savollari:

1. Elektr sistema nima va u qanday elementlardan tashkil topgan?
2. Elektr sistema kuch elementlarini sanab bering.
3. Elektr sistema boshqarish elementlarini sanab bering.
4. Elektr sistema rejim parametrlari, jarayon parametrlari va sistema parametrlari bu nima?
5. Rejim va jarayon tushunchalarni ta'riflab bering.
6. O'tkinchi jarayon nima?
7. Elektr sistema normal turg'un rejimi bu qanday rejim?
8. Elektr sistema normal o'tkinchi rejimi bu qanday rejim?
9. Elektr sistema avariya o'tkinchi rejimi bu qanday rejim?
10. Elektr sistema avariya dan keyingi turg'un rejim bu qanday rejim?
11. Turtki ta'sirlar nima va ular qanday bo'ladi?
12. Nochiziq sistema va nochiziq elementlarni ta'riflang.
13. O'tkinchi jarayonlar qaysi alomatlar bilan farqlanadi?
14. To'liqsimon, elektromagnit va elektromexanik o'tkinchi jarayonlarining kechish vaqtini ayting va ularni qiyosiy taqqoslang.

Mustaqil ish mavzulari:

1. O'tkinchi jarayonlarni klassik va operator usullarda hisoblash, kommutatsiya qonunlari va boshlang'ich shartlar [4]. Referat.

Test savollari:

1. Elektr sistema qanday elementlardan tashkil topgan? ... elementlardan

A) mantiqiy B) kuch va boshqarish

C) kuch D) boshqarish

2. Nimaning elementlari elektr energiyani ishlab chiqarish, o'zgartirish, uzatish hamda iste'mol qilish yagona jarayoni bilan birlashadi?

A) iste'molchi tugunlarning

B) generatorning

C) elektr uzatish liniyaning

D) elektr sistemaning

3. $P = U^2 / R$ – bu yerda sistema va rejim parametrlarini ko'rsating.

A) R – sistema, P , U – rejim

B) R – rejim, P , U – sistema

C) R , P – sistema, U – rejim

D) R , U – sistema, P – rejim

4. Qaysi element elektr sistemaning kuch elementi emas?

A) nimstansiya B) transformator

C) yuklama D) sinxron mashinani qo'zg'atish rostlagichi

5. Qaysi elementlar elektr sistemaning o'zgartiruvchi kuch elementlari deb hisoblanadi?

A) generator, inverter

B) transformator, havo uzatish liniyasi

C) kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi transformatorlar, to'g'irlagich, inverter

D) yuklama, to'g'irlagich

6. Qaysi elementlar elektr sistemaning uzatuvchi kuch elementlari deb hisoblanadi?

A) havo va kabel uzatish liniyalar, tarmoqlar.

B) transformator, havo uzatish liniyasi

C) inverter, tarmoq

D) to'g'irlagich, kabel uzatish liniyasi

7. Sinxron mashinalarni qo'zg'atish va chastota rostlagichlari, relelar, uzgichlar, o'chirgichlar qanday elementlardir? Elektr sistemaning ... elementlari

A) kuch B) taqsimlovchi

C) boshqarish D) uzatuvchi

8. Sistema parametrlari – bu ... aniqlanuvchi ko'rsatkichlar.

A) turli koeffitsientlar bilan miqdor jihatdan

B) sistema elementlarining miqdor jihatdan fizik xususiyatlari, ulanish sxemalari va qator hisobiy farazlar bilan

C) aktiv quvvat bilan miqdor jihatdan

D) reaktiv quvvat bilan miqdor jihatdan

TERMIZ MUHANDISLIK-
TEKNOLOGIYA INSTITUTI
AXBOROT-RESURS MARKAZI
INV. № 9815
• LB • 08 2022 yil

9. Sistema ishlash shartlarini miqdor jihatdan aniqlaydigan va sistema rejimi o'zgaranda o'zgaradigan parametrlar – bu ...

- A) rejim xarakteristikalar
- B) rejim parametrlar
- C) sistema parametrlar
- D) sifat ko'rsatkichlar

10. Sistema rejimining sifat ko'rsatkichini toping.

- A) reaktiv quvvat
- B) quvvatlar oqimlari
- C) aktiv quvvat
- D) tokning sinusoidal shakli

11. Rejim – bu ... sistema holati.

A) turli jarayonlar to'plami bilan aniqlanuvchi va sistema elementlari ulanish sxemalari va parametrlariga bog'liq bo'lgan

B) hisoblash bilan bog'liq ba'zi bir farazlar bilan aniqlanuvchi

C) sistema elementlarining fizikaviy xususiyatlari bilan aniqlanuvchi

D) nominal kuchlanish bilan aniqlanuvchi

12. Elektr sistema rejimi qanday bo'lishi mumkin?

- A) sig'im xarakterli
- B) induktiv xarakterli
- C) turg'un yoki o'tkinchi (noturg'un)
- D) aktiv xarakterli

13. Normal turg'un rejimlar

...

A) uchun elektr sistema loyihalanadi va asosiy texnik - iqtisodiy xarakteristikalar aniqlanadi

B) paytida sistema bir ishchi holatidan boshqasiga o'tadi

C) uchun avariyaning bartaraf etish bilan bog'liq texnik xarakteristikalar aniqlanadi

D) sistemaning biror – bir elementi yoki bir nechta elementi baravar uzilgani tufayli yuzaga keladi

14. Normal o'tkinchi rejimlar...

A) paytida sistema bir ishchi holatidan

boshqasiga o'tadi

B) uchun elektr sistema loyihalanadi va asosiy texnik - iqtisodiy xarakteristikalar aniqlanadi

C) uchun avariyaning bartaraf etish bilan bog'liq texnik xarakteristikalar aniqlanadi

D) sistemaning biror – bir elementi yoki bir nechta elementi baravar uzilgani tufayli yuzaga keladi

15. Elektr sistema rejimlari turlari qanday?

A) avariya turg'un va o'tkinchi

B) avariya so'ng turg'un

C) normal turg'un va o'tkinchi

D) normal turg'un va o'tkinchi, avariya turg'un va o'tkinchi, avariya so'ng turg'un

16. Avariya turg'un va o'tkinchi rejimlar ...

A) paytida sistema bir ishchi holatidan boshqasiga o'tadi

B) uchun avariya bartaraf etish bilan bog'liq texnik xarakteristikalar aniqlanadi

C) uchun elektr sistema loyihalanadi va asosiy texnik-iqtisodiy tasniflar aniqlanadi

D) sistemaning biror – bir elementi yoki bir nechta elementi baravar uzilganda yuzaga keladi

17. Avariya so'ng turg'un rejim ...

A) uchun avariya bartaraf etish bilan bog'liq texnik xarakteristikalar aniqlanadi

B) paytida sistema bir ishchi holatidan boshqasiga o'tadi

C) sistemaning biror – bir elementi yoki bir nechta elementi baravar uzilgan holda sistema normal sxemasidagi o'zgarishlar tufayli yuzaga keladi

D) uchun elektr sistema loyihalanadi va asosiy texnik - iqtisodiy xarakteristikalar aniqlanadi

18. Rejimning keskin o'zgarishi nima tufayli yuzaga keladi?

A) o'rindosh sxema konfiguratsiyasi

B) sistema parametrlari o'zgarishi

C) sistema struktura sxemasi

D) elektr sistema holati

19. Elektr sistemada o'tkinchi jarayon qachon vujudga keladi? Elektr sistemada ... vujudga keluvchi jarayon.

A) tashqi ta'sirlar ostida

B) bir nechta parametrlar o'zgargan paytida

C) ish sharoitlari o'zgarganda

D) xizmat ko'rsatuvchi inson tomonidan uning xohishiga ko'ra

20. Qaysi o'tkinchi jarayon kechish tezligiga (vaqtiga) ko'ra ajratilgan o'tkinchi jarayonlar turiga kirmaydi?

A) avariya B) to'liqsimon

C) elektromexanik D) elektromagnit

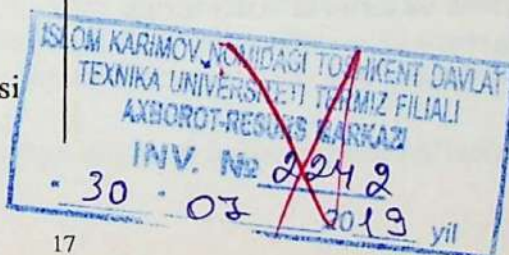
21. O'tkinchi jarayon – bu elektr sistemada ishlash shartlari ...

A) o'zgarishsizda hosil bo'ladigan jarayon

B) o'zgarganda hosil bo'ladigan jarayon, ya'ni uni ikkinchi rejimga ishlash jarayoni

C) o'zgarganda hosil bo'ladigan jarayon, ya'ni uni bir rejimdan ikkinchi rejimga o'tish jarayoni

D) o'zgarganda hosil bo'ladigan jarayon, ya'ni uni dastlabki rejimga ishlash jarayoni



22. Sistemada yuz berayotgan mexanik rejimlarni hisobga olmagan holda o'rganiladigan va $0,00002 - 0,02$ sekund davom etadigan o'tkinchi jarayon bu ...

- A) elektromexanik B) to'liqsimon
- C) avariya dan keyingi D) elektromagnit

23. Qaysi o'tkinchi jarayonga generator, turbina, motorlarning aylanish tezliklarining o'zgarishi sezilarli darajada ta'sir etadi?

- A) elektromagnit
- B) elektromexanik
- C) to'liqsimon D) avariya dan keyingi

24. O'tkinchi jarayonlar qaysi ko'rsatkichlarga ko'ra farqlanadi?

A) vujudga kelish sabablari, turtki ta'sirlar turiga, matematik modeli va jarayonlarning o'tish tezligi bo'yicha

B) differensial tenglamalarni tuzish va yechishda qilinadigan farazlar, ya'ni matematik modeli bo'yicha

C) sistemada bu jarayonlarning o'tish tezligi bo'yicha

D) vujudga kelish sabablari bo'yicha va turtki ta'sirlar turiga ko'ra

25. Barcha elektromagnit o'tkinchi jarayonlardan eng ko'p tarqalgan va eng og'ir kechadigan jarayonlar bu ...

- A) motorli va boshqa agregatlar yoqishi va o'chirilishi
- B) sinxron mashinalarni (SM) nosinxron yoqilishi
- C) mahalliy nosimmetriya natijalari
- D) qisqa tutashuvlar

2-BOB. Elektromagnit o'tkinchi jarayonlar va ularni tadqiq qilishning asosiy qoidalari

2.1. Temir yo'l transporti elektr ta'minoti sistemasida elektromagnit o'tkinchi jarayonlar to'g'risida umumiy ma'lumotlar

Ushbu qo'llanmaning 1.3-bandida aytilganiday **elektromagnit o'tkinchi jarayonlar** [$t_{em} = 2 \cdot (10^{-5} \div 10^{-2})$ s] – sistemada yuz berayotgan mexanik rejimlarni hisobga olmagan holda o'rganiladi. Bunda sinxron generator rotorlarini aylanish tezligi o'zgarmas ($\omega_R = \text{const}$) deb faraz kiritiladi;

Ma'lumki har qanday vaqt momenti uchun elektr sistema, shu jumladan, elektrlashtirilgan temir yo'l transporti elektr ta'minoti sistemasi holati uning rejimi bilan aniqlanadi. Elektr sistema rejimlari amalda o'zgarmas parametrlarga ega bo'lgan turg'un rejim va ishlash shartlari o'zgarganda rejim parametrlari tez o'zgaradigan o'tkinchi (noturg'un) rejimlarga bo'linishi mumkin. 1-bobdan ma'lumki elektr sistemalarda o'tkinchi rejim(jarayon)lar normal (alohida generator, yuklama, havo uzatish liniya va h.k. larni yoqish va o'chirish) faoliyatda yoki avariya (qisqa tutashuv, simlarni uzilishi, faza simlarini yerga tutashishi va h.k.) paytida sodir bo'ladi.

Har qanday o'tkinchi jarayon elektr sistemaning dastlabki elektromagnit holati va elektr mashinalarning aylanish chastotasi buzilishi bilan kuzatiladi, ya'ni umuman o'tkinchi jarayonlar o'zaro bog'langan elektromagnit va mexanik parametrlar o'zgarishi bilan xarakterlanadi. Biroq ma'lum shartlarda o'tkinchi jarayonlarning faqat elektromagnit o'zgarishlarini inobatga olgan holda ko'rish mumkin. Masalan, qisqa tutashuvlar generatorlardan ancha uzoq masofada joylashgan nuqtalarda sodir bo'lsa, o'tkinchi jarayonni faqat elektromagnit jarayon deb ko'rish mumkin.

Demak elektromagnit o'tkinchi jarayonlarda elektr sistema elementlarining elektromagnit holati o'zgaradi. Bu yerda faqat tok va kuchlanishlar o'zgarishi ko'riladi, ya'ni rejimning mexanik parametrlari (masalan, sinxron generator rotorlarini aylanish tezligi) o'zgarmas deb faraz qilinadi. Elektromagnit o'tkinchi jarayon 50 – 150 1/s tezlikda o'tadi [1,3,4,11].

Elektromagnit o'tkinchi jarayon quyidagi hollarda hosil bo'ladi:

- motorli va boshqa agregatlarni yoqish va o‘chirish natijasida;
- qisqa tutashish (QT) va oddiy tutashishlar natijasida;
- mahalliy nosimmetriyada;
- qo‘zg‘atishni tezlashtirish, qo‘zg‘atishni boshqarish, maydonni o‘chirish avtomatlarini ishlash va h.k. natijalarida;
- sinxron mashinalarni (SM) nosinxron yoqilishida.

Barcha elektromagnit o‘tkinchi jarayonlardan eng ko‘p tarqalgan va eng og‘ir kechadigan jarayonlar bu qisqa tutashuvlar bo‘lib, elektromagnit o‘tkinchi jarayonlarning paydo bo‘lishiga asosiy sabab hisoblanadi.

2.2. Qisqa tutashuv turlari, ularni paydo bo‘lish sabablari va oqibatlari

Qisqa tutashuv (QT) – bu fazalari o‘zaro tutashishi yoki neytral simi bo‘lganda bir yoki bir necha fazalarni yerga yoki neytral simga tutashishi tufayli elektr qurilmaning normal ishlashining to‘satdan buzilishidir, bunda zanjir qarshiligi kamayadi, bu esa sistemadagi toklarni keskin oshishiga va kuchlanishlarni pasayishiga olib keladi.

Elektr qurilmalarda QT larni hosil bo‘lishi har xil sabablarga ko‘ra ularning izolyatsiyasi buzilishi tufayli bo‘ladi. Ya‘ni izolyatsiya materiali eskirishi yoki yemirilishi, o‘ta kuchlanishlar tufayli izolyatsiya buzilishi, mexanik shikastlanishlar, izolyatsiyaga sifatsiz qaralishi, tok o‘tkazgich qismlarini hayvon va qushlar qoplab o‘tishi; o‘chirish va yoqishlarni bajarishda personal tomonidan yo‘l qo‘yilgan xatolar va boshqa sabablarga ko‘ra sodir bo‘ladi.

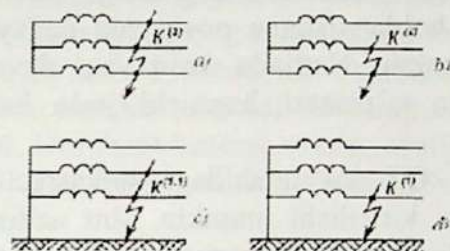
Qisqa tutashuv bo‘lgan joyda **o‘tkinchi qarshilik** hosil bo‘ladi. Bu qarshilik asosan aktiv xarakterga ega bo‘lgan elektr yoyi qarshiligi bilan aniqlanadi. Eng katta toklar **“metallik” qisqa tutashuv** deb nomlanadigan va o‘tkinchi qarshiligi nolga teng deb qabul qilinadigan chegaraviy holda bo‘ladi.

Uch fazali sistemalarda quyidagi **QT turlarini** [3,5,6,12] ajratish mumkin:

Uch fazali qisqa tutashuvlarda ($K^{(3)}$) hamma fazalar bir xil sharoitda bo‘lganligi uchun, u simmetrik. Qolgan qisqa tutashuvlar ($K^{(2)}$, $K^{(1,1)}$, $K^{(1)}$) esa aksincha nosimmetrik hisoblanadi. Ba‘zan shikastlanish rivojlanish jarayonida QT dastlabki turidan boshqa QT

turiga o'tishi mumkin. Masalan, ikki fazali QT tez-tez ikki fazali yerga bo'lgan QT ga o'tadi.

Neytral nuqtasi izolyatsiya qilingan sistemaning bitta fazasi yerga tutashsa, bunday tutashuv **oddiy tutashuv** deb nomlanadi (qisqa tutashuvlarga kirmaydi).



2.1-rasm. Qisqa tutashuvning turlari.

uch fazali QT – $K^{(3)}$ (sodir bo'lish ehtimolligi taxminan 5 foiz);

ikki fazali QT – $K^{(2)}$ (≈ 10 foiz);

ikki fazali yerga QT – $K^{(1,1)}$ (≈ 20 foiz);

bir fazali QT – $K^{(1)}$ (≈ 65 foiz) (2.1-rasm).

Demak, elektr sistemada sodir bo'ladigan eng ko'p QT lar (85 foiz) yerga tutashish bilan bog'liqdir. Uch fazali QT juda kam uchraydi (5 foiz), ammo ushbu QT turida ro'y beradigan jarayonlarni o'rganish birinchi darajali ahamiyatga ega, chunki uch fazali QT lar oqibatlarini elektr sistema uchun eng og'ir bo'ladi. Undan tashqari, eng sodda uch fazali qisqa tutashuv jarayonini o'rganish keyinchalik metodikani boshqa turdagi shikastlanishlarga qo'llashga imkon beradi.

Qisqa tutashuvlar ta'sirida quyidagilarni kuzatish mumkin:

- QT larda qurilma fazalaridagi, ayniqsa QT nuqtasida, toklar normal qiymatlarga nisbatan keskin oshadi, kuchlanishlar esa kamayadi;

- nosimmetrik QT larda kuchlanish va toklarni simmetrikligi buzilishi va shunda elektr uzatish liniyalarning elektr aloqa liniyalarga va boshqa obyektlarga elektromagnit va elektrostatik ta'siri oshadi;

- QT toklarni issiqlik ta'siri izolyatsiyani shikastlanishiga, elektr apparatlarning kontaktlarini erib, yopishib qolishiga olib keladi;

- QT toklarni dinamik harakati mexanik kuchlarni hosil bo'lishiga olib keladi va mashina va apparatlarni konstruksiyalarini shikastlanishiga olib keladi.

Shuni ta'kidlash kerakki, ist'emolchi(yuklama)lar kuchlanish pasayishiga juda sezgir bo'ladi. Yuklamalarni 50 foizini tashkil etuvchi asinxron motorlar kuchlanish kamayganda aylanish tezligini kamaytira boshlashadi, bu esa yuklama toki oshishiga va motor qismlaridagi kuchlanishni yanada kamayishiga olib keladi. Sistemada elektr mashinalarning parallel ishlashi turg'unligi buzilishi xavfi paydo bo'ladi, chunki bu holda sistema nosinxron ishlaydigan parchalarga bo'linib ketishi mumkin. Natijada uzoq vaqt davom etadigan iste'molchilarning elektr ta'minoti buzilishi juda katta moddiy zarar yetkazishi mumkin.

Keng ma'noda QT ko'rinishidagi shikastlanishlar **ko'ndalang nosimmetriya** turiga kiritilishi mumkin, sim uzilishi yoki bitta faza o'chirilishi esa **bo'ylama nosimmetriya** deyiladi [5,6].

2.3. Qisqa tutashuvlarni hisoblashning vazifa va maqsadlari

QTning o'tkinchi jarayonini hisoblash (**vazifasi**) deb, odatda berilgan shartlarda ko'rilayotgan elektr energetik sistema sxemasida tok va kuchlanishlarni hisoblash tushuniladi. Bunday hisoblarni maqsadiga ko'ra tok va kuchlanishlar qiymatlari berilgan vaqt momenti uchun yoki ularni butun o'tkinchi jarayon davomida o'zgarishi aniqlanadi.

Elektr sistemadagi QT toklar va qoldiq kuchlanishlarni **hisoblash (maqsadi) quyidagilarni bajarish uchun talab etiladi:**

- QT shartlari bo'yicha elektr qurilmalarni tekshirish va tanlash;
- releli himoyaning o'ratmalarini tanlash hamda ushbu himoyaning va avtomatikaning mumkin bo'lgan harakatlarini baholash;
- elektr energetik sistema ishining turg'unligini tahlil qilish;
- elektr uzatish liniyalaridan o'tuvchi nolinchi ketma-ketlik toklarning aloqa liniyalarga ta'sirini aniqlash;
- zamin(yer)lovchi qurilmalarni tanlash.

Uch fazali QT lardagi elektromagnit o'tkinchi jarayonlarni hisoblash va tahlil qilish mavjud usullarni ikki guruhga bo'lish mumkin: analitik va amaliy.

Analitik usul asosiga **Park-Gorev tenglamalari** (boshqacha aytganda **to'la tenglamalar** yoki **oniy qiymatlar tenglamalari**) [1] bo'yicha elektromagnit o'tkinchi jarayonlarni tahlil qilish qo'yilgan. Bu usul bitta sinxron generatordan tashkil topgan eng sodda sistemada

to'satdan sodir bo'lgan QT ning vaqtning boshlang'ich mommentidagi tokining qiymatini katta aniqlik bilan topishga imkon beradi.

Bir nechta generatorli sistemaga o'tishda o'tkinchi jarayonni aniq hisoblash masalasi ancha qiyinlashadi. Bunda generatorlarni chayqalishini va ulangan yuklamalarning xatti-harakatini; o'zaro bog'langan har bir generatorda erkin toklarning o'zgarishini hisobga olish zarurati paydo bo'ladi. Qo'zg'atishni avtomatik rostlagichi (QAR) mavjud bo'lsa, masala undan murakkablashadi. Shuning uchun analitik usulni qo'llash cheklangan. Uni faqat boshqa amaliy usullarni baholash uchun etalon (juda aniq o'lchov namunasi) sifatida ko'rish mumkin.

2.4. Qisqa tutashuvlarni hisoblashdagi asosiy farazlar va hisobiy shartlar

Demak, elektr sistema elementlarining haqiqiy ish rejimi parametrlarini va haqiqiy xarakteristikalarini, ya'ni barcha shart va omillarni inobatga olib QT toklarini hisoblash juda murakkab, ko'p mehnat talab qiladigan va faqat zamonaviy kompyuter programmalar yordamida yechiladigan masaladir.

Amalda uchraydigan ko'pgina masalalarni yechish (uskunalarni tanlash, releli himoyaning o'rnatmalarini hisoblash) uchun QT toklarining aniq qiymatlari talab etilmaydi, ya'ni hisoblash operatsiyalarini soddalashtirish va qisqartirish mumkin bo'ladi. Masalan, taqribiy muhandislik hisoblash usullari ishlab chiqilgan.

Quyida QT toklarni hisoblashda katta darajadagi soddalashtirish va qisqartirishlarga erishish uchun qabul qilingan **asosiy hisobiy farazlar** keltirilgan:

- elektr mashina (generator, elektr motor, transformator) larning po'lat o'zaklarida to'yinish mavjud emas deb hisoblanadi, ya'ni barcha sxemalar chiziqli deb olinib, ustma-ustlash usulini qo'llash mumkin bo'ladi;

- transformator va avtotransformatorlarning magnitlash toklari inobatga olinmaydi;

- uch fazali tarmoq simmetriyasini (fazalar qarshiliklari bir-biriga teng) saqlaydi, nosimmetriya faqat QT nuqtasida vujudga keladi deb qabul qilinadi;

- kuchlanishi 220 kV gacha bo'lgan havo va kabel tarmoqlarda sig'im va sig'im toklari inobatga olinmaydi (bo'ylama sig'imi kompensatsiya uskunalari bo'lmaganda);

– kuchlanishi 1000 V dan ortiq bo'lgan tarmoqlarda generator, transformator, reaktorlarning aktiv qarshiliklari hisobga olinmaydi (vaqt doimiysini aniqlashdan tashqari);

– yuklama o'zgarmas induktiv qarshilik yoki o'zgarmas qarshilikli EYUK manba ko'rinishda taqriban hisobga olinadi yoki umuman (yuklama toklari) hisobga olinmaydi;

– hisobiy sxemaga kiruvchi har xil EYUK manbalari orasidagi faza siljishlari hamda sinxron generatorlar, kompensatorlar va elektr motorlar chastotasi o'zgarishi hisobga olinmaydi.

Yuqorida keltirilgan farazlar katta xatoliklarga yo'l qo'ymasdan va hisoblarni ishonchligini kamaytirmasdan, ancha sodda va tejimli hisoblash usullarini qo'llashga imkon beradi.

QT tokini hisoblash maqsadi (apparaturasini tanlash yoki tekshirish, rele himoyalash qurilmalarini hisoblash, elektr uzatish liniyalarini va nimstansiyalarni momaqaldir oqdan himoya qilish uchun razryadsizlantirish qurilmalarini tanlash, avariya uzilishlarini tahlil qilish)ga qarab **boshlang'ich hisobiy shartlar** aniqlanadi.

Bu esa quyidagilarni tanlash demakdir:

- tarmoqning hisobiy sxemasini;
- QT rejimlarini;
- QT turini ($K^{(3)}$, $K^{(2)}$, $K^{(1,1)}$, $K^{(1)}$);
- QT nuqtalarini joylashishini;
- QT vaqtini.

Ko'rilayotgan elektr sistemada qisqa tutashuv toklarini hisoblash uchun hisobiy sxema tuziladi. Tarmoqning **hisobiy sxemasi** soddalashtirilgan bir liniyalı sxema bilan ifodalanib, unda ta'minlash manba (sistema, generator)lar va manbalarni QT nuqtalari bilan bog'lovchi tarmoq elementlari (elektr uzatish liniyalar, transformatorlar, reaktorlar) hamda yuqorida ko'rsatilgan barcha elementlarning QT tokiga ta'sir etadigan parametrlari ko'rsatiladi.

Kuchlanishi 1000 V dan katta bo'lgan elektromotorlar bevosita QT nuqtasi bilan ulangan bo'lsa, yoki kabel liniyasi tok o'tkazgich yoki chiziqli reaktorlar orqali ulangan bo'lsa, hisobiy sxemaga qo'shimcha generator manbai sifatida kiritiladi.

Qo'yilgan masala bo'yicha QT toki nafaqat uning maksimal qiymati, balki QT joyida uning minimal toki, tarmoqning har xil nuqtalarida qoldiq kuchlanishlarni aniqlash kerak bo'ladi. Masalan, elektr qurilmani tanlash uchun QT joyidagi maksimal tok, yani maksimal

rejim hisoblanadi. Tizimli avtomatika va releli himoyani sozlash uchun QT tokining minimal qiymati kerak bo'lib, minimal rejim hisoblanadi. Bunda QT tokining katta yoki kichik qiymatini, shinalardagi katta yoki kichik qoldiq kuchlanishlarni aniqlash uchun hisobiy sxema tadqiq qilinib, unga qanday qo'shimcha elementlar kiritilishi yoki chiqarilishi hal qilinadi. Hisobiy sxema bilan bunday dastlabki ishlash **hisobiy rejimni tanlash** deyiladi.

Agar hisobiy sxema tarmoqning normal ish sharoitlari uchun tuzilgan bo'lsa (ko'pchilik hollarda shunday), unda QT ni hisoblashning boshlang'ich (dastlabki) rejimi **normal rejim** deyiladi.

Qisqa tutashuvning turi, ya'ni $K^{(3)}$, $K^{(2)}$, $K^{(1,1)}$, $K^{(1)}$ hisoblash masalasi bilan aniqlanadi. Masalan, qurilmalarni elektr dinamik va termik (issiqlik) bardoshligiga tekshirish uchun fazali QT bo'yicha olib borilishi lozim. Releli himoyani hisoblashda vaziyatlarga qarab uch fazali, ikki fazali, ikki fazali yerga va bir fazali qisqa tutashuvlarning toklari ishlatilishi mumkin.

Elektr uskunalarni elektr dinamik va termik bardoshlilikiga tekshirishda **QT nuqtalarining joylashishi** shunday bo'lishi kerakki, tekshirilayotgan qurilma eng og'ir sharoitda bo'lishi kerak. Releli himoyaning o'rnatmalarini tanlashda hisoblash maqsadiga qarab, QT nuqtasi himoyalananayotgan uchastkaning boshi yoki oxirida joylashtiriladi.

QT vaqti. QT jarayonida toklar va qoldiq kuchlanishlar qaysi vaqt momenti uchun aniqlanishi kerakligi butunlay hisoblash xarakteriga bog'liq. Masalan, releli himoyasining sezgirligini tekshirishda odatda tok QT ning boshlang'ich momenti uchun hisoblanadi. Bunda QT tokining vaqt davomida kamayishi kiritilgan zaxira koeffitsientlari bilan inobatga olinadi.

2.5. Elektr sistema almashlash sxemasini qurish va uning elementlari parametrlarini hisoblash

Elektr sistema almashlash sxemasi.

Murakkab tenglamalar asosida tadqiq etiluvchi jarayonlarni soddalashtirish va yengillashtirishning vositalaridan biri almashlash (ekvivalent) sxemalarini qo'llashdir. **Elektr sistemaning almashlash sxemasi** uning dastlabki hisobiy sxemasi (2.2-rasm) elementlarining alohida almashlash sxemalari asosida qurildi. Sistema elementlarining almashlash sxemalari kechayotgan original (haqiqiy) energetik jarayonlarni ifodalaydi. Almashlash sxemalari ixtiyoriy vaqt momenti yoki

tadqiq etilayotgan jarayonni xarakterli momentlarini ifodalash uchun quriladi. Sistemaning ekvivalent sxemasi qurilgandan keyin, u n - qutblik deb ko'rilishi mumkin [2].

Simmetrik rejimlarni hisoblashda almashlash sxemani to'g'ri ketma-ketlik uchun tuzish yetarli. Nosimmetrik rejimlarni hisoblashda umumiy holda to'g'ri, teskari va nolinci ketma-ketliklar uchun uchta bir liniyalı almashlash sxemalarni tuzish talab etiladi.

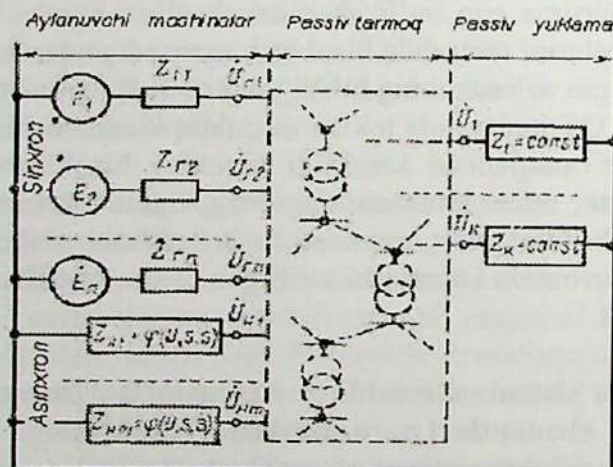
Elektr sistema elementlarining almashlash sxemalari.

Quyida elektr sistemaning asosiy elementlarini ifodalovchi almashlash sxemalari [1] keltirilgan.

Elektr uzatish liniyalari (EUL). O'tkinchi jarayonlarni tadqiq etish mobaynida o'zgaruvchan tok EUL lari T yoki Π - simon almashlash sxemalari [6] bilan ifodalanadi.

300 km gacha bo'lgan uzunlikdagi liniyalarning almashlash sxemalari parametrlari, ya'ni liniyaning bo'ylama to'la kompleks qarshiligi va ko'ndalang to'la kompleks o'tkazuvchanligi mos ravishda

$$\underline{Z}_L = (R_0 + jX_0)\ell \text{ va } \underline{Y}_L = (G_0 + jB_0)\ell$$



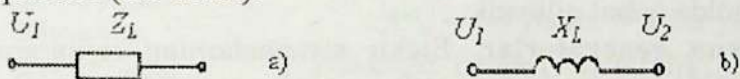
2.2-rasm. Elektrenergetik sistemaning dastlabki hisobiy sxemasi.

ifodalar bo'yicha aniqlanadi. Bu yerda : R_0 - liniyaning solishtirma aktiv qarshiligi, Om/km; X_0 - solishtirma reaktiv qarshiligi, Om/km; B_0 - solishtirma sig'im o'tkazuvchanligi, $1/(\text{Om} \cdot \text{km})$; G_0 - solishtirma aktiv o'tkazuvchanligi, $1/(\text{Om} \cdot \text{km})$.

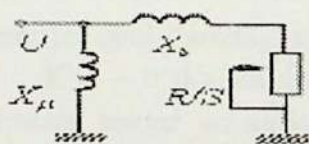
Aktiv o'tkazuvchanlik G_0 aktiv quvvat isrofining ikkita tashkil etuvchilarini xarakterlaydi, ya'ni tojli razryad va izolyatorlar orqali oqib ketuvchi tokka mos keluvchi tashkil etuvchilarini. Kuchlanishi 220 kV gacha bo'lgan EUL larda G_0 hisobga olinmaydi, kuchlanish $U \geq 330$ kV bo'lganda esa ushbu isroflar (G_0) hisobga olinishi shart. EUL ning uzunligi 300–1000 km dan ortganda kompleks to'g'rilash koeffitsientlarini inobatga olish lozim.

O'ta yuqori kuchlanishli (220 kV va undan yuqori) EUL lar uchun qarshilikning faqat reaktiv tashkil etuvchisi X_0 hisobga olinishi mumkin, chunki bunda $R_0 \ll X_0$. Agar EULdan uzatilayotgan quvvat kichik yoki kabel liniyasi ko'rilayotgan bo'lsa, ushbu holda albatta aktiv qarshilik R_0 ham hisobga olinishi shart.

Shunday qilib, o'tkinchi jarayonlarni hisoblashda EUL ning to'la $\underline{Z}_L$ yoki reaktiv qarshiligi X_0 inobatga olinib, uning almashlash sxemasi quriladi (2.3-rasm).



2.3-rasm. Elektr uzatish liniyaning almashlash sxemalari.



2.4-rasm. Asinxron motorning Γ -simon almashlash sxemasi, bu yerda: X_s – rotor va stator chulg'amlarining sochilma induktiv qarshiligi; X_{μ} – magnitlovchi zanjirining induktiv qarshiligi; R – rotor chulg'amining keltirilgan aktiv qarshiligi; S – sirpanish:

Asinxron motorlar. Asinxron motorlar Γ – simon almashlash sxemasi (2.4-rasm) bilan ifodalanadi. Sirpanish:

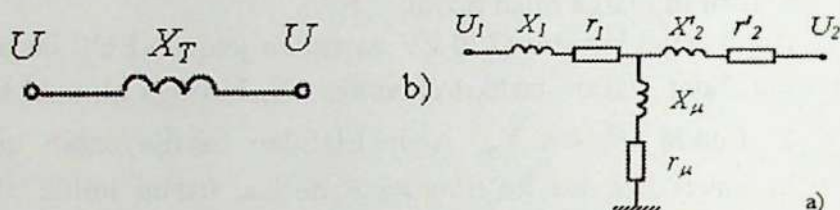
$$S = \frac{\omega_0 - \omega_r}{\omega_0} \quad (2.5)$$

bunda ω_0 – stator maydonining aylanish tezligi; ω_r – rotorning aylanish tezligi. Ushbu almashlash sxemasida statorning aktiv qarshiligi tashqi zanjirga tegishli deyilib, hisobga olinmaydi, ya'ni statordagi isrof hisobga olinmaydi.

Transformatorlar. Transformatorlar T – yoki Γ -simon almashlash sxemalari bilan tasvirlanishi mumkin. Masalan, ikki chulg'amli transformatorning T – simon almashlash sxemasini

masi 2.5,a-rasmda keltirilgan. Bunda X_1 , X'_2 – birlamchi va keltirilgan ikkilamchi chulgʻamlarining sochma induktiv qarshiliklari; r_1 , r'_2 – shu chulgʻamlarning aktiv qarshiliklari; X_μ , r_μ – magnitlovchi zanjirning induktiv va aktiv qarshiliklari.

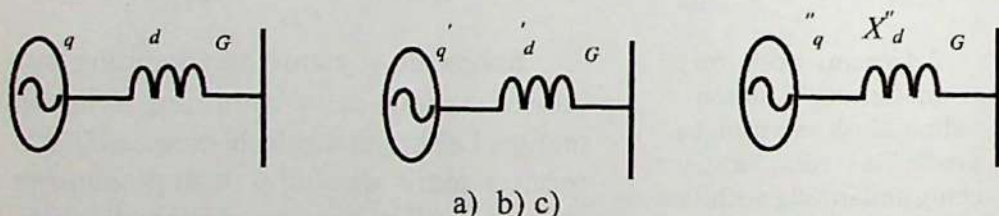
Koʻpgina hollarda transformatorning almashlash sxemasida qarshilikning aktiv tashkil etuvchisi hisobga olinmaydi. Eng sodda almashlash sxemasi 2.5,b-rasmda keltirilgan.



2.5-rasm. Transformatorning almashlash sxemalari.

Umuman olganda, transformator va avtotransformatorlarning u yoki bu almashlash sxemasini qabul qilish hisoblash maqsadidan kelib chiqqan holda qabul qilinadi.

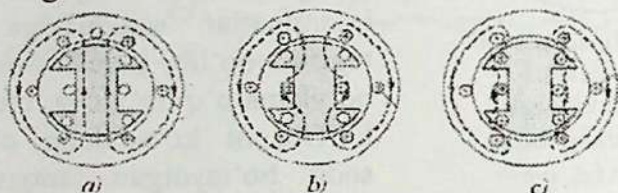
Sinxron generatorlar. Elektr sistemalarning rejimlarini tahlil etish paytida generatorlar imkon qadar eng sodda almashlash sxemalari bilan ifodalanilishlari kerak. Turgʻun, oʻtkinchi va oʻta oʻtkinchi rejimlar uchun generatorning almashlash sxemalari mos ravishda 2.6,a,b,c-rasmlarda keltirilgan.



2.6-rasm. Sinxron generatorning almashlash sxemalari.

qo'llaniladi. Lekin ayon qutbli generatorlarda (gidrogenerator) sxema murakkablashadi.

Bo'ylama o'q bo'yicha (2.6) formuladagi qarshiliklarning fizik ma'nosi hamda elektr sistema elementlarining boshqa almashlash sxemalari [1, 6] adabiyotlarda hamda 2.1-jadvalda keltirilgan. Ushbu jadvalda elektr sistema elementlari uchun beriladigan dastlabki ma'lumotlar va ular bo'yicha elementlarning qarshiliklarini hisoblash formulalari berilgan.



2.8-rasm. Sinxron generatorning magnit oqimi bo'ylama o'q bo'yicha yo'nalishi: **a)** turg'un rejimda; **b)** o'tkinchi rejimda; **c)** o'tao'tkinchi rejimda (dempfer chulg'ami ishga tushganda).

Odatda uch fazali QT boshlang'ich momentini hisoblashda ko'ri-
layotgan elektr sistema uchun chiziqli bir fazali zanjir ko'rinishidagi
almashlash sxemasi tuziladi. Bu sxemaga generatorlar, katta sinxron
mashinalar, kompensatorlar va juda katta quvvatli tugunlardagi umum-
lashgan yuklamalar o'zlarining o'tao'tkinchi EYUK va qarshiliklari
(QT ($t=0$) vaqtidagi parametrlar) bilan kiritiladi.

Jumladan **generatorning o'tao'tkinchi EYUKsi:**

$$E' = \sqrt{(I_0 x_d'' \cos \varphi_0)^2 + (U_0 \pm I_0 x_d'' \sin \varphi_0)^2},$$

bu yerda U_0 va I_0 – QT dan oldingi bo'lgan rejimda faza
kuchlanish va toklari;

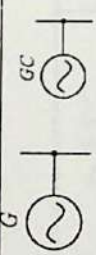
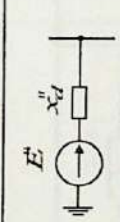
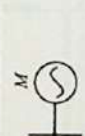
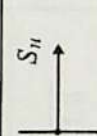
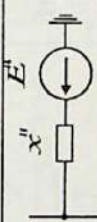
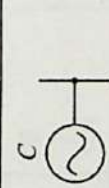
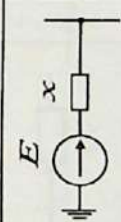
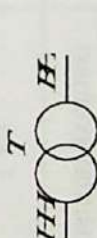
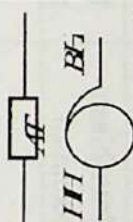
φ_0 – xuddi usha rejimda tok va kuchlanish vektorlari orasidagi
burchak;

X_d'' – bo'ylama o'q bo'yicha **generatorning o'ta o'tkinchi
induktiv qarshiligi.**

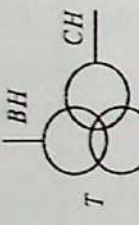
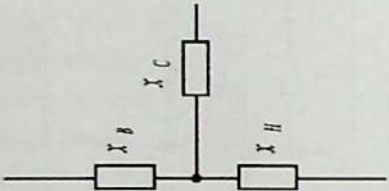
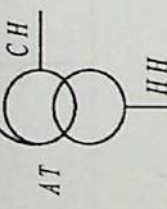
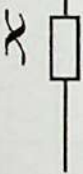
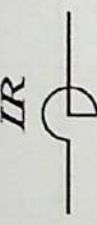
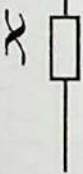
Oxirgi formulaning o'ng tomonida “plyus” ishorasi reaktiv
quvvatni beruvchi elektr mashina (sinxron generator, o'ta qo'zg'atilgan
sinxron dvigatel yoki kompensator) lar “minus” ishorasi esa reaktiv
quvvatni qabul qiluvchi elektr mashina (to'la qo'zg'atilmagan sinxron
dvigatel yoki kompensator, asinxron dvigatel) lar uchun ishlatiladi.

2.1-jadval

Elektr sistema elementlarining almashlash sxemalari va ularning qarshiliklarini aniqlash uchun hisobiy ifodalar.

Element nomlanishi	Prinsipial sxemasi	Almashlash sxemasi	Dastlabki parametri	Element qarshiligi (Om)
Generator Sinxron kompensator			$U_{nom} \text{ (kV)};$ $S_{nom} \text{ (MVA)};$ $x_{*d}''(nom)$	$x = x_d'' = x_{*d}''(nom) \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}$
Asinxron motor			$R_{nom} \text{ (MVt)};$ $\cos \varphi_{nom};$ $U_{nom} \text{ (kV)};$ $K_P; \eta \text{ (%)}$	$x = x^* = x_{*}^*(nom) \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}; \quad x_{*}^*(nom) = \frac{1}{K_P};$ $S_{nom} = \frac{P_{nom}}{\cos \varphi_{nom} \cdot \eta / 100}$
Ekvivalent yuklama			$U_{nom} \text{ (kV)};$ $S_{nom} \text{ (MVA)}.$	$x = x^* = 0,35 \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}$
Ekvivalent manba (sistema)			$U_{nom} \text{ (kV)};$ $S_{QT} \text{ (MVA)}$	$x = \frac{U_{nom}^2}{S_{QT}}$
			$S_{nom} \text{ (MVA)};$ $x_{*}(nom).$	$x = x_{*}(nom) \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}$
Ikki chulg'amli transformator Aviotransfor- motor			$U_{nomVN} \text{ (kV)};$ $U_{nomNN} \text{ (kV)};$ $S_{nom} \text{ (MVA)};$ $u_k \text{ (%)}.$	$x = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}$

2.1-jadval davomi

Element nomlanishi	Prinsipial sxemasi	Almashlash sxemasi	Dastlabki parametri	Element qarshiligi (Om)
Uch chulg'amlı transformator or			U_{nomVN} (kV); U_{nomSN} (kV); U_{nomNN} (kV); S_{nom} (MVA); $u_{KV-S}(\%)$ $u_{KV-N}(\%)$ $u_{KS-N}(\%)$	$x_V = \frac{0,5(u_{KV-S} + u_{KV-N} - u_{KS-N})}{100} \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}$ $x_S = \frac{0,5(u_{KV-S} + u_{KS-N} - u_{KV-N})}{100} \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}$ $x_N = \frac{0,5(u_{KV-N} + u_{KS-N} - u_{KV-S})}{100} \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}$ Indeks-larda: V (verxniy) – yuqori, S (sredniy) – o'rta va N (nijniy) – past kuchlanishli chulg'amlarni bildiradi
Avtotransf or-motor			x_{nom} (Om).	$x = x_{nom}$
Reaktor				

Ikkilangan reaktor			x_{nom} (Om); k	$x_1 = -k \cdot x_{nom}$ $x_2 = x_3 = (1+k) \cdot x_{nom}$
Elektr uzatish havo liniyasi			x_0 (Om/km); l (km)	$x = x_0 \cdot l$
Elektr uzatish kabel liniyasi			x_0 (Om/km); R_0 (Om/km); l (km)	$x = x_0 \cdot l$ $R = R_0 \cdot l$

Umumlashgan yuklama odatda taqriban hisobga olinib, boshlang'ich moment uchun: $X'' = 0,35$; $E'' = 0,85$. Bu kattaliklar yuklamaning to'la ishchi quvvatiga (MVA) va u ulab qo'yilgan pog'onadagi o'rta nominal kuchlanishga (kV) keltirib, nisbiy birliklarda berilgandir.

2.6. Qisqa tutashuv zanjirining elementlari parametrlarini bazis shartlariga keltirish

QT toklarni hisoblash uchun ekvivalent almashlash sxemalar hisobiy sxemasi bo'yicha tuziladi. Bunda hisobiy sxemaning alohida elementlari o'zlarining almashlash sxemalari (2.1-jadval) bilan almashtiriladi va hisobiy sxemada ulangan ketma-ketlikda ulanadi, ularning elektr qarshiliklari hamda manbalar uchun EYUK qiymatlari ko'rsatiladi.

Qarshiliklar kasr ko'rinishida yoziladi:

$$\frac{2}{0,38} \quad \begin{array}{l} \leftarrow \text{element tartib raqami} \\ \leftarrow \text{qarshilik qiymati} \end{array}$$

Elektr uzatish liniyaning to'la qarshiligi $Z = \sqrt{r^2 + x^2}$ sxemada r ; x ko'rinishida yoziladi.

Magnit bog'langan zanjirli elementlar – transformatorlar – o'zining ekvivalent elektrik qarshiliklari bilan kiritiladi. Ko'p hollarda tarmoq sxemasi

bir yoki bir necha transformatsiya pog'onasidan iborat.

Ekvivalent almashlash sxemasini qurish uchun transformatsiyaning asosiy (bazis) pog'onasi tanlanadi va qolgan pog'onalardagi elektr parametrlarining qiymatlari asosiy pog'ona kuchlanishiga keltiriladi. Bunda parametrlarning haqiqiy qiymatlari keltirilayotgan pog'ona va tanlangan asosiy pog'ona orasida nechta transformator bo'lsa, shuncha marta qayta hisoblanadi.

Umuman almashlash sxema elementlarining parametrlari quyidagi yo'llar bilan aniqlanishi mumkin:

1) hisobiy sxema parametrlarini **nomli birliklarda** tarmoq kuchlanishining tanlangan asosiy (bazis) pog'onasiga barcha kuchli transformator va avtotransformatorlarning haqiqiy transformatsiya koeffitsientlarini inobatga olgan holda **aniq keltirish**;

2) hisobiy sxema parametrlarini **nomli birliklarda** tarmoq kuchlanishining tanlangan asosiy (bazis) pog'onasiga barcha kuchli transformator va avtotransformatorlarning taqribiy transformatsiya koeffitsientlarini inobatga olgan holda **taqribiy keltirish**;

3) hisobiy sxema parametrlarini **nisbiy birliklarda** tarmoq kuchlanishining tanlangan asosiy (bazis) pog'onasiga barcha kuchli transformator va avtotransformatorlarning haqiqiy transformatsiya koeffitsientlarini inobatga olgan holda **aniq keltirish**;

4) hisobiy sxema parametrlarini **nisbiy birliklarda** tarmoq kuchlanishining tanlangan asosiy (bazis) pog'onasiga barcha kuchli transformator va avtotransformatorlarning taqribiy transformatsiya koeffitsientlarini inobatga olgan holda **taqribiy keltirish**.

2.6.1. Nomli birliklar sistemasi

EYUK, kuchlanish va toklarning effektiv qiymatlarini **nomli** (absolyut, ya'ni A, V, Om birliklarga ega bo'lgan) **birliklarda bazis pog'ona kuchlanishiga aniq keltirish** (1-yo'l) uchun quyidagi ifodalar qo'llaniladi:

$$\dot{E} = \dot{E} \cdot (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n); \quad \dot{U} = \dot{U} \cdot (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n) \quad (2.10)$$

$$\dot{I} = \dot{I} / (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n) \quad (2.11)$$

Om qonuni va (2.10), (2.11) asosida reaktiv qarshiliklar keltiriladi:

$$\dot{X} = X \cdot (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)^2, \quad (2.12)$$

bu yerda $E, U, I, X (Z, R)$ – bir qanday elementning elektr energiya EYUK, kuchlanish (kV), tok (A), reaktiv (shunga o'xshash to'la va aktiv) qarshilik (Om) larining haqiqiy qiymatlari;

$k_1, k_2, \dots, k_n$ – E va X berilgan kuchlanish pog'onasi va tarmoqning asosiy (bazis) pog'onasi orasida ketma-ket ulangan transformatorlarning transformatsiya koeffitsientlari. Ushbu har bir **koeffitsient asosiy pog'onadan boshlab, ko'rilayotgan pog'ona tomoniga qarab aniqlanishi shart**;

«°» – ushbu belgi qiymat kuchlanishning asosiy (QT sodir bolgan) pog'onasiga va bazis shartlariga keltirilganligini bildiradi.

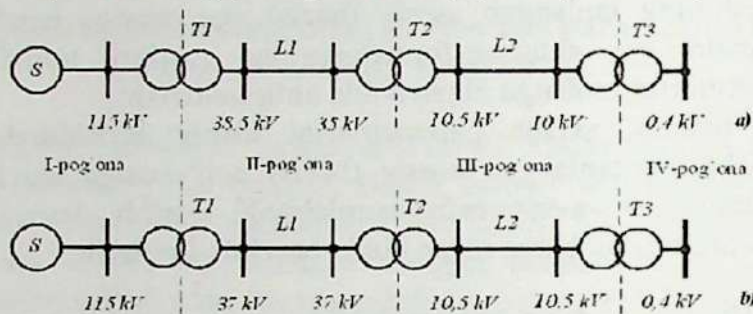
Misol. 2.9-rasmda berilgan elektr sistemaning 0,4 kV li kuchlanish pog'onasi uchun hisoblangan T3 transformatorning qarshiligi (Om)

$X_{T3} = X$ berilgan. Bazis pog'onasi sifatida sistema shinalaridagi 115

kV li kuchlanish qabul qilingan. Kuchlanishning bazis pog'onasiga keltirilgan T3 transformatorning qarshiligini aniqlang.

Yechilishi. T_1 , T_2 , T_3 transformatorlarning transformatsiya koeffitsientlari mos ravishda quyidagilarga teng:

$$k_1 = 115/38,5; \quad k_2 = 35/10,5; \quad k_3 = 10/0,4.$$



2.9-rasm.

Bu yerdan 2.12-formula asosida kuchlanishning bazis pog'onasi (115 kV) ga keltirilgan T3 transformatorning qarshiligi:

$$\dot{X} = X \left(\frac{10}{0,4} \cdot \frac{35}{10,5} \cdot \frac{115}{38,5} \right)^2$$

Taqribiy amaliy hisoblar (2-yo'l) uchun haqiqiy transformatsiya koeffitsientlarini hamda almashlash sxema elementlarining nominal kuchlanishlarini quyidagi **o'rtacha nominal kuchlanishlar shkalasi** bo'yicha almashtirish tavsiya etiladi (kV) [5,9,10,11,12]:

$$\begin{matrix} 515; & 340; & 230; & 154; & 115; & 37; & 24; & 20; & 18; & 15,75; \\ 13,8 & 10,5; & 6,3; & 3,15; & 0,69; & 0,525; & 0,4; & 0,23; & 0,127 \end{matrix} \quad (2.13)$$

Nominal kuchlanishlar o'rtacha qiymatlar bilan almashtirilgandan keyin, qiymatlarni **asosiy pog'onaga (taqribiy) keltirish** ancha soddalashtiriladi hamda hisoblash (2.10)–(2.12)-formulalari quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\dot{E} = \dot{E} \frac{U_{o'r,b}}{U_{o'r}}; \quad \dot{U} = \dot{U} \frac{U_{o'r,b}}{U_{o'r}}; \quad (2.14)$$

$$\dot{I} = I \frac{U_{o'r}}{U_{o'r,b}}; \quad (2.15)$$

$$\dot{X} = X \left(\frac{U_{o'r,b}}{U_{o'r}} \right)^2. \quad (2.16)$$

2.10–2.12-ifodalarda oraliq pog'onalardagi transformatsiya koeffitsientlari qisqarib ketadi va 2.14–2.16-formulalarda faqat asosiy (baza) pog'ona o'rtacha kuchlanishining ko'rilayotgan pog'ona o'rtacha kuchlanishiga nisbati qoladi.

Misol. Oldingi misolni taqribiy usul bilan yeching.

Yechilishi. 2.9,a-rasmdagi sistema shinalardagi kuchlanishlarni (2.13) shkala bo'yicha almashtirib, 2.9,b-rasmdagi sxemaga kelimiz va 2.16-formuladan foydalanib, qarshilikning taqriban keltirilgan qiymatini topamiz: $X_{T3} = X(115/0,4)^2$.

2.6.2. Nisbiy birliklar sistemasi

Ma'lumki, pasport va kataloglarda elektr mashina va transformatorlarning qarshiliklari nisbiy birliklarda beriladi. Shuning uchun, quyida keltirilgan qator afzalliklar tufayli QT toklarni hisoblash ko'p hollarda nisbiy birliklarda bajarilishi.

Qandaydir kattalikni nisbiy qiymati yoki **nisbiy kattaligi** deb, ushbu kattalikni u bilan bir xil birlikka ega bo'lgan va o'lcham birligi qilib qabul qilingan (baza deb nomlanadigan) boshqa kattalikka nisbatini tushunish lozim. Demak, **nisbiy birliklarda hisoblashda** barcha qiymatlar asosiy yoki baza qiymatlar bilan solishtiriladi. Qiymatlarni nisbiy ko'rinishda (o'lchamsiz) ifodalash sxemaning birorta qismi yoki alohida elementini hisoblash natijasiga ta'sirini baholash uchun qulaydir.

Nisbiy birlikning asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat:

- sistemaning har xil nuqtalari uchun hisoblangan natijalarni tez solishtirishga imkoniyat bo'ladi;

- hisoblash qiymatlari birga yaqin bo'lgan kattaliklar bilan olib boriladi va xatolik ehtimoli kamayadi, chunki birdan katta chetga og'ishlar darhol mumkin bo'lgan xatolikni bildiradi;

- bir o'lchov sistemasidan boshqa o'lchov sistemasiga o'tishga ehtiyoj qolmaydi (masalan, qo'zg'atish kuchlanishi va generator kuchlanishi nisbiy birlikda miqdor bo'yicha yaqin bo'lib, shu vaqtning o'zida ular nafaqat son, balki xususiyatlari – o'zgarma va o'zgaruvchan kuchlanishligi bilan ham farq qiladi);

- induktiv qarshiliklar ekvivalent sxemalari, oqimlar va o'zinduksiya ekvivalent sxemalari turg'un va o'tkinchi holatlarda chastota o'zgarishi mumkin bo'lganda bir xil;

– oniy va amplituda qiymatlari bir xil son bilan ifodalanadi, shuning uchun oniy va amplituda qiymatlarini maxsus belgilashga ehtiyoj yo‘qoladi; agar tok, kuchlanish, quvvat va qarshilik ko‘ri-
layotgan bo‘lsa, nisbiy birliklar sistemasida ulardan ikkitasi tanlanadi, qolgani esa ular yordamida topiladi.

Tayanch bazis qiymatlarni shunday tanlash kerakki hisoblash ishlari mumkin qadar soddaroq bo‘lishi kerak, ya’ni bazis quvvatni 10 ga karrali son, bazis kuchlanishni esa nominal kuchlanishga teng bilan ifodalash lozim. Nisbiy birliklarda hisoblash uchun avval bazis qiymatlar yoki shartlar tanlanadi: quvvat S_b , kuchlanish U_b , tok I_b va qarshilik X_b , Z_b . Odatda ikkita qiymat – S_b va U_b berilib, I_b va Z_b qiymatlar quvvat tenglamasi va Om qonunidan olinadi:

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} U_b}; \quad Z_b = \frac{U_b}{\sqrt{3} I_b}; \quad X_b = \frac{U_b}{\sqrt{3} I_b}. \quad (2.22)$$

Odatda **baza kuchlanishi** sifatida birorta transformator pog‘onasidagi nominal kuchlanish U_{nom} yoki bazis pog‘onasining o‘rtacha hisobiy kuchlanish U_{or} qabul qilinadi. **Bazaviy quvvat** tanlashda hisoblash natijasida olingan nisbiy qiymatlarning darajasi qulay bo‘lishiga qaraladi. Ko‘p hollarda 100 MVA yoki 1000 MVA qabul qilinadi, agarda birorta qandaydir elementning nominal quvvati bir necha marotaba qaytarilsa, shu quvvat bazaviy sifatida olinadi.

Nisbiy qiymatlar quyidagicha ifodalanadi:

$$I_{*(b)} = \frac{I}{I_b}; \quad (2.23)$$

$$E_{*(b)} = \frac{E}{U_b}; \quad U_{*(b)} = \frac{U}{U_b}; \quad (2.24)$$

$$Z_{*(b)} = \frac{Z}{Z_b}; \quad X_{*(b)} = \frac{X}{Z_b}; \quad R_{*(b)} = \frac{R}{Z_b}, \quad (2.25)$$

bu yerda indeksdagi (*) – nisbiy birlikni; (b) – qiymat bazaviy shartlarga keltirilganligini bildiradi.

Odatda (2.25) formulaga Z_b va X_b lar kiritilmaydi va kuchlanish, tok yoki quvvat orqali ifodalanadi:

$$Z_{(b)} = Z \frac{\sqrt{3}I_b}{U_b} = Z \frac{S_b}{U_b^2}; \quad X_{(b)} = X \frac{\sqrt{3}I_b}{U_b} = X \frac{S_b}{U_b^2} = X_k \frac{S_b}{S_k} \quad (2.26)$$

Nisbiy bazaviy qarshilik undan bazaviy tok o'tganda sxemaga berilgan bazaviy kuchlanishning qanday qismi unda tushishini ko'rsatadi. Nisbiy qiymatni qabul qilingan bazaviy qiymatning ham bo'lagi, ham foizi bilan ifodalash mumkin, masalan $x\% = 100x$.

QTT larni nisbiy birliklarda hisoblashda ekvivalent almashlash sxemaning barcha qarshilik va EYUK lari bazaviy shartlarga keltiriladi. Asosiy bazaviy pog'ona uchun bu (2.23), (2.24) va (2.26) lar bo'yicha bajariladi. Bazaviy va qolgan transformatsiya pog'onalar uchun keltirish formulalar 2.2-jadvalda keltirilgan.

Qolgan transformatsiya pog'onalar uchun o'zining bazis shartlari o'rnatiladi. Bu asosiy transformatsiya pog'onasining bazaviy qiymatlarini qaytadan hisoblash yo'li bilan bajariladi. Faqat bazaviy quvvat boshqatdan hisoblanmaydi – u barcha pog'onalar uchun bir xil bo'ladi.

Agar hisoblash nomli birliklarda bajarilsa, sxema parametrlari esa nisbiy nominal birliklarda berilgan bo'lsa, unda qayta hisobni bajarish lozim bo'ladi.

Qarshiliklar uchun (2.22) bo'yicha bajariladi, bunda bazaviy qiymatlarni nominal qiymatlar bilan almashtirish lozim.

$$X_{(b)} = X_{(nom)} \cdot \frac{U_{nom}}{\sqrt{3}I_{nom}} = X_{(nom)} \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} \quad (2.27)$$

Ekvivalent almashlash sxemada EYUK va qarshiliklar asosiy (bazaviy) pog'onaga keltirilgandan so'ng, almashlash sxemasi sodalashtiriladi va QT nuqtasi tomoniga qisqartiriladi (yig'ishtiriladi).

2.1- va 2.2-jadvallardagi ifodalarni inobatga olgan holda, sxema elementlari (**generator, sistema, transformator, liniya va reaktor**)ning **nisbiy qarshiliklari** mos ravishda quyidagicha aniqlanadi:

$$X_{\bullet G} = X_d'' \cdot \frac{S_b}{S_{nomG}}, \quad X_{\bullet S} = \frac{S_b}{S_{kS}}, \quad X_{\bullet T} = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nomT}},$$

$$X_{\bullet L} = X_{sol} \cdot \ell \cdot \frac{S_b}{U_{or}^2}, \quad X_{\bullet R} = \frac{X_{nomR\%}}{100} \cdot \frac{S_b}{\sqrt{3}U_{nomR}I_{nomR}} \quad (2.28)$$

bunda maxrajda mos ravishda generator va transformatorning nominal quvvatlari hamda, (2.13)-shkaladan foydalanib, liniya joylashgan pog'onasining o'rtacha kuchlanishi olinadi.

2.2-jadval

U, I va X larni nisbiy bazaviy qiymatlarga qayta hisoblash

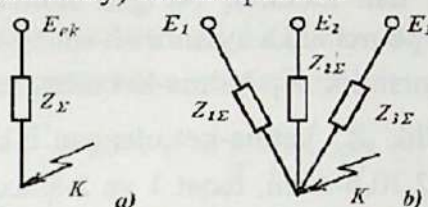
Qayta hisoblash xarakteri	Keltiriladigan qiymat	Hisobiy ifodalar	
		Transformatsiyaning asosiy pog'onasi	Transformatsiyaning boshqa pog'onalari
Nomli qiymatlardan nisbiy bazaviy qiymatlarga o'tkazish	$U_{(b)}$	$\frac{U}{U_b}$	$\frac{U}{U_b}$ yoki $\frac{\dot{U}}{U_b}$
	$I_{(b)}$	$\frac{I}{I_b}$	$\frac{I}{I_b}$ yoki $\frac{\dot{I}}{I_b}$
	$X_{(b)}$	$X \frac{S_b}{U_b^2}$	$X \frac{S_b}{U_b^2}$ yoki $X \frac{\dot{S}_b}{U_b^2}$
Nisbiy nominal qiymatlardan nisbiy bazaviy qiymatlarga o'tkazish	$X_{(b)}$	$X_{(nom)} \frac{I_b U_{nom}}{I_{nom} U_b}$	$X_{(nom)} \frac{\dot{I}_b U_{nom}}{I_{nom} \dot{U}_b}$
		$X_{(nom)} \frac{I_b}{I_{nom}}$	$X_{(nom)} \frac{\dot{I}_b}{I_{nom}}$
		$X_{(nom)} \frac{S_b U_{nom}^2}{S_{nom} U_b^2}$	$X_{(nom)} \frac{S_b U_{nom}^2}{S_{nom} U_b^2}$
		$X_{(nom)} \frac{S_b}{S_{nom}}$	$X_{(nom)} \frac{S_b}{S_{nom}}$

2.7. Elektr sistema almashlash sxemasini ekvivalent o'zgartirib, eng sodda ko'rinishga keltirish

Ekvivalent almashlash sxemada EYUK va qarshiliklar bazaviy pog'onaga keltirilgandan so'ng, almashlash sxemasi ekvivalent o'zgartirishlarni bajarib, soddalashtiriladi va QT nuqtasi tomoniga qisqartiriladi (yig'ishtiriladi). EYUK berilgan nuqtalar birlashadi va sxemaning EYUK si ekvivalent E_{ek} bilan almashtiriladi, sxema qarshiliklari ketma-ket parallel qo'shilib, uchburchakdan yulduzga yoki

aksincha aylantirilib, summaviy yoki natijaviy qarshilik (Z_Σ yoki X_Σ) ka keltiriladi (2.10-rasm). Eng sodda almashlash sxema ketma-ket ulangan natijaviy qarshilik va EYUK dan iborat.

Om qonuniga va QT turiga qarab, qo'shimcha shartlar asosida QT nuqtasida natijaviy (umumiy) tok aniqlanadi.



2.10-rasm. Almashlash sxemani a) bitta yoki b) bir-necha natijaviy shaxobcha (radial sxema)ga keltirib soddalashtirish.

Boshqa shaxobchalardagi toklarni aniqlash uchun sxemani teskari tomonga ochib hisoblash kerak. Toklar faqat asosiy transformatsiya pog'onasida haqiqiy qiymatga ega. Qolgan pog'onalaridagi toklarni hisoblash uchun (2.14)-formuladan foydalanish zarur.

Ekvivalent o'zgartirishlar

Uchta qarshilik ketma-ket ulanganda ekvivalent o'zgartirish (2.11,a-rasm):

$$X_{ek} = X_1 + X_2 + X_3. \quad (2.29)$$

Uchta (ikkita) qarshilik parallel ulanganda ekvivalent o'zgartirish (2.11,b-rasm):

$$X_{ek} = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3}} = \frac{X_1 X_2 X_3}{X_2 X_3 + X_1 X_3 + X_1 X_2}; \quad X_{ek} = \frac{X_1 X_2}{X_2 + X_1}. \quad (2.30)$$

Uchburchak ulanishdan ekvivalent yulduzchaga o'tishda o'zgartirish (2.11,c-rasm):

$$X_1 = \frac{X_{12} X_{31}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}; \quad X_2 = \frac{X_{23} X_{12}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}; \quad X_3 = \frac{X_{31} X_{23}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}. \quad (2.31)$$

Yulduzcha ulanishdan ekvivalent uchburchakka o'tishda o'zgartirish:

$$X_{12} = X_1 + X_2 + \frac{X_1 X_2}{X_3}; \quad X_{23} = X_2 + X_3 + \frac{X_2 X_3}{X_1}; \quad X_{31} = X_3 + X_1 + \frac{X_3 X_1}{X_2}. \quad (2.32)$$

Ko'p nurli yulduzchani to'la ko'pburchakka o'zgartirish ($n=4$ holda, 2.11,d-rasm):

$$X_{12} = X_1 \cdot X_2 \cdot \sum Y; \quad X_{23} = X_2 \cdot X_3 \cdot \sum Y; \quad \dots \quad (2.33)$$

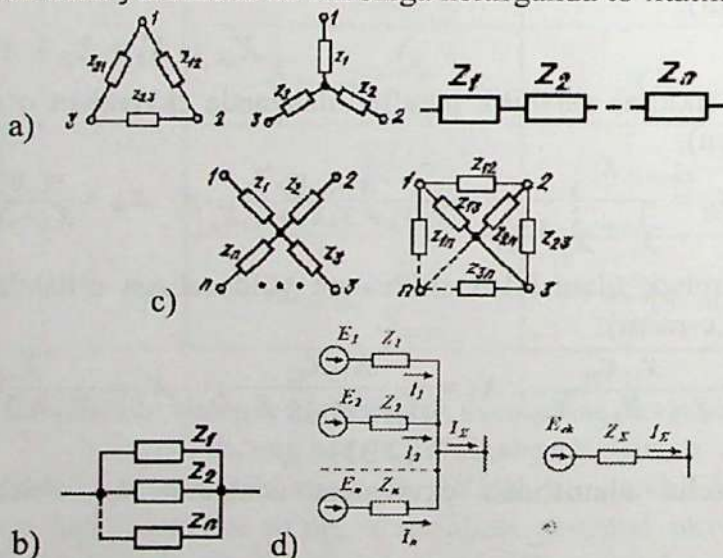
$$X_{24} = X_2 \cdot X_4 \cdot \sum Y \quad \text{bunda} \quad \sum Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4$$

Nurlar soni n dan kattaroq bo'lgan hollarda ham ko'p nurli yulduzchani to'la ko'pburchakka aylantirish shunga o'xshash bajariladi.

EYUK E_1 va qarshilik Z_1 ketma-ket ulangan birinchi shaxobcha EYUK E_2 va qarshilik Z_2 ketma-ket ulangan ikkinchi shaxobcha bilan parallel ulansa, (2.10,b-rasm, faqat 1 va 2-shaxobchalar bo'lganda) ularni eng sodda almashlash sxemaga keltirish uchun ularning qarshiliklari parallel deb olinadi, ekvivalent EYUK si esa quyidagi formuladan topiladi:

$$E_{ek} = \frac{E_1 Y_1 + E_2 Y_2}{Y_1 + Y_2}; \quad Y_1 = \frac{1}{Z_1}; \quad Y_2 = \frac{1}{Z_2}; \quad Z_{\Sigma} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}. \quad (2.34)$$

Qator hollarda almashlash sxemadagi o'zgarishlarni 2.12-rasmda ko'rsatilgan, ya'ni X_1 va X_2 qarshiliklarga ega bo'lgan ikkita manba va qisqa tutashuv nuqtasigacha bo'lgan X_3 umumiy qarshilikdan iborat bo'lgan uch nurli yulduzcha ko'rinishiga keltirganda to'xtatiladi.



2.11-rasm. Ekvivalent o'zgartirishlarga oid:

- a) ketma-ket, b) parallel va c) yulduz va uchburchak ulanish,
d) ko'pnurli yulduzni to'la ko'pburchakka o'zgartirish, e) elektr sistemani eng sodda ko'rinishga keltirish.

Har bir manbadan hosil bo'lgan toklar C_1 va C_2 taqsimlanish koeffitsientlari yordamida hisoblanadi. Manbalar EYUK lari teng bo'lgan shartida birga teng deb olingan QT tokining qaysi qismi ushbu shaxobcha manbai tufayli hosil bo'lishini taqsimlanish koeffitsienti ko'rsatadi.

Ikkala shaxobcha uchun $C_1 + C_2 = 1$ bajariladi. C_1 va C_2 koeffitsientlar Kirxgof qonunidan aniqlanadi:

$$C_1 = \frac{X}{X_1} \text{ va } C_2 = \frac{X}{X_2} \text{ yoki } C_1 = \frac{X_2}{X_1 + X_2} \text{ va } C_2 = \frac{X_1}{X_1 + X_2},$$

bu yerda $X = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2}$ – ikkita shaxobcha birlashgan nuqtasigacha

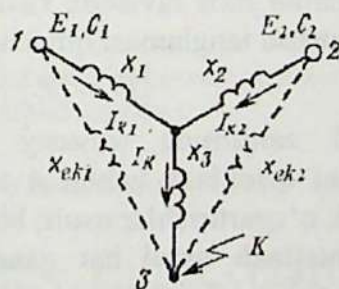
bo'lgan umumiy qarshilik. Shaxobchalar bo'yicha o'tayotgan toklarni aniqlash uchun manbalar va QT nuqtasi bilan bevosita ulaydigan

ekvivalent qarshiliklar topiladi: $X_{ek1} = \frac{X_\Sigma}{C_1}$ va $X_{ek2} = \frac{X_\Sigma}{C_2}$ yoki

$$X_{ek1} = X_3 + X_1 + \frac{X_3 X_1}{X_2} \text{ va } X_{ek2} = X_3 + X_2 + \frac{X_3 X_2}{X_1}, \quad (2.35)$$

$$\text{bunda } X_\Sigma = X_3 + \frac{X_1 X_2}{X_1 + X_2}.$$

2.12-rasm.
Taqsimlanish
koeffitsientlar
yordamida sxemani
ekvivalent o'zgartirish.



Ekvivalent qarshiliklar ekvivalent uchburchak tomonlariga (2.32) mos keladi.

EYUKlar har xil bo'lganda QT toklarni hisoblash uchun ustma-ustlash usulini qo'llash mumkin.

2.8. Ustma-ustlash va boshqa usullarni qo'llash

Elektr sistemaning ekvivalent sxemasi n -qutblik deb ko'rilsa, uni $[Y]$ matritsa bilan ifodalash mumkin. U yordamida istalgan shaxobchalardagi toklarni, demak quvvatlarni ham hisoblash mumkin bo'ladi.

Generator tomonidagi toklar sistemaning matritsa tenglamasi orqali topiladi: $[\dot{I}] = [Y] \cdot [\dot{E}]$. (2.36)

Agar sxemada EYUK lar ma'lum bo'lsa, unda toklarni topish uchun oldin o'tkazuvchanlik Y larni topish kerak bo'ladi. O'tkazuvchanlik matritsa $[Y]$ ning diagonal Y_{nn} va nodiagonal Y_{jk} elementlari mavjud.

Xususiy o'tkazuvchanlik – n -shaxobchada EYUK qoldirilib, qolganlarda olib tashlangan holda shaxobcha tokining modulini va fazasini ifodalaydigan kompleks son:

$$Y_{nn} = y_{nn} e^{j\psi_{nn}} = g_{nn} + jB_{nn}. \quad (2.37)$$

n va k shaxobchalarning **o'zaro o'tkazuvchanligi** – k -shaxobchada EYUK mavjud bo'lib, qolganlarda olib tashlangan holda n -shaxobcha tokining moduli va fazasini aniqlovchi kompleks son:

$$Y_{nk} = y_{nk} e^{j\psi_{nk}} = g_{nk} + jB_{nk}. \quad (2.38)$$

Umumiy holda Y_{nk} – real element emas, u bitta shaxobchadagi kuchlanishni ikkinchi shaxobchadagi tokga bog'lovchi kompleks proporsionallik koeffitsientidir. Shuning uchun Y manfiy yoki musbat bo'lishi mumkin. Yuqorida aytilgan o'tkazuvchanliklarga teskari qiymatlar mos ravishda xususiy va o'zaro qarshiliklar deyiladi va (2.36) matritsa tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$[\dot{E}] = [Z] \cdot [\dot{I}]. \quad (2.39)$$

Chiziqli zanjirning xususiy va o'zaro o'tkazuvchanlik va qarshiliklarini hisoblash uchun 4 ta usul qo'llaniladi. Bular: ustma-ustlash usuli; o'zgartirishlar usuli; birlik toklar usuli; matritsa usuli.

Ustma-ustlash usuli har qanday elementdagi aktiv va reaktiv quvvatlarni, tok va kuchlanishlarni turg'un yoki juda sokin rejimda aniqlash uchun qo'llaniladi.

Bunda har qanday sistema 2.13-rasmdagi sxemaga o'xshash sxema bilan ifodalanishi mumkin. Berilgan sxemada qancha EYUK bo'lsa, shuncha nimsxemalar quriladi.

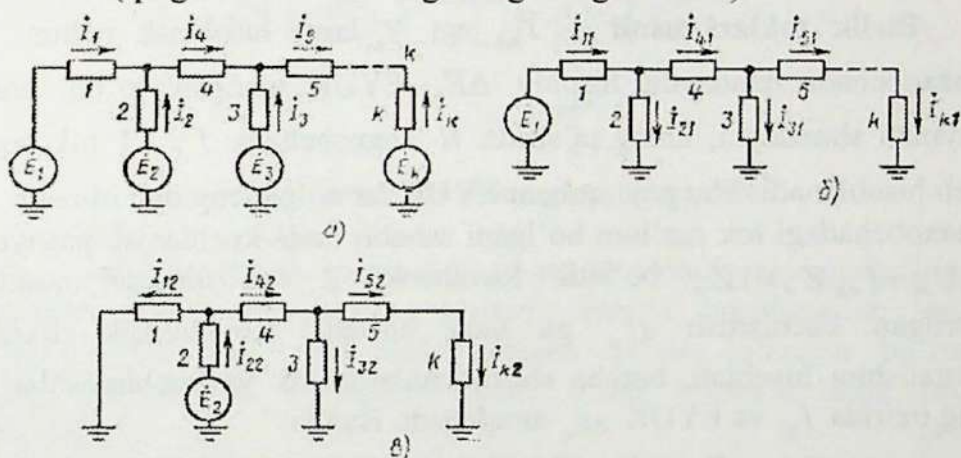
Masalan, I_{11} va I_{22} – 1- va 2-shaxobchalarning xususiy toklari; $\dot{I}_{12}$, $\dot{I}_{21}$, $\dot{I}_{31}$, $\dot{I}_{32}$, ... o'zaro toklar. Ustma-ustlash usuliga binoan

istalgan shaxobchadagi tok, masalan, 1-shaxobchadagi tok quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{11} - \dot{I}_{12} - \dot{I}_{13} - \dot{I}_{1n} - \dots - \dot{I}_{1k} \quad (2.40)$$

Bu yerda **xususiy tok** ($\dot{I}_{11}$) – istalgan (1-chi) shaxobchada faqat o'zining EYUKsi ($\dot{E}_1$) ta'sirida hosil bo'ladigan tokning tashkil etuvchisi (qolgan EYUK lari nolga teng bo'lgan holda).

O'zaro tok ($\dot{I}_{12}$) – istalgan (1-chi) shaxobchada boshqa (2-chi) shaxobcha EYUK si ($\dot{E}_2$) ta'sirida hosil bo'lgan tokning tashkil etuvchisi (qolgan EYUKlar nolga teng bo'lgan holda).



2.13-rasm. Ustma-ustlash yordamida xususiy va o'zaro qarshiliklarni topish sxemasi.

Bundan xususiy va o'zaro o'tkazuvchanliklarni quyidagi ifodalardan aniqlash mumkin:

$$Y_{nn} = \dot{I}_{nn} / \dot{E}_n \text{ va } Y_{nk} = \dot{I}_{nk} / \dot{E}_k. \quad (2.41)$$

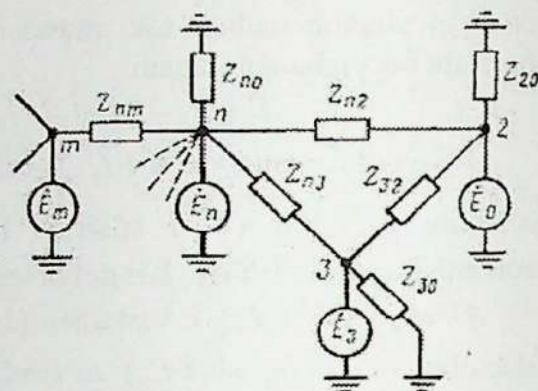
O'zgartirish usuli – bu usulda har qanday zanjir 2.14-rasmdagi sxema ko'rinishga olib kelinadi. Uning n -tugunining xususiy o'tkazuvchanligi:

$$Y_{nn} = \frac{1}{Z_{n0}} + \frac{1}{Z_{n2}} + \frac{1}{Z_{n3}} + \dots + \frac{1}{Z_{nm}}, \quad (2.42)$$

n -tugun va birorta shaxobcha bilan ulangan boshqa tugunlar orasidagi o'zaro o'tkazuvchanliklar:

$$Y_{n2} = 1/Z_{n2}, \quad Y_{n3} = 1/Z_{n3}, \quad \dots, \quad Y_{nm} = 1/Z_{nm}. \quad (2.43)$$

2.14-rasm. O'zgartirish usulida xususiy va o'zaro o'tkazuvchanliklarni topish sxemasi.



Birlik toklari usuli – Y_{nk} va Y_{nn} larni hisoblash uchun k shaxobchada qandaydir hisobiy ΔE_k EYUK ulangan bo'lib, uning qiymati shundayki, uning ta'sirida n shaxobchada $I_{nk} = 1$ tok oqadi deb hisoblanadi. Shu payt qolgan EYUK lar nolga teng deb olinadi. n shaxobchadagi tok ma'lum bo'lgani sababli unda kuchlanish pasayishi $\Delta U_n = I_{nk} Z_n = 1 Z_n$ bo'ladi. Ravshanki Z_n ga ulangan nuqtaga berilgan kuchlanish U_n ga teng bo'ladi. Keyinchalik tokning tarqalishini hisoblab, barcha shaxobchalarda tok va kuchlanishlar va eng oxirida I_{kk} va EYUK ΔE_k aniqlanadi. Bunda

$$Y_{nk} = 1/\Delta E_n, Y_{kk} = 1/\Delta E_k. \quad (2.44)$$

Matritsa usuli – juda murakkab zanjirlarni EHM yordamida hisoblash uchun o'zini oqlaydi. Unda 3000 tagacha tuguni bo'lgan tarmoqning o'tkazuvchanliklarini emas, balki darrov rejimni topib, ya'ni toklarni, quvvat oqimlarini, tugunlardagi kuchlanishlarni topish bitta kompyuter programmasida bajariladi. Bunda asosan tenglamalari (2.36) va (2.39) matritsa ko'rinishda bo'lgan tugun potentsiallari va kontur toklar usullari [4] qo'llaniladi.

MASALALAR

2.1-MASALA. Berilgan elektr sistema (ES) prinsipial sxemasi (2.15-rasm) uchun almashlash sxemasi tuzilsin, qiymatlarini bitta kuchlanish pog'onasiga "aniq" keltirilib, uning parametrlari nomlangan birliklarda hisoblansin. Bunda yuklama tugunida asinxron motorli yuklama mavjudligini inobatga olinsin.

Berilgan dastlabki ma'lumotlar: generator (G):

$$S_n = 75 \text{ MVA}; \quad U_n = 10,5 \text{ kV}; \quad I_n = 4,125 \text{ kA}; \quad X_d'' = 0,215 \text{ Om};$$

$\cos \varphi_n = 0,8$; sistema (S): $U_S = 230 \text{ kV}$; transformator (T):

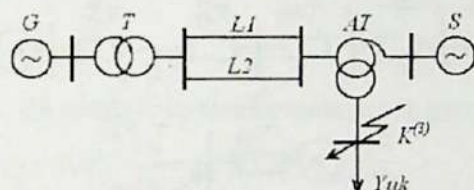
$$S_n = 80 \text{ MVA}; \quad u_k = 10,5\%; \quad U_{nV}/U_{nN} = 121/10,5 \text{ kV}; \quad \text{avtotransfor-}$$

mator (AT): $S_n = 200 \text{ MVA}; \quad U_{nV}/U_{nS}/U_{nN} = 230/121/11 \text{ kV}; \quad u_{kV-N} = 34\%;$

$$u_{kV-S} = 10\%; \quad u_{kS-N} = 22,5\%; \quad \text{elektr uzatish liniyasi (L): } \ell = 120 \text{ km};$$

$$X_0 = 0,4 \text{ Om/km}; \quad \text{yuklama (Yuk): } S_n = 60 \text{ MVA}; \quad X_{yuk}^* = 0,35;$$

$$E_{yuk}^* = 0,85; \quad U_n = 11 \text{ kV}.$$



2.15-rasm. Elektr sistemaning prinsipial sxemasi.

Yechish.

ES ning almashlash sxemasi (2.16-rasm) alohida elementlarining almashlash sxemalari asosida quriladi. Bunda boshlang'ich vaqt momenti ($t=0$)da ular prinsipial sxemada qanday ulangan bo'lsa, ularning almashlash sxemalari xuddi o'sha ketma-ketlikda joylashtiriladi.

Almashlash sxema tuzishda quyidagi farazlar inobatga olinadi:

- sinxron generator dempfer chulg'amlarga ega, shuning uchun u o'zining o'ta o'tkinchi parametrlari – X_d'' va E_0^* bilan beriladi;

- barcha elementlar qarshiliklarining aktiv tashkil etuvchilari inobatga olinmaydi;

- elektr uzatish liniyaning konstruktiv tuzilishi noma'lum bo'lganligi sababli, u uchun o'rtacha solishtirma $X_0 = 0,4 \text{ Om/km}$ qarshilik qabul qilinadi;

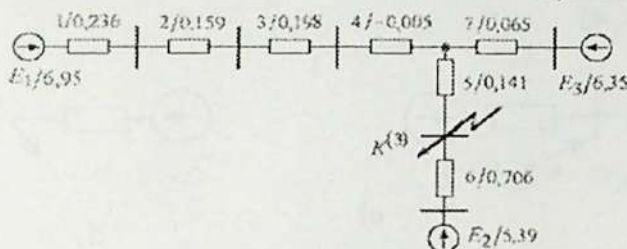
- yuklama X_{yuk}^* va E_{yuk}^* parametrlari bilan ifodalanadi;

- sistemaning (cheksiz quvvat manbaning) qarshiligi hisobga olinmaydi;

2.17-rasmda ES ning almashlash sxemasining parametrlari ko'rsatilgan.

Manba va yuklama EYuK larining qiymatlarini hisoblash:

$$E_1 = E_0 = \sqrt{(I_n \cdot X_d'' \cdot \cos \varphi)^2 + (U_n + I_n \cdot X_d'' \cdot \sin \varphi)^2} \cdot (K_{T(V/N)} \cdot K_{AT(N/S)}) = \\ = \sqrt{(4,125 \cdot 0,215 \cdot 0,8)^2 + (10,5/\sqrt{3} + 4,125 \cdot 0,215 \cdot 0,6)^2} \cdot \frac{121}{10,5} \cdot \frac{11}{121} = 6,95 \text{ kV};$$



2.17-rasm. ES ning almashlash sxemasining parametrlari.

$$E_2 = E_{yuk} = 0,85 \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} = 0,85 \cdot \frac{11}{\sqrt{3}} = 5,39 \text{ kV};$$

$$E_3 = U_s = \frac{U_s}{\sqrt{3}} \cdot K_{AT(N/V)}^2 = \frac{230}{\sqrt{3}} \cdot \frac{11}{230} = 6,35 \text{ kV}.$$

2.2- MASALA. 2.1-masalada olingan ES ning almashlash sxemasini (2.16, 2.17-rasm) ekvivalent o'zgartirib, eng sodda sxemasi tuzilsin.

Yechish. 2.16-rasmda keltirilgan ES ning almashlash sxemasining ketma-ket o'zgartirilishi va bitta ekvivalent qarshilik va EYUKga keltirilishi, ya'ni soddalashtirilishi 2.18-rasmda ko'rsatilgan. Bunda X_1, X_2, X_3, X_4 qarshiliklar ketma-ket ulangan bo'lib, bitta X_8 qarshilik bilan almashtiriladi:

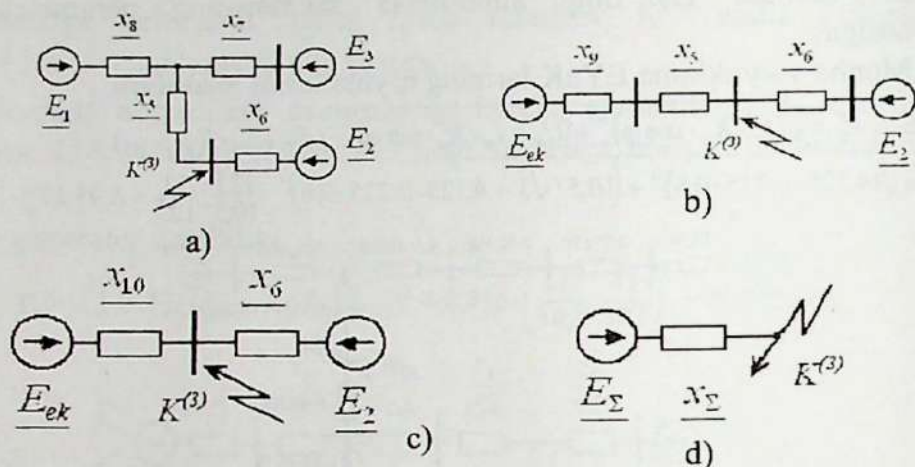
$$X_8 = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 0,236 + 0,159 + 0,198 - 0,005 = 0,588 \text{ Om}.$$

E_1 va E_3 manbali shaxobchalar quyidagi parametrlarga ega bo'lgan bitta ekvivalent shaxobcha bilan almashtiriladi:

$$X_9 = \frac{X_8 \cdot X_7}{X_8 + X_7} = 0,0585 \text{ Om},$$

$$E_{ek} = X_9 \cdot \left(\frac{E_1}{X_8} + \frac{E_3}{X_7} \right) = 0,0585 \cdot \left(\frac{6,95}{0,588} + \frac{6,35}{0,065} \right) = 6,41 \text{ kV}.$$

X_9 va X_5 qarshiliklar ketma-ket ulangan:



2.18-rasm. ES ning almashlash sxemasini o'zgartirish bosqichlari.
 $X_{10} = X_9 + X_5 = 0,0585 + 0,141 = 0,1995 \text{ Om}$.

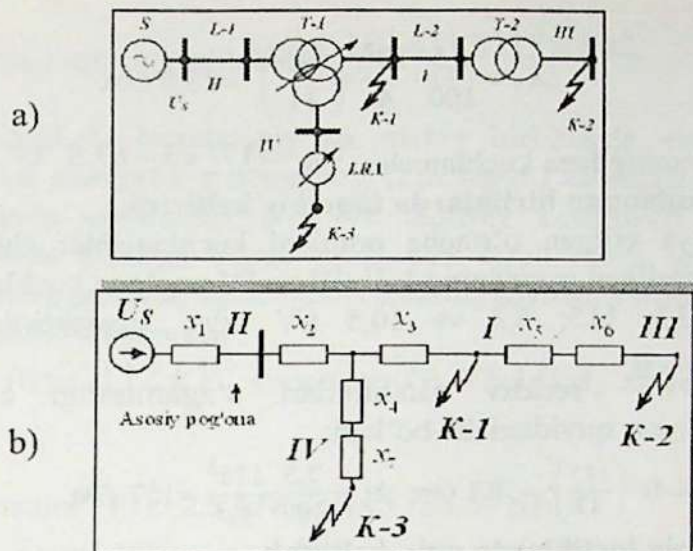
E_{ek} va E_2 EYUK li shaxobchalar QT nuqtaga nisbatan parallel birlashtiriladi:

$$X_{\Sigma} = \frac{X_{10} \cdot X_6}{X_{10} + X_6} = \frac{0,1995 \cdot 0,706}{0,1995 + 0,706} = 0,156 \text{ Om},$$

$$E_{\Sigma} = X_{\Sigma} \cdot \left(\frac{E_{ek}}{X_{10}} + \frac{E_2}{X_6} \right) = 0,156 \cdot \left(\frac{6,41}{0,1995} + \frac{5,39}{0,706} \right) = 6,2 \text{ kV}.$$

2.3-MASALA. 2.19,a-rasmda berilgan sxema elementlarining parametrlarini nomlangan va nisbiy birliklarda ifodalab, almashlash sxemasi tuzilsin. Bunda sxemada bitta kuchlanish pog'onasiga "aniq" va "taqribiy" keltirilish bajarilsin.

Berilgan dastlabki ma'lumotlar: sistema (S): $U_S = 117 \text{ kV}$;
transformator (T-1): 40 MVA ; $115 \pm 16\% / 38,5 / 11 \text{ kV}$;
 $u_{KV-N} = 10,5\%$; $u_{KV-S} = 17\%$; $u_{KS-N} = 6\%$; transformator
(T-2): $6,3 \text{ MVA}$; $35 / 6,6 \text{ kV}$; $u_k = 7,5\%$; chiziqli boshqaruvchi
transformator (LRA): 4 MVA ; $10 \text{ kV} \pm 10\%$; $u_k = 0,5\%$; liniya
(L-1): 60 km ; $X_0 = 0,4 \text{ Om/km}$; liniya (L-2):
 10 km ; $X_0 = 0,4 \text{ Om/km}$.



2.19-rasm. 2.3-masalaga oid: a) dastlabki sxema; b) almashlash sxemasi.

Yechish.

1) nomlangan birliklarda aniq keltirish.

Asosiy pog'ona sifatida manba ulangan, ya'ni ikkinchi pog'onani tanlaymiz. Almashlash sxemasi 2.19,b-rasmda keltirilgan. Uning reaktiv qarshiliklari quyidagicha aniqlanadi:

L-1 va L-2 liniyalarning qarshiligi:

$$X_1 = 0,4 \cdot 60 = 24 \text{ Om}; \quad X_5 = 0,4 \cdot 10 \cdot \left(\frac{115}{38,5} \right)^2 = 36 \text{ Om};$$

uch chulg'amli transformator T-1 uchun oldin uning chulg'amlarining qisqa tutashuv kuchlanishlari topilib, keyin qarshiliklari aniqlanadi (2.1-jadval):

$$X_2 = \frac{17+10,5-6}{200} \cdot \frac{115^2}{40} = 35,5 \text{ Om}; \quad X_3 = \frac{17+6-10,5}{200} \cdot \frac{115^2}{40} = 20,5 \text{ Om};$$

$$X_4 = \frac{10,5+6-17}{200} \cdot \frac{115^2}{40} = -0,83 \text{ Om};$$

ikki chulg'amli transformator T-2 uchun:

$$X_6 = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{35^2}{6,3} \cdot \left(\frac{115}{38,5} \right)^2 = 131 \text{ Om}$$

va chiziqli boshqaruvchi transformator LRA uchun:

$$X_7 = \frac{0,5}{100} \cdot \frac{10^2}{4} \cdot \left(\frac{115}{11} \right)^2 = 13,6 \text{ Om}.$$

Manbaning faza kuchlanishi: $U_S = 117 / \sqrt{3} = 67,5 \text{ kV}$.

2) nomlangan birliklarda taqribiy keltirish.

Tavsiya etilgan o'rtacha nominal kuchlanishlar shkalasi (2.13) bo'yicha berilgan sxemaning I, II, III va IV pog'ona kuchlanishlari mos ravishda 37; 115; 6,3 va 10,5 kV bilan almashtiriladi. Bundan

X_1, X_2, X_3, X_4 reaktiv qarshiliklari o'zgarmasligi aniq, qolgan qarshiliklar esa quyidagicha bo'ladi:

$$X_5 = 0,4 \cdot 10 \cdot \left(\frac{115}{37} \right)^2 = 38,7 \text{ Om}; \quad X_6 = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{115^2}{6,3} = 157 \text{ Om}.$$

3) nisbiy birliklarda aniq keltirish.

Bazis quvvatni $S_b = 1000 \text{ MVA}$ va kuchlanishni $U_{bII} = 115 \text{ kV}$ deb, qabul qilamiz. Unda bazis toki:

$$I_{bII} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5 \text{ kA}$$

va boshqa pog'onalaridagi bazis kuchlanish va toklari quyidagicha bo'ladi (2.2-jadval):

$$U_{bI} = 115 \cdot \frac{38,5}{115} = 38,5 \text{ kV}; \quad I_{bI} = 5 \cdot \frac{115}{38,5} = 15 \text{ kA};$$

$$U_{bIII} = 38,5 \cdot \frac{6,6}{35} = 7,25 \text{ kV}; \quad I_{bIII} = 15 \cdot \frac{35}{6,6} = 79,5 \text{ kA};$$

$$U_{bIV} = 115 \cdot \frac{11}{115} = 11 \text{ kV}; \quad I_{bIV} = 5 \cdot \frac{115}{11} = 52,3 \text{ kA}.$$

(2.28)-formulalardan foydalanib quyidagi reaktiv qarshiliklarning nisbiy qiymatlarini topamiz:

liniyalar uchun:

$$X_{*1} = 0,4 \cdot 60 \cdot \frac{1000}{115^2} = 1,82; \quad X_{*5} = 0,4 \cdot 60 \cdot \frac{1000}{38,5^2} = 2,7;$$

transformatorlar uchun:

$$X_{*2} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 2,69; \quad X_{*3} = 1,56; \quad X_{*4} = -0,06;$$

$$X_{*6} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{1000}{6,3} \cdot \left(\frac{35}{38,5} \right)^2 = 9,83.$$

Manbaning nisbiy kuchlanishi: $U_s = 117/115 = 1,02$.

2.4-MASALA. Nomlangan va nisbiy birliklarda elementlarini ifodalab elektr energetik sistemaning (2.20-rasm) almashlash sxemasi tuzilsin. Bunda sxemaning aniq va taqribiy keltirilishi bajarilsin. Yuklama tokini hisobga olgan holda uch fazali qisqa tutashuvdagi avariya tokining periodik tashkil etuvchisining qiymati hisoblansin.

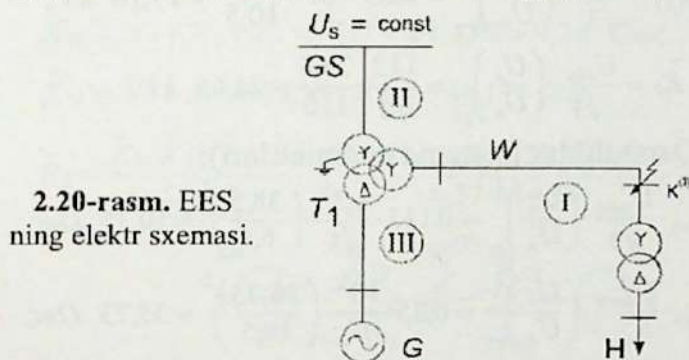
Dastlabki ma'lumotlar:

sistema (GS): 112 kV; generator (G): 15 MVA; 6,3 kV;

$$X_{d*}'' = 0,115;$$

transformator (T1): 25 MVA; 115 / 38,5 / 6,6 kV;

$u_{kV-S} = 10,5\%$; $u_{kV-N} = 17,5\%$; $u_{kS-N} = 6,3\%$;



transformator (T2): 16 MVA; 36,75/10,5 kV; $u_k = 10\%$;

yuklama (H): 12 MVA; 10 kV;

liniya (W): AC 120/19 rusimli sim, 10 km;

$$Z_w = 0,249 + j0,414 \text{ Om/km}$$

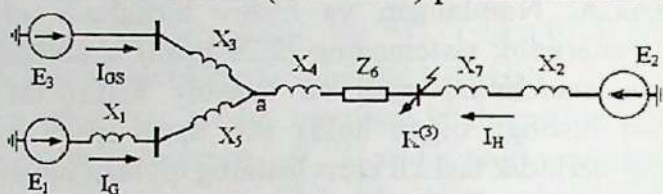
Yechish:

Berilgan elektr sxemaning almashlash sxemasi 2.21-rasmda keltirilgan. Uning parametrlarini nomlangan va nisbiy birliklarda quyida aniqlaymiz. Hisoblarda mos ravishda generator, yuklama va sistema manbalari uchun adabiyotlarda tavsiya etilgan nisbiy qiymatlarni ishlatamiz.

1) Nomlangan birliklarda aniq keltirish

1,a) kuchlanishning I pog'onasiga keltirish

Asosiy (bazi) pog'ona sifatida QT sodir bo'lgan pog'onani tanlaymiz. Almashlash sxema (2.21-rasm) parametrlarini aniqlaymiz.



2.21-rasm. EESning almashlash elektr sxemasi.

Ta'minlovchi manba fazalarining EYUK lari (rejim parametrlari):

$$G: \dot{E}_1 = E_{*(n)} \cdot \frac{U_{nom}}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{U_s}{U_n} \right)_{T1} = 1,08 \cdot \frac{6,3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{38,5}{6,6} = 22,92 \text{ kV};$$

$$H: \dot{E}_2 = E_{*(n)} \cdot \frac{U_{nom}}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{U_v}{U_n} \right)_{T2} = 0,85 \cdot \frac{10}{\sqrt{3}} \cdot \frac{36,75}{10,5} = 17,18 \text{ kV};$$

$$GS: \dot{E}_3 = \frac{U_{sist}}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{U_s}{U_v} \right)_{T1} = \frac{112}{\sqrt{3}} \cdot \frac{38,5}{115} = 21,65 \text{ kV}.$$

Qarshiliklar (sistema parametrlari):

$$G: \dot{X}_1 = X_{d*(n)}^* \cdot \frac{U_{nom}^2}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{U_s}{U_n} \right)_{T1}^2 = 0,115 \cdot \frac{6,3^2}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{38,5}{6,6} \right)^2 = 10,35 \text{ Om};$$

$$H: \dot{X}_2 = X_{*(n)} \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_v}{U_n} \right)_{T2}^2 = 0,35 \cdot \frac{10^2}{12} \cdot \left(\frac{36,75}{10,5} \right)^2 = 35,73 \text{ Om};$$

$$T1: u_{k,v} = 0,5 \cdot (u_{k,vs} + u_{k,vn} - u_{k,sn}) = 0,5 \cdot (10,5 + 17,5 - 6,5) = 10,75\%;$$

$$u_{k,s} = 0,5 \cdot (u_{k,sn} + u_{k,vs} - u_{k,vn}) = 0,5 \cdot (6,5 + 10,5 - 17,5) = -0,25\%;$$

$$u_{k,n} = 0,5 \cdot (u_{k,vn} + u_{k,sn} - u_{k,vs}) = 0,5 \cdot (17,5 + 6,5 - 10,5) = 6,75\%;$$

$$\dot{X}_3 = \frac{u_{k,v}}{100} \cdot \frac{U_v^2}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_s}{U_n} \right)_{T1}^2 = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{115^2}{25} \cdot \left(\frac{38,5}{115} \right)^2 = 6,37 \text{ Om};$$

$$\dot{X}_4 = \frac{u_{k,s}}{100} \cdot \frac{U_s^2}{S_{nom}} = \frac{-0,25}{100} \cdot \frac{38,5^2}{25} \approx 0 \text{ Om};$$

$$\dot{X}_5 = \frac{u_{k,n}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_s}{U_n} \right)_{T1}^2 = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{6,6^2}{25} \cdot \left(\frac{38,5}{6,6} \right)^2 = 4 \text{ Om};$$

$$W: \underline{Z}_6 = (r_W + jx_W) \cdot \ell = (0,249 + j0,414) \cdot 10 = 2,49 + j4,14 \text{ Om};$$

$$Z_6 = \sqrt{r_6^2 + x_6^2} = \sqrt{2,49^2 + 4,14^2} = 4,83 \text{ Om};$$

$$T2: \dot{X}_7 = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_v}{U_n} \right)_{T2}^2 = \frac{10 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 16} \cdot \left(\frac{36,75}{10,5} \right)^2 = 8,44 \text{ Om yoki}$$

$$\dot{X}_7 = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_v^2}{S_{nom}} = \frac{10 \cdot 36,75^2}{100 \cdot 16} = 8,44 \text{ Om}.$$

Almashlash sxemani ekvivalent o'zgartirib, eng sodda ko'rinishga keltiramiz (2.22-rasm).

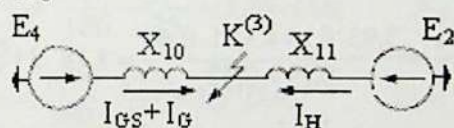
$$\dot{X}_8 = \dot{X}_1 + \dot{X}_5 = 10,35 + 4 = 14,35 \text{ Om};$$

$$\dot{X}_9 = \dot{X}_3 // \dot{X}_8 = \frac{\dot{X}_3 \cdot \dot{X}_8}{\dot{X}_3 + \dot{X}_8} = \frac{6,37 \cdot 14,35}{6,37 + 14,35} = 4,41 \text{ Om};$$

$$\dot{X}_{10} = \dot{X}_9 + \dot{X}_4 + \dot{Z}_6 = 4,41 + 0 + 4,83 = 9,24 \text{ Om};$$

$$\dot{X}_{11} = \dot{X}_2 + \dot{X}_7 = 35,73 + 8,44 = 44,17 \text{ Om};$$

$$\dot{E}_4 = \frac{\dot{E}_3 \cdot \dot{X}_8 + \dot{E}_1 \cdot \dot{X}_3}{\dot{X}_3 + \dot{X}_8} = \frac{21,65 \cdot 14,35 + 22,92 \cdot 6,37}{6,37 + 14,35} = 22,04 \text{ kV}.$$



2.22-rasm. Soddalashtirilgan almashlash sxemasi.

1,b) kuchlanishning III pog'onasiga keltirish

Kuchlanishning asosiy pog'onasi sifatida generator G joylashgan pog'onani tanlaymiz. Almashlash sxema xuddi oldindagiday bo'ladi.

Rejim parametrlari:

$$G: \dot{E}_1 = E_{*(n)} \cdot \frac{U_{nom}}{\sqrt{3}} = 1,08 \cdot \frac{6,3}{\sqrt{3}} = 3,93 \text{ kV};$$

$$H: \dot{E}_2 = E_{*(n)} \cdot \frac{U_{nom}}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{U_v}{U_n} \right)_{T2} \cdot \left(\frac{U_n}{U_s} \right)_{T1} = 0,85 \cdot \frac{10}{\sqrt{3}} \cdot \frac{36,75}{10,5} \cdot \frac{6,6}{38,5} = 2,94 \text{ kV};$$

$$GS: \dot{E}_3 = \frac{U_{sist}}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{U_n}{U_v} \right)_{T1} = \frac{112}{\sqrt{3}} \cdot \frac{6,6}{115} = 3,71 \text{ kV}.$$

Sistema parametrlari:

$$G: \dot{X}_1 = X_{d^*(n)} \cdot \frac{U_{nom}^*}{\sqrt{3}} = 0,115 \cdot \frac{6,3^2}{\sqrt{3}} = 0,30 \text{ Om};$$

$$H: \dot{X}_2 = X_{s(n)} \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_v}{U_n} \right)_{T2}^2 \cdot \left(\frac{U_n}{U_s} \right)_{T1}^2 = 0,35 \cdot \frac{10^2}{12} \cdot \left(\frac{36,75}{10,5} \right)^2 \cdot \left(\frac{6,6}{38,5} \right)^2 = 1,05 \text{ Om};$$

$$T1: \dot{X}_3 = \frac{u_{k,v}}{100} \cdot \frac{U_v^2}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_n}{U_v} \right)_{T1}^2 = \frac{10,75 \cdot 115^2}{100 \cdot 25} \cdot \left(\frac{6,6}{115} \right)^2 = 0,19 \text{ Om};$$

$$\dot{X}_4 = 0 \text{ Om}; \quad \dot{X}_5 = \frac{u_{k,n}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{nom}} = \frac{6,75 \cdot 6,6^2}{100 \cdot 25} = 0,12 \text{ Om};$$

$$W: Z_W = \sqrt{r_W^2 + x_W^2} = \sqrt{0,249^2 + 0,414^2} = 0,483 \text{ Om};$$

$$Z_6 = Z_W \cdot \ell \cdot \left(\frac{U_n}{U_s} \right)_{T1}^2 = 0,483 \cdot 10 \cdot \left(\frac{6,6}{38,5} \right)^2 = 0,14 \text{ Om};$$

$$T2: \dot{X}_7 = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_v^2}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_n}{U_s} \right)_{T1}^2 = \frac{10 \cdot 36,75^2}{100 \cdot 16} \cdot \left(\frac{6,6}{38,5} \right)^2 = 0,25 \text{ Om}.$$

Quyidagi ekvivalent o'zgartirishlarni bajarib, 2.21-rasmdagi sxemani eng sodda ko'rinishga keltiramiz (2.22-rasm):

$$\dot{X}_8 = \dot{X}_1 + \dot{X}_5 = 0,30 + 0,12 = 0,42 \text{ Om};$$

$$\dot{E}_4 = \frac{\dot{E}_1 \cdot \dot{X}_3 + \dot{E}_3 \cdot \dot{X}_8}{\dot{X}_3 + \dot{X}_8} = \frac{3,93 \cdot 0,19 + 3,71 \cdot 0,42}{0,19 + 0,42} = 3,78 \text{ kV};$$

$$\dot{X}_9 = \dot{X}_3 // \dot{X}_8 = \frac{\dot{X}_3 \cdot \dot{X}_8}{\dot{X}_3 + \dot{X}_8} = \frac{0,19 \cdot 0,42}{0,19 + 0,42} = 0,13 \text{ Om};$$

$$\dot{X}_{10} = \dot{X}_9 + \dot{X}_4 + Z_6 = 0,13 + 0 + 0,14 = 0,27 \text{ Om};$$

$$\dot{X}_{11} = \dot{X}_2 + \dot{X}_7 = 1,05 + 0,25 = 1,30 \text{ Om}.$$

2) nomlangan birliklarda taqribiy keltirish

Tavsiya etilgan o'rtacha nominal kuchlanishlar shkalasi (2.13) bo'yicha berilgan sxemaning I, II, III va IV pog'ona kuchlanishlari mos ravishda,

$U_{Or1} = 37 \text{ kV}; U_{Or2} = 115 \text{ kV}; U_{Or3} = 6,3 \text{ kV}; U_{Or4} = 10,5 \text{ kV}$ transformatorlarning taqribiy transformatsiya koeffitsientlarini olamiz.

Asosiy (bazis) pog'ona sifatida QT sodir bo'lgan pog'onani saqlaymiz.

Rejim parametrlari:

$$\dot{E}_1 = E_{*(n)} \cdot \frac{U_{Or.3}}{\sqrt{3}} \left(\frac{U_{Or.1}}{U_{Or.3}} \right)_{T1} = 1,08 \cdot \frac{6,3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{37}{6,3} = 23,07 \text{ kV}$$

$$\text{yoki } \dot{E}_1 = E_{*(n)} \cdot \frac{U_{Or.1}}{\sqrt{3}} = 1,08 \cdot \frac{37}{\sqrt{3}} = 23,07 \text{ kV};$$

$$\dot{E}_2 = E_{*(n)} \cdot \frac{U_{Or.4}}{\sqrt{3}} \left(\frac{U_{Or.1}}{U_{Or.4}} \right)_{T2} = 0,85 \cdot \frac{10,5}{\sqrt{3}} \cdot \frac{37}{10,5} = 18,16 \text{ kV}$$

$$\text{yoki } \dot{E}_2 = E_{*(n)} \cdot \frac{U_{Or.1}}{\sqrt{3}} = 0,85 \cdot \frac{37}{\sqrt{3}} = 18,16 \text{ kV};$$

$$\dot{E}_3 = \frac{U_{Or.2}}{\sqrt{3}} \left(\frac{U_{Or.1}}{U_{Or.2}} \right)_{T1} = \frac{115}{\sqrt{3}} \cdot \frac{37}{115} = 21,36 \text{ kV}, \text{ yani } \dot{E}_3 = \frac{U_{Or.1}}{\sqrt{3}}.$$

Sistema parametrlari:

$$\dot{X}_1 = X_{d*(n)}'' \cdot \frac{U_{Or.3}^2}{S_{nom}} \left(\frac{U_{Or.1}}{U_{Or.3}} \right)^2 = 0,115 \cdot \frac{6,3^2}{15} \left(\frac{37}{6,3} \right)^2 = 10,5 \text{ Om},$$

Boshqachasiga

$$\dot{X}_1 = X_{d*(n)}'' \cdot \frac{U_{Or.1}^2}{S_{nom}} = 0,115 \cdot \frac{37^2}{15} = 10,5 \text{ Om}; \quad \dot{X}_2 = X_{*(n)} \cdot \frac{U_{Or.1}^2}{S_{nom}} = 0,35 \cdot \frac{37^2}{12} = 39,93 \text{ Om},$$

$$\dot{X}_3 = \frac{u_{kV\%}}{100} \cdot \frac{U_{Or.1}^2}{S_{nom}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{37^2}{25} = 5,89 \text{ Om}; \quad \dot{X}_4 = 0 \text{ Om};$$

$$\dot{X}_5 = \frac{u_{kN\%}}{100} \cdot \frac{U_{Or.1}^2}{S_{nom}} = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{37^2}{25} = 3,7 \text{ Om}; \quad \dot{Z}_6 = Z_W \cdot \ell = 0,483 \cdot 10 = 4,83 \text{ Om},$$

$$\dot{X}_7 = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_{Or.1}^2}{S_{nom}} = \frac{10}{100} \cdot \frac{37^2}{16} = 8,56 \text{ Om}.$$

Quyidagi ekvivalent o'zgartirishlarni bajarib, 2.21-rasmdagi sxemani eng sodda ko'rinishga keltiramiz (2.22-rasm):

$$\dot{X}_8 = \dot{X}_1 + \dot{X}_5 = 10,5 + 3,7 = 14,2 \text{ Om}; \quad \dot{X}_9 = \dot{X}_3 // \dot{X}_8 = 5,89 // 14,2 = 4,16 \text{ Om};$$

$$\dot{X}_{10} = \dot{X}_9 + \dot{X}_4 + \dot{Z}_6 = 4,16 + 0 + 4,83 = 8,99 \text{ Om};$$

$$\dot{X}_{11} = \dot{X}_2 + \dot{X}_7 = 39,93 + 8,56 = 48,48 \text{ Om};$$

$$\dot{E}_4 = \frac{\dot{E}_3 \cdot \dot{X}_8 + \dot{E}_1 \cdot \dot{X}_3}{\dot{X}_3 + \dot{X}_8} = \frac{21,36 \cdot 14,2 + 23,03 \cdot 5,89}{5,89 + 14,2} = 21,86 \text{ kV}.$$

3) nisbiy birliklarda aniq keltirish

3,a) keltirishning 1-uslub

Asosiy (bazis) pog'ona sifatida QT sodir bo'lgan pog'onani saqlaymiz.

Almashlash sxemasi o'zgarmaydi.

Bazis quvvati $S_b = 1000 \text{ MVA}$ va I pog'ona kuchlanishini bazis kuchlanishi $U_{b,1} = 37 \text{ kV}$ deb, qabul qilamiz. Unda qolgan bazis qiymatlar

quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{b,1} = S_b / (\sqrt{3} \cdot U_{b,1}) = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 37) = 15,60 \text{ kA};$$

$$Z_{b,1} = U_{b,1}^2 / S_b = 37^2 / 1000 = 1,37 \text{ Om}.$$

Nomlangan birliklarda kuchlanishning asosiy pog'onasiga aniq keltirilgan almashlash sxemasining parametrlarini ushbu masalaning 1,a) bandidan olamiz.

Rejim parametrlari:

$$E_{*1} = \sqrt{3} \cdot \dot{E}_1 / U_{b,1} = \sqrt{3} \cdot 22,92 / 37 = 1,0727;$$

$$E_{*2} = \sqrt{3} \cdot \dot{E}_2 / U_{b,1} = \sqrt{3} \cdot 17,18 / 37 = 0,804;$$

$$E_{*3} = \sqrt{3} \cdot \dot{E}_3 / U_{b,1} = \sqrt{3} \cdot 21,65 / 37 = 1,0134.$$

Sistema parametrlari:

$$X_{*1} = \dot{X}_1 / Z_{b,1} = 10,35 / 1,37 = 7,563; \quad X_{*2} = \dot{X}_2 / Z_{b,1} = 35,73 / 1,37 = 26,1;$$

$$X_{*3} = \dot{X}_3 / Z_{b,1} = 6,37 / 1,37 = 4,656; \quad X_{*4} = 0;$$

$$X_{*5} = \dot{X}_5 / Z_{b,1} = 4,0 / 1,37 = 2,923; \quad Z_{*6} = \dot{Z}_6 / Z_{b,1} = 4,83 / 1,37 = 3,528;$$

$$X_{*7} = \dot{X}_7 / Z_{b,1} = 8,44 / 1,37 = 6,166.$$

Almashlash sxemani (2.21-rasm) eng sodda ko'rinishga keltiramiz (2.22-rasm):

$$X_{*8} = X_{*1} + X_{*5} = 7,563 + 2,923 = 10,486;$$

$$X_{*9} = X_{*3} // X_{*8} = 4,653 // 10,486 = 3,223;$$

$$X_{*10} = X_{*9} + X_{*4} + Z_{*6} = 3,223 + 0 + 3,528 = 6,751;$$

$$X_{*11} = X_{*2} + X_{*7} = 26,1 + 6,165 = 32,265;$$

$$E_{*4} = \frac{E_{*1} \cdot X_{*3} + E_{*3} \cdot X_{*8}}{X_{*3} + X_{*8}} = \frac{1,0727 \cdot 4,653 + 1,0134 \cdot 10,486}{4,653 + 10,486} = 1,031.$$

3,b) Keltirishning 2-uslubi

Bazis quvvatni $S_b = 1000 \text{ MVA}$ va I pog'onada bazis kuchlanishni

$U_{b,1} = 37 \text{ kV}$ va bazis tokni $I_{b,1} = 15,60 \text{ kA}$ deb, qabul qilamiz.

Unda qolgan pog'onalarda bazis kuchlanish va bazis toklari quyidagicha bo'ladi:

$$U_{b,2} = U_{b,1} \cdot \left(\frac{U_V}{U_S} \right)_{T1} = 37 \cdot \frac{115}{38,5} = 110,52 \text{ kV}; \quad I_{b,2} = I_{b,1} \cdot \left(\frac{U_S}{U_V} \right)_{T1} = 15,60 \cdot \frac{38,5}{115} = 5,22 \text{ kA}_y$$

oki

$$I_{b,2} = S_b / (\sqrt{3} \cdot U_{b,2}) = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 110,52) = 5,22 \text{ kA};$$

$$U_{b,3} = U_{b,1} \cdot \left(\frac{U_N}{U_S} \right)_{T1} = 37 \cdot \frac{6,6}{38,5} = 6,34 \text{ kV}; \quad I_{b,3} = I_{b,1} \cdot \left(\frac{U_S}{U_N} \right)_{T1} = 15,60 \cdot \frac{38,5}{6,6} = 91,02 \text{ kA};$$

$$U_{b,4} = U_{b,1} \cdot \left(\frac{U_N}{U_V} \right)_{T2} = 37 \cdot \frac{10,5}{36,75} = 10,57 \text{ kV}; \quad I_{b,4} = I_{b,1} \cdot \left(\frac{U_V}{U_N} \right)_{T2} = 15,60 \cdot \frac{36,75}{10,5} = 54,61 \text{ kA}$$

Rejim parametrlari:

$$E_{*1} = E_{*(n)} \cdot U_{nom} / U_{b,3} = 1,08 \cdot 6,3 / 6,34 = 1,0727;$$

$$E_{*2} = E_{*(n)} \cdot U_{nom} / U_{b,4} = 0,85 \cdot 10 / 10,57 = 0,80;$$

$$E_{*3} = U_{sist} / U_{b,2} = 112 / 110,5 = 1,0134.$$

Sistema parametrlari:

$$X_{*1} = X_{d*(n)}'' \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_{nom}}{U_{b,3}} \right)^2 = 0,115 \cdot \frac{1000}{15} \cdot \left(\frac{6,3}{6,34} \right)^2 = 7,563;$$

$$X_{*2} = X_{*(n)} \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_{nom}}{U_{b,4}} \right)^2 = 0,35 \cdot \frac{1000}{12} \cdot \left(\frac{10}{10,57} \right)^2 = 26,1;$$

$$X_{*3} = \frac{u_{k,V}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_V}{U_{b,2}} \right)^2 = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{1000}{25} \cdot \left(\frac{115}{110,52} \right)^2 = 4,656; \quad X_{*4} = 0;$$

$$X_{*5} = \frac{u_{k,N}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_N}{U_{b,3}} \right)^2 = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{1000}{25} \cdot \left(\frac{6,6}{6,343} \right)^2 = 2,923; \quad \text{Yo}$$

$$Z_{*6} = Z_W \cdot \ell \cdot \frac{S_b}{U_{b,1}^2} = 0,483 \cdot 10 \cdot \frac{1000}{37^2} = 3,528;$$

$$X_{*7} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_V}{U_{b,1}} \right)^2 = \frac{10}{100} \cdot \frac{1000}{16} \cdot \left(\frac{36,75}{37} \right)^2 = 6,166$$

ki

$$X_{*7} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_N}{U_{b,4}} \right)^2 = \frac{10}{100} \cdot \frac{1000}{16} \cdot \left(\frac{10,5}{10,57} \right)^2 = 6,166;$$

$$X_{*8} = X_{*1} + X_{*5} = 7,563 + 2,923 = 10,486.$$

Qolgan ekvivalent o'zgartirishlar xuddi 3,a)-bandda ko'rsatilganday bo'ladi.

4) nisbiy birliklarda taqribiy keltirish

Transformatorlarning taqribiy transformatsiya koeffitsientlarini inobatga olib hamda bazis quvvati $S_b = 1000 \text{ MVA}$, I pog'onada bazis kuchlanishi $U_{b,1} = 37 \text{ kV}$ va bazis toki $I_{b,1} = 15,60 \text{ kA}$ ni tanlab, barcha kuchlanish pog'onalarida bazis shartlarni aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} U_{b,2} &= U_{b,1} \cdot \left(\frac{U_{or,2}}{U_{or,1}} \right)_{T1} = 37 \cdot \frac{115}{37} = 115 \text{ kV}; & I_{b,2} &= I_{b,1} \cdot \left(\frac{U_{or,1}}{U_{or,2}} \right)_{T1} = 15,60 \cdot \frac{37}{115} = 5,02 \text{ kA} \\ U_{b,3} &= U_{b,1} \cdot \left(\frac{U_{or,3}}{U_{or,1}} \right)_{T1} = 37 \cdot \frac{6,3}{37} = 6,3 \text{ kV}; & I_{b,3} &= I_{b,1} \cdot \left(\frac{U_{or,1}}{U_{or,3}} \right)_{T1} = 15,60 \cdot \frac{37}{6,3} = 91,64 \text{ kA} \\ U_{b,4} &= U_{b,1} \cdot \left(\frac{U_{or,4}}{U_{or,1}} \right)_{T2} = 37 \cdot \frac{10,5}{37} = 10,5 \text{ kV}; & I_{b,4} &= I_{b,1} \cdot \left(\frac{U_{or,1}}{U_{or,4}} \right)_{T2} = 15,60 \cdot \frac{37}{10,5} = 54,99 \text{ kA} \end{aligned}$$

Hisoblangan bazis kuchlanishlar ularga mos o'rtacha kuchlanishlarga teng bo'lar ekan, shuning uchun taqribiy keltirishda yuqoridagi amallar bajarilmaydi va barcha kuchlanish pog'onalarida hisoblarsiz $U_{b,i} = U_{or,i}$ qabul qilinadi.

Rejim parametrlari:

$$E_{*1} = E_{*(n)} \cdot U_{or,3} / U_{b,3} = 1,08 \cdot 6,3 / 6,3 = 1,08;$$

$$E_{*2} = E_{*(n)} \cdot U_{or,4} / U_{b,4} = 0,85 \cdot 10,5 / 10,57 = 0,85;$$

$$E_{*3} = U_{or,2} / U_{b,2} = 115 / 115 = 1.$$

Shunday qilib, taqribiy keltirishda EYUK larning nisbiy qiymatlari nominal va bazis shartlarida bir biriga teng ekan: $E_{*(b)} = E_{*(n)}$.

Sistema parametrlari:

$$X_{*1} = X_{d*(n)}'' \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} \cdot \left(\frac{U_{or,3}}{U_{b,3}} \right)^2 = 0,115 \cdot \frac{1000}{15} \cdot \left(\frac{6,3}{6,3} \right)^2 = 7,667 \text{ yoki}$$

$$X_{*1} = X_{d*(n)}'' \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} = 0,115 \cdot \frac{1000}{15} = 7,667;$$

$$X_{*2} = X_{*(n)} \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} = 0,35 \cdot \frac{1000}{12} = 26,167; \quad X_{*3} = \frac{u_{kV}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 4,3;$$

$$X_{*4} = 0; \quad X_{*5} = \frac{u_{kN}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 2,7;$$

$$Z_{*6} = Z_W \cdot \ell \cdot \frac{S_b}{U_{b,1}^2} = 0,483 \cdot 10 \cdot \frac{1000}{37^2} = 3,528; \quad X_{*7} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} = \frac{10}{100} \cdot \frac{1000}{16} = 6,25.$$

Al-mashlash sxemani (2.21-rasm) eng sodda ko'rinishga keltiramiz (2.22-rasm):

$$\begin{aligned}
 X_{*8} &= X_{*1} + X_{*5} = 7,667 + 2,7 = 10,367; \\
 X_{*9} &= X_{*3} // X_{*8} = 4,3 // 10,367 = 3,0393; \\
 X_{*10} &= X_{*9} + X_{*4} + Z_{*6} = 3,0393 + 0 + 3,528 = 6,567; \\
 X_{*11} &= X_{*2} + X_{*7} = 29,167 + 6,25 = 35,417; \\
 E_{*4} &= \frac{E_{*1} \cdot X_{*3} + E_{*3} \cdot X_{*8}}{X_{*3} + X_{*8}} = \frac{1,08 \cdot 4,3 + 1 \cdot 10,367}{4,3 + 10,367} = 1,0234.
 \end{aligned}$$

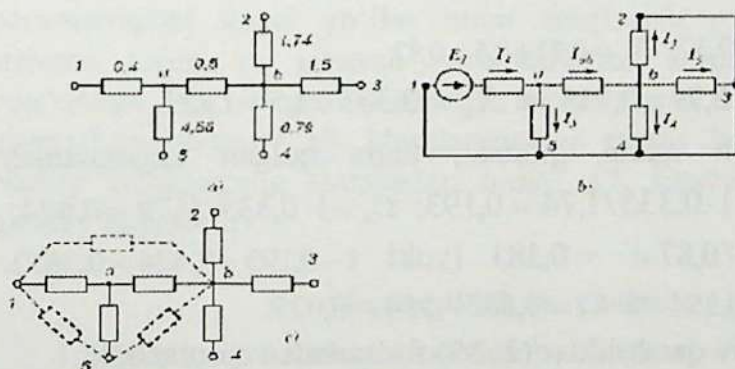
2.5-MASALA. 2.23,a-rasmdagi sxema elementlari yonida ularning reaktiv qarshiliklari ko'rsatilgan. quyidagilarni aniqlash talab etiladi: a) birlik toklari usulini qo'llab, 1-tugunga nisbatan xususiy qarshilikni va ushbu tugun va 2, 3, 4-tugunlar 5-tugunga nisbatan o'zaro qarshiliklarni; b) sxemani ekvivalent almashtirish yo'li bilan xuddi shu qiymatlarni; c) taqsimlanish koeffitsientlarni va 1, 2, 4, 5-tugunlar (manbalar ulangan) va 3-tugun (potensial nolga teng deb faraz qilingan nuqta)ga nisbatan o'zaro qarshiliklarni.

Yechish:

Ko'rsatilgan tartibda yechishni bajaramiz.

a) qandaydir EYUK faqat 1-nuqtaga berilgan deb faraz qilamiz. qolgan chekka nuqtalardan berk kontur hosil qilamiz (2.23,b-rasm).

Uchinchi tokni birga teng deb qabul qilib olamiz $I_3 = 1$, unda kuchlanish $U_b = 1,5$ va toklar $I_2 = 1,5/1,74 = 0,86$ va $I_4 = 1,5/0,79 = 0,86$; *ab* uchastkada $I_{ab} = 1 + 1,9 + 0,86 = 3,76$.



2.23-rasm. 2.4-masalaga oid: a) dastlabki sxema; b) birlik toklari usuliga oid; c) sxemani ekvivalent almashlash usuliga oid.

Kuchlanish $U_a = 1,5 + 0,5 \cdot 3,76 = 3,38$; toklar $I_5 = 3,38/4,56 = 0,74$ va $I_1 = 3,76 + 0,74 = 4,5$; EYUK $E_1 = 3,38 + 4,5 \cdot 0,4 = 5,2$.

Topish talab etilgan reaktiv qarshiliklar: $X_{11} = E_1 / I_1 = 5,2 / 4,2 = 1,15$;
 $X_{12} = E_1 / I_2 = 5,2 / 0,86 = 6,05$; $X_{13} = E_1 / I_3 = 5,2$; $X_{14} = E_1 / I_4 = 5,2 / 1,9 = 2,74$
 va $X_{15} = E_1 / I_5 = 5,2 / 0,74 = 7$. $X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}$ qarshiliklar parallel ulan-
 gan deb, $X_{12} // X_{13} // X_{14} // X_{15} = 6,05 // 5,2 // 2,74 // 7 = 1,15 = X_{11}$ ga ishonch
 hosil qilish mumkin.

b) 1, b, 5-tugunlarga ulangan va a-tugunda birlashib yulduz hosil
 qilgan qarshiliklarni ekvivalent uchburchak ulanishga keltiramiz (2.23,
 c-rasm): $X_{1b} = 0,4 + 0,5 + (0,4 \cdot 0,5) / 4,56 = 0,94$; $X'_{15} = 0,4 + 4,56 + (0,4 \cdot 4,56) / 0,5 = 8,61$
 va $X_{5b} = 0,5 + 4,56 + (0,5 \cdot 4,56) / 0,4 = 10,76$.

Unda b-tugunda besh nurli yulduz hosil bo'ladi. Endi ko'p nurli
 yulduzchani to'la ko'pburchakka o'zgartiramiz, ya'ni (2.33)-
 formulalarni qo'llaymiz. Barcha nurlarning summaviy o'tkazuv-
 chanligini

$$\Sigma Y = \frac{1}{0,94} + \frac{1}{1,74} + \frac{1}{1,5} + \frac{1}{0,79} + \frac{1}{10,76} = 3,66$$

va topish kerak bo'lgan reaktiv qarshiliklarni aniqlaymiz:
 $X_{12} = 0,94 \cdot 1,74 \cdot 3,66 = 6,05$; $X_{13} = 0,94 \cdot 1,5 \cdot 3,66 = 5,2$; $X_{14} = 0,94 \cdot 0,79 \cdot 3,66 = 2,74$;
 X_{15} ni aniqlashda qo'shimcha X'_{15} parallel shaxobcha hisobga olinishi
 kerak, ya'ni $X_{15} = 0,94 \cdot 10,76 \cdot 3,66 // 8,61 = 7$. Bu yerdagi natijalar
 yuqoridagi natijalar bilan bir xil chiqdi.

c) avval 3-nuqtaga nisbatan sxemaning natijaviy qarshiligini
 topamiz:

$$X_7 = 0,4 // 4,56 = 0,37; X_8 = 0,37 + 0,5 = 0,87;$$

$$X_9 = 0,87 // 1,74 // 0,79 = 0,335 \text{ va } X_{\Sigma} = 0,335 + 1,5 = 1,835.$$

$I_3 = C_3 = 1$ deb qabul qilamiz, unda qolgan taqsimlanish
 koeffitsientlari: $C_2 = 1 \cdot 0,335 / 1,74 = 0,193$; $C_4 = 1 \cdot 0,335 / 0,79 = 0,424$;

$$C_1 + C_5 = 1 \cdot 0,335 / 0,87 = 0,383 \text{ (yoki } 1 - 0,193 - 0,424 = 0,383),$$

$$C_1 = 0,383 \cdot 0,37 / 0,4 = 0,354 \text{ va } C_5 = 0,383 - 0,354 = 0,029.$$

Ekvivalent reaktiv qarshiliklar (2-35)-formuladan aniqlanadi:

$$X_{13} = 1,835 / 0,354 = 5,2 \text{ (oldingi natijaga kelamiz);}$$

$$X_{23} = 1,835 / 0,193 = 9,55; X_{43} = 1,835 / 0,424 = 4,34 \text{ va}$$

$$X_{43} = 1,835 / 0,029 = 63,3.$$

Tayanch soʻzlar va iboralar:

Qisqa tutashuv (QT), oʻtkinchi qarshilik, "metallik" QT; uch, bir, ikki va ikki fazali yerga QT lar, oddiy tutashuv, elektr sistema (ES)ning dastlabki hisobiy sxemasi, ES ning almashlash sxemasi, elektr uzatish liniyasi, reaktor, motor, transformator va sinxron generatorlarning almashlash sxemalari, EYUK va qarshiliklari; nomli birliklar va nisbiy kattaliklar, xususi va oʻzaro oʻtkazuvchanlik va toklar.

Oʻz-oʻzini sinash savollari:

1. Elektromagnit oʻtkinchi jarayonlarda qaysi rejim parametrlari oʻzgaruvchan, qaysilari esa oʻzgarmas deb koʻriladi? 2. Elektromagnit oʻtkinchi jarayonlar qaysi tezlikda (1/s) oʻtadi? 3. Barcha elektromagnit oʻtkinchi jarayonlardan eng koʻp tarqalgani va eng ogʻir kechadigani, ularning paydo boʻlishiga asosiy sababchisi? 4. Qisqa tutashuvlar taʼsirida nimalar kuzatish mumkin? 5. Qisqa tutashuv turlari va ularni sodir boʻlish ehtimolligi qanday? 6. Qisqa tutashuvning hisoblash vazifasi va maqsadi deganda nima tushiniladi? 7. Qisqa tutashuv toklarini hisoblashda qanday asosiy hisobiy farazlar qabul qilingan? 8. Boshlangʻich hisobiy shartlarni aniqlash nimalarni tanlashdan iborat? 9. d, q koordinat sistemasini tushuntiring. 10. Elektr sistema elementlarining qarshiliklari? 11. Umumlashgan yuklama tugunining EYUK va qarshiligining nisbiy qiymatlari. 12. Almashlash sxema elementlarining parametrlarini qaysi yoʻllar bilan aniqlanish mumkin? 13. Elektr sistema rejim va sistema parametrlarini nomli birliklarda bazis pogʻonaga aniq va taqribiy keltirish formulalarini keltiring. 14. Bazaviy qiymatlarni ayting? 15. Nomlangan va nisbiy kattaliklar nima? 16. Nisbiy birliklarning kattaliklari nima? 17. Ekvivalent oʻzgartirishlar qanday bajariladi?

Mustaqil ish mavzulari:

1. Sinxron generator almashlash sxemasi X_d, X'_d, X''_d qarshiliklarining fizik maʼnosi. 2. Ekvivalent oʻzgartirishlar. [1,6]. Referat.

Test savollari:

1. Qisqa tutashuvning qanday turlari mavjud?

A) ikki fazali yerga B) uch fazali, ikki fazali, bir fazali, ikki fazali

C) bir fazali D) uch fazali

2. Eng ko'p uchraydigan qisqa tutashuv?

A) bir fazali B) ikki fazali

C) ikki fazali yerga D) uch fazali

3. Radial tarmoqda uch fazali QT paytida tok va kuchlanishlar qiymatlari qanday o'zgaradi?

A) tok va kuchlanishlar oshadi

B) tok va kuchlanishlar kamayadi

C) kuchlanish oshadi, tok kamayadi

D) tok oshadi, kuchlanish kamayadi

4. Qisqa tutashuvni keltirib chiqaruvchi sabablar nimalar?

A) liniyaning katta quvvatni o'tkaza olmasligi

B) transformatorning o'ta yuklanish ish rejimi

C) rejim parametrlarining ruxsat etilgan og'ishlari

D) tok o'tkazuvchi qismlarning hamda elektr jihozlarining izolyatsiyalari buzilishi

5. Qisqa tutashuvning qaysi turi simmetrik?

A) uch fazali B) bir fazali

C) ikki fazali D) ikki fazali yerga

6. Qisqa tutashuv (QT) toki nimaga bog'liq?

A) QT joyidan manbaning uzoq yaqinligiga

B) QT vujudga kelgan vaqtga va qisqa tutashuv turiga

C) QT joyini ta'minlovchi manba quvvatiga va uning uzoq yaqinligiga, QT vujudga kelgan vaqtda va QT turiga

D) QT joyini ta'minlovchi manba quvvatiga

7. Qisqa tutashuv rejimi deb... aytiladi.

A) elektr sistemasining normal ish rejimi

B) elektr sistemasining o'ta kuchlanish rejimi

C) ta'minlovchi manbai zanjiriga nisbatan kichik qarshilik orqali tutashgan hol

D) elektr sistemasining biror bir bo'lagi uzilgan chog'dagi rejim

8. Elementning almashlash sxemasi nimadan iborat?

A) elementning analitik tasviridan

B) elektr zanjirining oddiy elementlari: induktivlik, sig'im, aktiv qarshiliklarning o'zaro bog'lanishidan

C) elementning grafik tasviridan

D) elementning soddalashtirilgan ko'rinishi

9. Murakkab sistemaning almashlash sxemasi nimadan iborat? ... almashlash sxemalaridan

- A) Transformatorlarning
- B) Generatorlarning
- C) Elektr uzatish liniyalari
- D) Sistemaning alohida

elementlari

10. Soddalashtirilgan bir liniyalı sxema bilan ifodalanib, unda ta'minlash manbalar va manbalarni QT nuqtalari bilan bog'lovchi tarmoq elementlari va QT tokiga ta'sir etadigan ularning parametrlari ko'rsatiladigan sxema qanday nomlanadi?

- A) tarmoqning hisobiy sxemasi
- B) sistemaning ekvivalent sxemasi
- C) tarmoqning almashlash sxemasi
- D) sistemaning prinsipial sxemasi

11. Generatorning o'ta o'tkinchi EYUK si?

- A) $E_q^* = \sqrt{\cos^2 \varphi + (\sin \varphi - X_d'')^2}$
- B) $E_q^* = \sqrt{\cos^2 \varphi + (\sin \varphi + X_d'')^2}$
- C) $E_q^* = \sqrt{\cos^2 \varphi - (\sin \varphi + X_d'')^2}$
- D) $E_q^* = \sqrt{\sin^2 \varphi + (\cos \varphi + X_d'')^2}$

12. Elektr uzatish liniyalarining almashtiruv sxemalari qanday ko'rinishda bo'ladi?

- A) S- va Γ -simon B) O- va III-simon
- C) T- va II-simon D) T-yoki Γ -simon

13. Transformatorlarning almashtiruv sxemalari qanday ko'rinishda bo'ladi?

- A) T- yoki Γ -simon B) T- va II-simon
- C) III- va Γ -simon D) O- va III-simon

14. Qaysi koordinatalar sistemasi aylanuvchi?

- A) uch fazali sistemaga bog'liq (A, B, C)
- B) dekart koordinat sistemasi (x,y,z)
- C) yassi ikki o'qli uch fazali sistemaga bog'liq (a, b, 0)
- D) rotorga bog'liq bo'lib, bo'ylama va ko'ndalang o'qlarga ega (d,q,0)

15. Kuchlanishi 1000 V dan katta bo'lgan elektromotorlar bevosita QT nuqtasi bilan ulangan bo'lsa hisobiy sxemaga nima sifatida kiritiladi?

- A) ko'shimcha generator manbai
- B) aktiv qarshilik C) to'la qarshilik
- D) reaktiv qarshilik

16. To'g'ri javobni toping.

- A) d va q fazoda
qo'zg'almasdir
B) d va q o'qlar rotor
aylanish tezligida aylanadi
C) d va q o'qlar statorning
magnit maydoni tezligida
aylanadi
D) d o'qi aylanadi, q o'qi esa
aylanmaydi

**17. Almashlash sxemalarini
soddalashtirish darajasi
nimaga bog'liq?**

- A) elektr sistema rejimiga
B) muayyan hol uchun
qo'yilgan aniq masalaga va
talab etilgan hisoblash
aniqligiga
C) elektr sistema
murakkabligiga
D) elektr sistema quvvatiga

**18. Almashlash sxemasi ...
vositalaridan biri hisoblanadi.**

- A) aktiv va passiv
to'rtqutblikdan iborat
B) matematik amallar
asosiga qo'yilgan
C) o'rganilayotgan
jarayonlar haqidagi tasavvurni
soddalashtiruvchi va murakkab
jarayonlar tenglamalarini
tuzilishni yengillashtiruvchi
D) statik xarakteristikalarini
tahlil qilish paytida
qo'llaniluvchi

**19. Haqiqiy transformatsiya
koeffitsientlarini va
almashlash sxema
elementlarining nominal
kuchlanishlarini o'rtacha
nominal kuchlanishlar
shkalasi bo'yicha almashtirish
qachon qo'llaniladi?**

- A) amaliy hisoblarda
B) aniq hisoblarda
C) analitik aniq hisoblarda
D) taxminiy amaliy
hisoblarda

**20. Bazis shartlar nima
bilan beriladi?**

- A) bazis quvvat
B) bazis yoki o'rtacha
hisobiy kuchlanish
C) bazis quvvat, bazis
kuchlanish, bazis tok va bazis
qarshiliklar
D) bazis toklar

**21. Kuchlanishni keltirish
formulasi?**

- A) $\dot{U} = U / (K_1 K_2 \dots K_n)^2$
B) $\dot{U} = U (K_1 K_2 \dots K_n)^2$
C) $\dot{U} = U (K_1 \cdot K_2 \dots K_n)$
D) $\dot{U} = U / (K_1 K_2 \dots K_n)$

**22. EYUKni keltirish
formulasi?**

- A) $\dot{E} = E (K_1 \cdot K_2 \dots K_n)$
B) $\dot{E} = E / (K_1 K_2 \dots K_n)^2$
C) $\dot{U} = U / (K_1 K_2 \dots K_n)$
D) $\dot{E} = E / (K_1 K_2 \dots K_n)$

23. Qarshilikni keltirish formulasi?

- A) $\dot{Z} = Z / (K_1 K_2 \dots K_n)$
- B) $\dot{X} = X \cdot (K_1 K_2 \dots K_n)^2$
- C) $\dot{Z} = Z \cdot (K_1 K_2 \dots K_n)$
- D) $\dot{Z} = Z / (K_1 K_2 \dots K_n)^2$

24. Tokni keltirish formulasi?

- A) $\dot{I} = I / (K_1 K_2 \dots K_n)$
- B) $\dot{I} = I (K_1 K_2 \dots K_n)^2$
- C) $\dot{I} = I / (K_1 K_2 \dots K_n)^2$
- D) $\dot{I} = I \cdot (K_1 K_2 \dots K_n)$

25. Tarmoq sxemasi bir yoki bir necha transformatsiya pog'onasidan iborat bo'lsa ekvivalent almashtirish sxemasini qurish uchun nima bajariladi?

- A) transformatsiya koeffitsientlari hisoblanadi
- B) transformatsiyaning asosiy yoki bazaviy pog'onasi tanlanadi va qolgan pog'onalaridagi elektr qiymatlari asosiy pog'ona kuchlanishiga keltiriladi
- C) barcha elementlar o'z almashlash sxemalari bilan kiritiladi
- D) QT nuqtasi bazaviy pog'ona sifatida tanlanadi

26. Keltirish ifodalarida transformatsiya koeffitsientlari qanday aniqlanadi?

- A) generator pog'onasidan boshlab, ko'rilyotgan pog'ona tomoniga qarab aniqlanadi
- B) transformator pog'onasidan boshlab, asosiy pog'ona tomoniga qarab aniqlanadi
- D) asosiy (bazaviy) pog'onadan boshlab, ko'rilyotgan pog'ona tomoniga qarab aniqlanadi

27. Bazis shartlar deb nimaga aytiladi?

- A) turli dastlabki ma'lumotlar asosida hisoblangan QT zanjirlarining barcha qarshiliklari uchun hisobiy shartlar
- B) qisqa tutashuvni yuzaga keltiruvchi shartlar
- C) sistema rejimiga ta'sir etmaydigan shartlar
- D) elektr sistema sxemalarida o'zgarishlar talab etuvchi shartlar

28. Qisqa tutashuv zanjirida nisbiy qarshilik deganda nimalar nisbati tushuniladi?

A) zanjir elementidagi kuchlanish pasayishini zanjirning o'rtacha tokiga

B) zanjiridagi kuchlanish pasayishini zanjir to'la quvvatiga

C) zanjir elementidagi kuchlanish pasayishini zanjirning ulushlarda olingan o'rtacha kuchlanishiga

D) zanjiridagi kuchlanish pasayishini o'tkazuvchanlikka

29. O'rtacha nominal kuchlanishlar shkalasiga binoan noto'g'ri kuchlanishni (kV) toping.

A) 115 B) 35 C) 230 D) 10,5

30. Umumlashgan liniya qarshiligi $X_{so\pi}$ ni toping.

A) 0,4 B) 0,2 C) 0,85 D) 0,35

31. $\dot{U} = \dot{U} \frac{U_{o'r,b}}{U_{o'r}}$ formula

qanday usul bo'yicha tuzilgan?

A) nomlangan birliklarda aniq keltirish

B) nisbiy birliklarda taxminiy keltirish

C) nisbiy birliklarda aniq keltirish

D) nomlangan birliklarda taxminiy keltirish

32. Umumlashgan yuklama qarshiligi X_{yuk*} ni toping.

A) 0,85 B) 0,53 C) 0,4 D) 0,35

33. Umumlashgan yuklama EYUK si E''_{yuk*} ni toping.

A) 0,35 B) 1 C) 0,85 D) 0,4

34.

$$u_{kB\%} = (u_{kB-C} + u_{kB-H} - u_{kC-H})/2 -$$

... taalluqli.

A) ikki chulg'amli transformatorga

B) uch chulg'amli avtotransformatorga

C) ikkilangan reaktorga

D) uch chulg'amli transformator va avtotransformatorga

$$35. X = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} - \text{bu ...}$$

ning qarshiligi (Om).

A) transformator B) generator

C) liniya D) yuklama

$$36. X = X_d = X_{d(nom)} \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} -$$

bu ... ning qarshiligi (Om).

A) liniya B) transformator

C) yuklama D) generator

38. $X = X'' = 0,35 \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}$ – bu

... ning qarshiligi (Om).

- A) transformator B) generator
B) C) ekvivalent yuklama D) liniya

39. Hisob nisbiy birliklarda olib borilsa, to'rtta bazis birlikdan (S_b , U_b , I_b , Z_b) nechitasi ixtiyoriy tanlab olinadi?

- A) bittasi B) ikkitasi
C) uchitasi D) to'rttasi

40. Nisbiy birlikning asosiy afzalliklari nimadan iborat?

A) sistemaning har xil nuqtalari uchun hisoblangan natijalar tez solishtiriladi hisoblash birga yaqin bo'lgan kattaliklar bilan olib borilishi xatolik ehtimolini kamaytiradi, chunki katta chetga og'ishlar darhol ko'rinadi

B) bir o'lchov sistemasidan boshqa o'lchov sistemasiga o'tishga hamda oniy va amplituda qiymatlarini maxsus belgilashga ehtiyoj qolmaydi

C) sistemaning har xil nuqtalarida hisoblangan natijalar tez solishtiriladi; xatolik ehtimoli kamayadi;

D) bir o'lchov sistemasidan boshqa o'lchov sistemasiga o'tishga ehtiyoj qolmaydi

41. Qaysi bazaviy qiymat uchun noto'g'ri ifoda berilgan?

A) $Z_b = \frac{I_b}{\sqrt{3} U_b}$

B) $I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} U_b}$

C) $S_b = 1000 \text{ MVA}$

D) $S_b = 100 \text{ MVA}$

42. Nisbiy qarshilik uchun qaysi ifoda noto'g'ri berilgan?

A) $Z_{(b)} = Z \frac{S_b}{U_b^2}$

B) $X_{(b)} = X \frac{\sqrt{3} I_b}{U_b}$

C) $R_{(b)} = \frac{R}{Z_b}$

D) $Z_{(b)} = Z \frac{\sqrt{3} U_b}{I_b}$

43. $X_{(b)} = X_{sol} \cdot l \cdot \frac{S_b}{U_{ort}^2} - \dots$

taalluqli.

- A) generatorga (n.b.)
B) transformatorga (n.b.)
C) elektr uzatish liniyasiga (n.b.)
D) reaktorga (n.b.)

44. $X_{(b)} = \frac{u_{z\%}}{100} \frac{S_b}{S_{nom}} - \dots$

taalluqli.

- A) generatorga (n.b.)
B) transformatorga (n.b.)
C) elektr uzatish liniyasiga (n.b.)
D) reaktorga (n.b.)

$$45. X_{*b} = X_{*d} \frac{S_b}{S_{nom}} - \dots$$

taalluqli.

- A) generatorga (n.b.)
B) transformatorga (n.b.)
C) elektr uzatish liniyasiga
(n.b.)

D) reaktorga (n.b.)

46. To'g'ri javobni toping
(nisbiy birlikda).

A) $X_* = X_{[OM]} \cdot \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}$

B) $X_* = X_{[OM]} \cdot \frac{S_{nom}}{U_{nom}}$

C) $X_* = X_{[OM]} \cdot \frac{S_{nom}}{U_{nom}^2}$

D) $X_* = X_{[OM]} \cdot K_T^2$

46. QT toki (kA) uchun
to'g'ri javobni toping.

A) $I_k = I_{nomG} \cdot \frac{E_{*Σ}}{I_{k*}}$

B) $I_k = I_b \cdot \frac{E_{*Σ}}{X_{Σ[OM]}}$

C) $I_k = I_b \cdot \frac{E_{*Σ}}{I_{k*}}$

D) $I_k = I_b \cdot \frac{E_{*Σ}}{X_{*Σ}}$

47. $X_{12} = X_1 + X_2 + X_1 X_2 / X_3 - \dots$

ulanish qarshiligi.

- A) uchburchak B) yulduz
C) ketma-ket D) parallel

48. $X_{*cb} = X_1 \cdot X_2 / (X_1 + X_2) - \dots$

ulanish qarshiligi.

- A) parallel B) ketma-ket
C) yulduz D) uchburchak

49. $X_{12} = X_1 + X_2 + X_1 X_2 / X_3 - \dots$

ulanish qarshiligi.

- A) yulduz B) uchburchak
C) ketma-ket D) parallel

50. $X_1 = \frac{X_{12} X_{31}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}} - \dots$

ulanish qarshiligi.

- A) parallel B) uchburchak
C) yulduz D) ketma-ket

51. Xususiy tok deganda ...

tok tashkil etuvchisi
tushuniladi.

A) boshqa tarmoq EYUK
ta'sirida (qolgan EYUK lar nol
bo'lganda) biror bir tarmoqda
yuzaga kelgan

B) boshqa tarmoqdagi
EYUK ta'sirida parallel
tarmoqlarda yuzaga kelgan

C) ixtiyoriy tarmoqdagi
EYUK ta'sirida ketma - ket
tarmoqlarda yuzaga kelgan

D) ixtiyoriy tarmoqda shu
tarmoqqa qo'yilgan EYUK
ta'sirida (qolgan EYUK lar nol
bo'lganda) yuzaga kelgan

52. O'zaro tok deganda ...
yuzaga kelgan tok tashkil
etuvchisi tushuniladi.

A) boshqa tarmoq EYUK
ta'sirida (qolgan EYUKlar nol
bo'lganida) biror bir tarmoqda

B) ixtiyoriy tarmoqda shu
tarmoqqa qo'yilgan EYUK
ta'sirida (qolgan EYUK lar nol
bo'lganida)

C) ixtiyoriy tarmoqdagi EYUK ta'sirida ketma – ket tarmoqlarda

D) boshqa tarmoqdagi EYUK ta'sirida parallel tarmoqlarda

53. Qarshiliklarga ega bo'lgan ikkita EYUK parallel ulanganda, ularning ekivalent EYUK si nimaga teng?

A) $E_{\text{ЭК}} = \frac{E_1 \cdot X_2 \cdot E_2 \cdot X_1}{X_1 + X_2}$

B) $E_{\text{ЭК}} = \frac{E_1 \cdot X_2 + E_2 \cdot X_1}{X_1 + X_2}$

C) $E_{\text{ЭК}} = \frac{E_1 \cdot X_2 + E_2 \cdot X_1}{X_1 \cdot X_2}$

D) $E_{\text{ЭК}} = \frac{E_1 \cdot X_1 + E_2 \cdot X_2}{X_1 + X_2}$

54. Xususiy o'tkazuvchanlik nima?

A) xususiy tokning eng katta qiymatli EYUKga nisbati

B) o'zaro tokning eng kichik qiymatli EYUKga nisbati

C) mazkur tarmoqdagi EYUK ta'siridan yuzaga kelgan tok tashkil etuvchisining kompleks qiymatini barcha qolgan EYUK lar nol bo'lganida aniqlaydi

D) bir tarmoqda boshqa tarmoqdagi EYUK ta'sirida boshqa barcha EYUK lar nol bo'lganida yuzaga kelgan tokini aniqlaydi

55. O'zaro o'tkazuvchanlik nima?

A) xususiy tokning eng katta qiymatli EYUKga nisbati

B) o'zaro tokning eng kichik qiymatli EYUKga nisbati

C) mazkur tarmoqdagi EYUK ta'siridan yuzaga kelgan tok tashkil etuvchisini barcha qolgan EYUKlar nol bo'lganida aniqlaydi

D) bir tarmoqda boshqa tarmoqdagi EYUK ta'sirida boshqa barcha EYUKlar nol bo'lganida yuzaga kelgan tokning kompleks qiymatini aniqlaydi

56. Xususiy va o'zaro o'tkazuvchanliklar qaysi usullar bilan oson topiladi?

A) o'zgaruvchilarni almashlash usullari

B) ekvivalent o'zgartirishlar usuli yoki birlik toklar usuli

C) ustma-ustlash (yoki superpozitsiya) usuli

D) noma'lumlarni yo'qotish usullari

nolga teng deb qabul qilinadi ($X_s = 0$, $R_s = 0$). Sistemani manba sifatida ko'rish QTlar hisobida keng qo'llaniladi (ushbu paragrafda ham shunday manbali elektr sistemani ko'ramiz), chunki manbaning kuchlanishi o'zgarmasligi sharti hisoblashni ancha soddalashtiradi.

Yuqorida ko'rsatilgan ekvivalent o'zgartirishlar yordamida har qanday shaxobchalangan elektr sistema zanjirining almashlash sxemasini eng sodda ko'rinishiga olib kelish mumkin. Shuning uchun simmetrik bo'lgan uch fazali qisqa tutashuvi $K^{(3)}$ yuzaga kelgan eng sodda elektr sistemani ko'ramiz (3.2-rasm).

Simmetrik uch fazali zanjirda barcha fazalarni bir nuqtada tutashishi ularni qarshiligini kamaytirishga olib keladi, ammo tok va kuchlanishlarni simmetrikligini buzmaydi. Shuning uchun uch fazali QT ning o'tkinchi jarayonini faqat bir faza uchun ko'rish kifoya.

Zanjirda elektromagnit energiyani to'plash qobiliyatiga ega bo'lgan elementlar mavjud bo'lib, QT da energiyani qayta taqsimlanishi yuz beradi va natijada o'tkinchi jarayon tokining oniy qiymati normal rejimdagi tokka nisbatan ancha oshib, kuchlanish esa kamayib ketishi mumkin. Masalan, generatorning statori chulg'amida tok bir onda oshishi mumkin emas, chunki stator chulg'ami va QT zanjirida induktivlik mavjud va kommutatsiya 1-qonuni bajarilishi shart.

3.1. Cheksiz quvvatli shinalarga ulangan eng sodda zanjirda uch fazali qisqa tutashuv

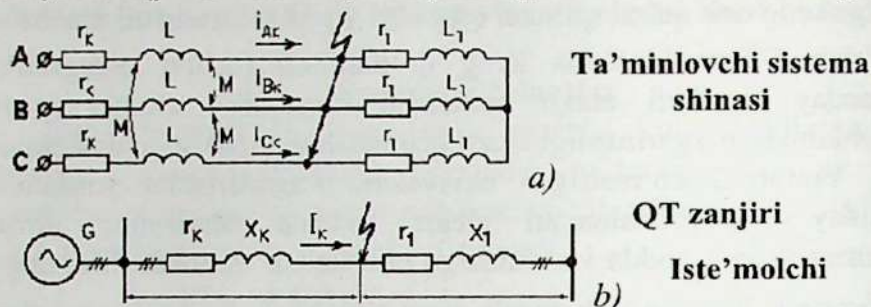
Cheksiz quvvatli shinalarga ulangan eng sodda zanjirda (3.2-rasm) uch fazali qisqa tutashuvni ko'ramiz. QT shartli ravishda sxemani ikkita mustaqil simmetrik qismlarga bo'ladi, bunda qisqa tutashuv nuqtasida kuchlanish nolga teng bo'ladi. Sinusoidal kuchlanish manbaga (masalan, A faza kuchlanishi — $u_A = U_{Am} \sin(\omega t + \alpha)$) ulangan chap qismning A fazasi uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha tuzilgan differensial tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$i_{Ak} r_k + L \frac{di_{Ak}}{dt} + M \frac{di_{Bk}}{dt} + M \frac{di_{Ck}}{dt} = u_A \quad (3.1)$$

va $i_A = -(i_B + i_C)$ shartni hisobga olgan holda:

$$i_{Ak} r_k + L \frac{di_{Ak}}{dt} = u_A, \quad (3.2)$$

bu yerda $L_k = L - M$ – QT zanjirining ekvivalent induktivligi.



3.2-rasm. Uch fazali elektr zanjirda eng sodda QT ($K^{(3)}$): a) fazalar o'rtasida o'zaro induktivliklari bo'lganda; b) xuddi shu zanjir o'zaro induktivliklari bo'lmagan va bir chiziqli sxema bilan tasvirlanganda.

3.1.1. QT tokining periodik va aperiodik tashkil etuvchilari

3.2-tenglama birinchi darajali bir jinsli bo'lmagan differensial tenglamadir. Uning yechimi ikkita yechimning yig'indisi deb olinadi:

- bir jinsli bo'lmagan differensial tenglamaning xususiy yechimi (majburiy tok, ya'ni QT tokining periodik tashkil etuvchisi – $\dot{i}_p$),
- bir jinsli bo'lgan differensial tenglamaning umumiy yechimi (erkin tok, ya'ni QT tokining aperiodik tashkil etuvchisi – $\dot{i}_a$).

Demak o'tkinchi jarayon paytida A fazadagi QT to'la tokining oniy qiymati ikkita tashkil etuvchidan: periodik (davriy) $\dot{i}_p$ va aperiodik (nodavriy) $\dot{i}_a$ toklardan tashkil topadi (3.3,b-rasm):

$$\dot{i}_k = \dot{i}_p + \dot{i}_a = \frac{U_{Am}}{Z_k} \cdot \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) + \dot{i}_a(0) \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}, \quad (3.3)$$

bunda $Z_k = \sqrt{r_k^2 + X_k^2}$ – manbaga ulangan zanjirning to'la qarshiligi;

α – faza kuchlanishi $u_A = U_{Am} \sin(\omega t + \alpha)$ ning boshlang'ich fazasi;

φ_k – QT toki va faza kuchlanishi orasidagi siljish burchagi (3.3,a-rasm);

$$T_a = \frac{L_k}{r_k} = \frac{X_k}{\omega r_k} = \frac{X_k}{314 r_k} - \text{QT toki aperiodik tashkil etuvchisi}$$

soʻnishi (QT zanjiri) ning vaqt doimiysi, (s).

3.1.2. Aperiodik tashkil etuvchining boshlangʻich qiymati va soʻnishning vaqt doimiysi

Tokning aperiodik tashkil etuvchisining boshlangʻich qiymati $t = 0$ vaqt momenti uchun quyidagi formula boʻyicha aniqlanadi:

$$i_a(0) = I_m \cdot \sin(\alpha - \varphi) - I_{pm} \cdot \sin(\alpha - \varphi_k), \quad (3.4)$$

bu yerda

$I_m \cdot \sin(\alpha - \varphi) = i_{An}(0)$ – normal (QT gacha) rejimda A faza tokining oʻtkinchi jarayon boshlanish momentidagi qiymati;

$I_{pm} \cdot \sin(\alpha - \varphi_k) = i_p(0)$ – QT tokining periodik tashkil etuvchisining boshlangʻich qiymati.

Normal rejimdagi tokning ulanish fazasiga koʻra QT tokning aperiodik tashkil etuvchisi maksimumdan nolgacha oʻzgarishi mumkin. QT gacha zanjir yuklanmagan (salt ishlash rejimda boʻlgan) deb shart qabul qilinsa, $\alpha - \varphi_k = 0$ boʻlganda QT tokning aperiodik tashkil etuvchisi bitta fazada butunlay yoʻq boʻlishi (lekin boshqa ikkita fazada albatta boʻladi) yoki $\alpha - \varphi_k = \pm \pi/2$ boʻlganda maksimumga erishishi mumkin.

Induktivligi katta boʻlgan zanjirlarda ($X_k \gg r_k$ – umumiy qoida boyicha) $\varphi_k \approx \pi/2$, $\alpha = 0$, yaʼni QT boshlanganda manba kuchlanishi noldan oʻtadi (3.3,b-rasm). Bu holda aperiodik tashkil etuvchining boshlangʻich qiymati va periodik tashkil etuvchining boshlangʻich qiymati periodik tashkil etuvchining amplitudasiga yetishi mumkin $i_{ao} = -i_{po} = -I_{pm}$.

3.1.3. Qisqa tutashuvning zarbaviy toki

Bu rejimda QT toʻla tokining boʻlishi mumkin boʻlgan maksimal oniy qiymati **zarbaviy tok** (i_{zrb}) deb ataladi. Faraz qilamiz $\alpha - \varphi_k = -\pi/2$, unda

$$i_k(t) = I_{pm} \cdot \sin(\omega t - \pi/2) - I_{pm} \cdot e^{-t/T_a}. \quad (3.5)$$

(3.5) dagi ikkinchi qo'shmani o'zgarmas deb olsak, zarbaviy tok $\sin(\omega t - \pi/2) = 1$ yoki $t = \pi/\omega = 1/2f = T/2$, ya'ni kommutatsiyadan taxminan yarim davr o'tgandan keyin paydo bo'ladi deb qabul qilinadi. $f = 50 \text{ 1/s}$ (Gerts) chastotada QTning to'la toki $t = 0,01$ sekunda maksimumga erishadi.

Demak zarbaviy tok:

$$i_{zrb} = I_{pm} + I_{pm} e^{-\frac{0,01}{T_a}} = k_{zrb} I_{pm}, \quad (3.6)$$

bu yerda

$$k_{zrb} = 1 + e^{-0,01/T_a} \quad (3.7)$$

– **zarbaviy koeffitsient** – to'la tokning maksimal oniy qiymati QT tokining periodik tashkil etuvchisi amplitudasiga nisbatan oshishini aniqlaydigan qiymat. Umumiy holda

$$k_{zrb} = 1 + e^{-t/T_a}. \quad (3.8)$$

$$\text{Odatda } 1 < k_{zrb} < 2 \quad (3.9)$$

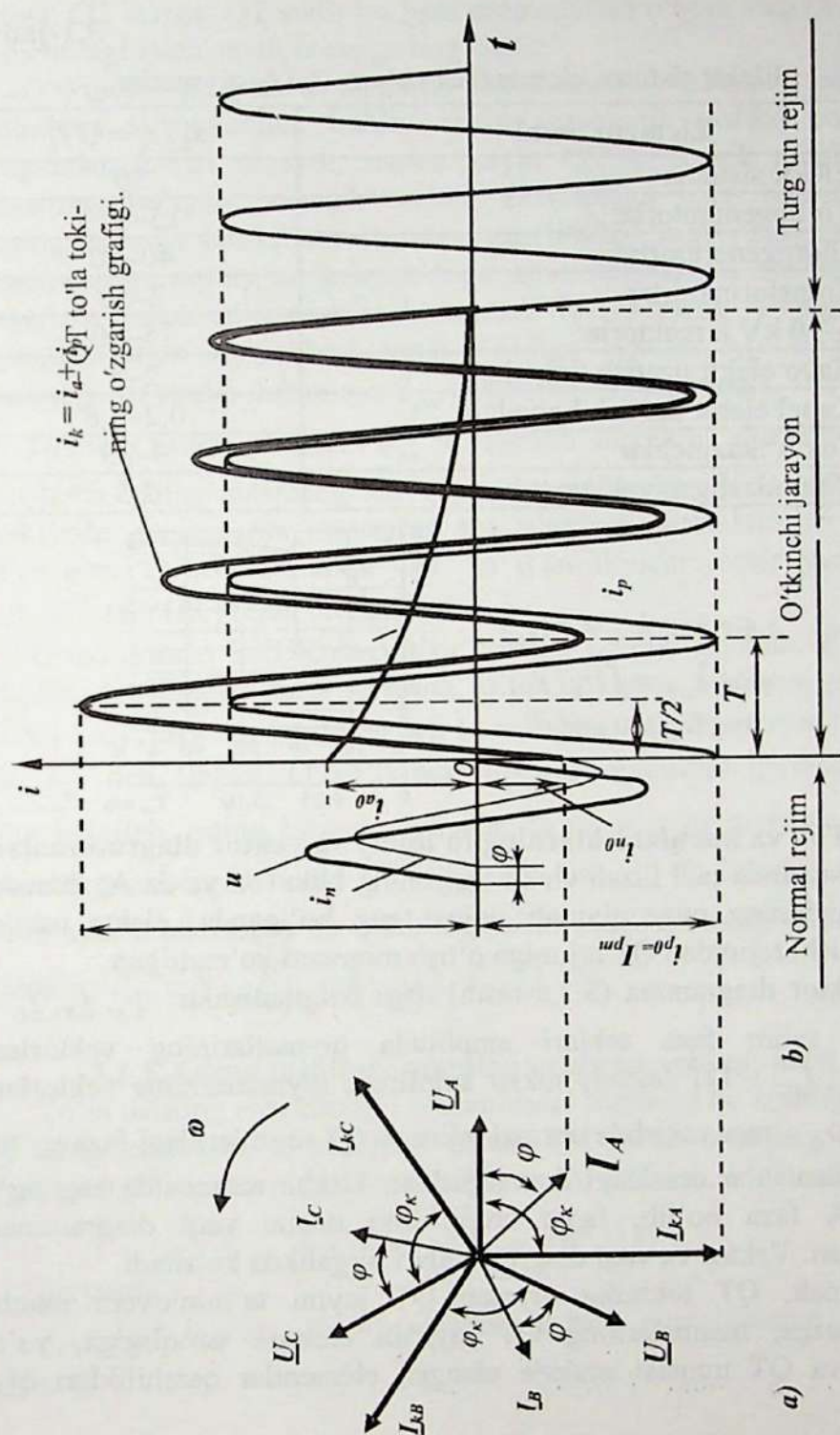
oraliqda bo'ladi. Amalda yuqori kuchlanishli liniyalarda

$$k_{zrb} \rightarrow 1,1 \div 1,8.$$

Agar T_a (ya'ni x_k va r_k lar) noma'lum bo'lsa, unda elektr energetik

sistemaning alohida elementlari uchun 3.1-jadvalda keltirilgan x_k/r_k qiymatlarni qo'llash mumkin.

3.4-rasmda zarbaviy koeffitsient QT zanjirining vaqt doimiysiga yoki aktiv va reaktiv qarshiliklar nisbatiga bog'liqliklari keltirilgan.



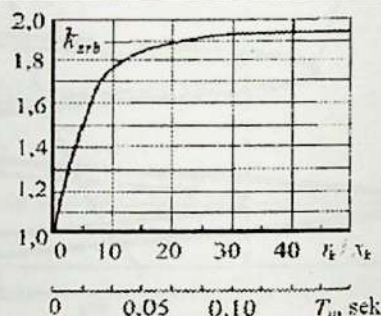
3.3-rasm. Cheksiz quvvatli manbadan ta'minlangan zanjirda QT tokining o'zgarishi (Energio sistemadan ta'minlanada QT zarbaviy tokini grafik usulida aniqlash): vektor (a) va vaqt (b) diagrammalari.

Elektr sistema elementlari uchun x_k/r_k qiymatlar.

Element nomi	$x_k/r_k = 1/T_a$
Elektr sistema	50
Turbogeneratorlar	15–150
Gidrogeneratorlar	40–90
Transformatorlar	7–50
6–10 kV li reaktorlar	15–80
Havo elektr uzatish liniyalari	2–8
Kabel elektr uzatish liniyalari	0,2–0,8
Tok o'tkazgichlar	9–25
Umumlashgan yuklama	2,5

3.4-rasm. $k_{zrb} = f(T_a)$ yoki $k_{zrb} = f(r_k/x_k)$

bog'liqliklar grafigi.

**3.1.4. Tok va kuchlanishlarning to'liqiniy va vektor diagrammalari**

3.2-rasmda uch fazali elektr zanjirning bitta (bu yerda A) fazasida kuchlanishining oniy qiymati nolga teng bo'lganda, elektr uskuna normal ishi rejimdan QT rejimiga o'tish momenti ko'rsatilgan.

Vektor diagramma (3.3,a-rasm) dagi belgilanishlar: I_A, I_B, I_C – normal rejim faza toklari amplituda qiymatlarining vektorlari, I_{kA}, I_{kB}, I_{kC} – QT fazaviy toklar amplituda qiymatlarining vektorlari, φ va φ_k – mos ravishda normal rejim va QT rejimlaridagi fazaviy tok va kuchlanishlar orasidagi faza siljishlar. Ushbu momentda eng og'ir ahvol A faza bo'lib, faqat uning toki uchun vaqt diagrammasi keltirilgan. Vektor va vaqt diagrammalari birgalikda ko'riladi.

Demak, QT tokining qiymati QT joyini ta'minlovchi manba quvvatlariga; manbalarning QT joyidan elektrik uzoqligiga, ya'ni manba va QT nuqtasi orasida ulangan elementlar qarshiliklari qiy-

matiga; QT turiga; QT sodir bo'lgan momentidan o'tgan vaqtga va shu momentdagi kuchlanish fazasiga bog'liqdir.

O'tkinchi jarayon o'zgaras kuchlanishli shinalar (sistema) tomonidan ta'minlangan holda tokning aperiodik tashkil etuvchisi so'ngandan keyin tugaydi, undan keyin QT to'la tok amplitudasi o'zgaras bo'lgan periodik tashkil etuvchisiga teng bo'ladi. QT tokning periodik tashkil etuvchisining amplitudasi vaqt o'zgarishi bilan o'zgarasligi, noturg'un jarayon faqat aperiodik tashkil etuvchisining o'zgarishi bilan aniqlanishini ko'rsatadi (3.3,b-rasm). U tugaganda keyingi turg'un rejim boshlanadi. QARga ega va ega bo'lmagan sinxron generatorlar uchun esa I_{pm} saqlanmaydi (3.1-rasm).

Demak, umumiy holda I_{pm} o'zgarishi mumkin, shuning uchun hisoblarda uning boshlang'ich qiymatini olish kerak. Boshlang'ich momentda generatorlar, motorlar, tugunlardagi umumlashgan yuklamalar o'tao'tkinchi qarshilik X'' va o'tao'tkinchi elektr yurituvchi kuch E'' (EYUK) bilan tavsiflanadi.

O'tao'tkinchi EYUKning ta'sir etuvchi fazaviy qiymati E'' bilan belgilanadi. Shunga mos ravishda, qisqa tutashuv tokining periodik tashkil etuvchisining boshlang'ich ($t = 0$ dagi) qiymati **o'tao'tkinchi tok I_p''** deb ataladi. O'tao'tkinchi tokning maksimal qiymatini I_{pm}'' bilan belgilab, uning birinchi davrdagi ta'sir etuvchi qiymati esa I_k'' kabi belgilanadi. U holda $I_k'' = I_{pm}'' / \sqrt{2}$ deb, (3.6) da almashtirsak, o'tao'tkinchi tokning ta'sir etuvchi qiymati orqali zarbaviy tokni topish mumkin: $i_{zrb} = k_{zrb} I_{pm}'' = k_{zrb} \sqrt{2} \cdot I_k''$. (3.10)

3.1.5. Qisqa tutashuv tokining ta'sir etuvchi qiymati

To'la tokning egri chizig'i nosinusoidal funksiya bo'lganligi uchun QT ning xohlagan t momenti uchun **QT to'la tokining effektiv qiymati** 0,02 sek davrdagi o'rtacha kvadratik toki deb aniqlanadi:

$$I_{\kappa t} = \sqrt{I_{pt}^2 + I_{at}^2}, \quad (3.11)$$

bu yerda

$I_{pt} = I_{p0} = I_{pm} / \sqrt{2} = \text{const}$ — periodik tashkil etuvchisining effektiv qiymati;

$I_{at} = i_{at}$ – aperiodik tashkil etuvchisining ta'sir etuvchi qiymati.

Qisqa tuashuv to'la tokining eng katta (zarbaviy) ta'sir etuvchi qiymati o'tkinchi jarayonning birinchi davri davomida mavjud bo'ladi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{zrb} = I_k'' \sqrt{1 + 2(k_{zrb} - 1)^2} \quad (3.12)$$

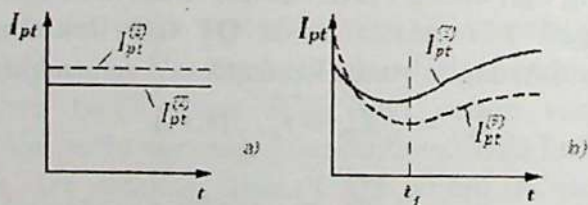
QT nuqtasining uzoqlashganligi tushunchasi manba sinxron generatoridagi o'tkinchi jarayoni QT tokining vaqt bo'yicha o'zgarishiga ta'siri bilan bog'liq (3.5-rasm).

Elektr sistemada **uzoqlashmagan QT nuqtasi** deb, unda QT bo'lganda manba QT tokining periodik tashkil etuvchisi vaqt bo'yicha sezilarli o'zgaradigan nuqtaga aytiladi (masalan, bevosita manba qismalarida). Elektr sistemada **uzoqlashgan QT nuqtasi** deb, unda QT bo'lganda manba QT tokining periodik tashkil etuvchisi vaqt bo'yicha o'zgarmaydigan yoki sezilarli o'zgarmaydigan va uni inobatga olmasligi mumkin bo'lgan nuqtaga aytiladi.

Agar QT ning hisobiy nuqtasi transformator yoki reaktor ortida joylashgan va ularning qarshiliklari elektr motorning o'ta o'tkinchi qarshiligidan ikki baravardan ortiq kattaroq bo'lsa, unda elektr motorlar uchun QT ni uzoqlashgan deb hisoblash mumkin. Hisobiy qisqa tutashuvi uzoqlashgan bo'lgan elektr motorlar hisobiy sxemaga kiritilmaydi.

QT joyidagi boshlang'ich tokni amaliy hisoblashda faqat shunday yuklama(motor)larni inobatga olish maqsadga muvofiqdir, qachonki ular QT nuqtasiga tutashgan bo'lsa.

O'tkinchi jarayonlarni boshlang'ich momentini amaliy usulda hisoblashda yuklamani umumiy ko'rinishda hisobga olish mumkin. Bunda **umumlashgan yuklamani** quyidagi nisbiy qiymatlar bilan taqriban tavsiflash mumkin: $X'' = 0,35$; $E'' = 0,85$.



3.5-rasm. Uzoqlashgan (a) va uzoqlashmagan (b) QTlarda QT tokining periodik tashkil etuvchisi effektiv qiymatining vaqt bo'yicha o'zgarishi.

3.2. Shikastlangan shaxobchada uch fazali qisqa tutashuv tokining boshlang'ich qiymatini hisoblash tartibi

Avariya sodir bo'lgan shaxobchadagi uch fazali QT ni analitik usulda hisoblash quyidagi tartibda bajariladi:

1) o'tkinchi jarayonlar to'g'risida soddalashtirilgan tushunchalar bilan foydalanishga imkon beradigan asosiy hisobiy farazlar shakllantiriladi (2.4-bo'lim);

2) hisoblash maqsadiga muvofiq hisobiy shartlar aniqlanadi (2.4-bo'lim);

3) qabul qilingan farazlarga bog'langan holda hisobiy sxema bo'yicha elektr sistemaning almashlash sxemasi tuziladi va uning elementlarining parametrlari aniqlanadi (2.5-bo'lim);

4) zarur bo'lgan hollarda alohida elementlar orasidagi «transformator» bog'lanishlar yo'qotiladi, xususan, almashlash sxema parametrlarini kuchlanishning bir pog'onasiga keltirish bajariladi (2.6-bo'lim);

5) almashlash sxema ketma-ket o'zgartirishlar bilan eng sodda – shaxobchalanmagan – ko'rinishga keltiriladi (2.7-bo'lim, 2.10,a-rasm);

6) QT tokining periodik tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati (o'tao'tkinchi tok) va aperiodik tashkil etuvchisining ekvivalent vaqt doimiysi aniqlanadi, bunda shikastlangan shaxobchaning birorta fazasida aperiodik tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati maksimal deb faraz qilinadi (3.1-bo'lim);

7) shikastlangan shaxobchaning ajratilgan fazasida QT ning zarbaviy toki (3.6) hisoblanadi;

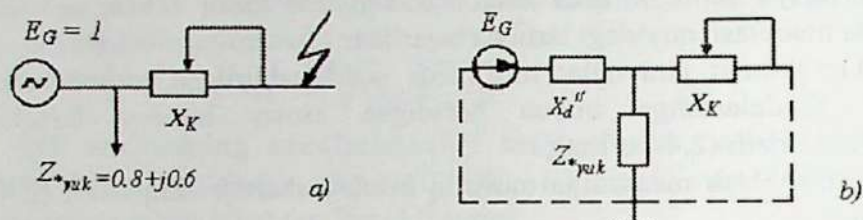
8) zarur bo'lgan hollarda elektr sistema almashlash sxemasida QT tokining taqsimlanishi aniqlanadi.

3.3. Uch fazali QT larni hisoblashning amaliy usullari

Hisobiy egri chiziqlari usuli

Agar faqatgina QT nuqtasidagi tokni yoki bevosita avariya bo'lgan shaxobcha ortidagi qoldiq kuchlanishni aniqlash kerak bo'lsa, **hisobiy egri chiziqlari usulini** qo'llash mumkin. Bu usul maxsus egri chiziqlarni (3.7-rasm) qo'llashga asoslangan bo'lib, uning yordamida sxema har xil reaktiv qarshilikka, ya'ni reaktansga ega bo'lganda QT jarayonining istalgan vaqti uchun QT nuqtasidagi tokning davriy tashkil etuvchisining nisbiy qiymatlarini topish mumkin. Bunday egri chiziq-

larni qurish uchun 3.6-rasmda keltirilgan sodda sxema asos qilib olingan.



3.6-rasm. Hisobiy egri chiziqlar usuliga oid.

Bu sxema uchun generator parametrlarining o'rtacha qiymatlari va har xil uzoqlikda joylashgan QT nuqtasi uchun sinxron mashinadagi uch fazali QT tokini ifodalovchi analitik formulalar yordamida QT nuqtasidagi QT tokining periodik tashkil etuvchisining nisbiy qiymatlari topilgan. So'ng, vaqtning har xil qiymatlari uchun $x_{his} = x_d + x_K$ hisobiy reaktansga bog'liq ravishda QT tokining periodik tashkil etuvchisining nisbiy qiymatlari I_{pt} o'zgarishini ifodalovchi hisobiy egri chiziqlari qurilgan: $I_{pt} = f(x_{his})$, $t = var$ yoki $I_{pt} = f(t)$, $x_{his} = var$.

x_{his} ning qiymati yuklamaga bog'liq emas, hisobiy egri chiziqlaridan foydalanish metodikasi aynan shunga asoslangandir. Ammo egri chiziqlar qurilishidan ular bo'yicha olingan I_{pt} tokning qiymatlarida yuklama inobatga olinganligi kelib chiqadi. Shunday qilib, shu egri chiziqlardan foydalanish uchun sistemaning dastlabki sxemasi 3.6,b-rasmda ko'rsatilgan holga keltirilishi kerak.

Bu holda hisoblash tartibi quyidagicha bo'ladi.

1. Almashlash sxemasi tuziladi. Unga generatorlar o'zlarining x_d lari bilan kiritiladi. Yuklamalar sxemaga kiritilmaydi (katta quvvatli yoki QT nuqtasiga yaqin joylashgan motorlar va sinxron kompensatorlardan tashqari; bular sxemaga generatorlar kabi kiritiladi). Bu usul anchagina taqribiy bo'lganligi sababli almashlash sxemasini sodda holda tuzgan maqsadga muvofiqdir.

2. Ketma-ket o'zgartirishlar asosida sxema shartli ravishda mustaqil shaxobchalarga ajratilib, QT nuqtasi markazida joylashgan radial

sxema ko'rinishiga keltiriladi. Bunda $X_{*\Sigma}$ natijaviy reaktiv qarshilikli har bir shaxobcha bir turdagi (gidro-, turbo-) generatorlar guruhiga to'g'ri keladi.

3. Har bir shaxobcha uchun hisobiy reaktiv qarshiligi aniqlanadi:

$$x_{*his} = x_{*\Sigma} \frac{S_{n\Sigma}}{S_b} \quad (3.13)$$

bu yerda $x_{*\Sigma}$ — S_b ga nisbatan nisbiy birlikdagi natijaviy qarshilik,

$S_{n\Sigma}$ — shu shaxobcha orqali QT tokini tashkil qiluvchi generatorlarning umumiy quvvati.

Agar kuchlanishning o'rtacha qiymati $U_{o'r}$ (kV da) va X_{Σ} qarshiligi (Om da) ifodalangan bo'lsa, u holda

$$x_{*his} = x_{*\Sigma} \frac{S_{n\Sigma}}{U_{o'r}^2} \quad (3.14)$$

a) Agar $x_{*his} \leq 3$ bo'lsa, berilgan generator uchun ma'lumotnomada berilgan hisobiy egri chiziqlardan mos keluvchisi tanlanadi. Keyin shular bo'yicha hisoblangan x_{*his} reaktansi bo'yicha kerakli bo'lgan vaqt momentlari uchun tokning I_{*pt} nisbiy qiymatlari (ba'zida interpolyatsiya usuli bilan) topiladi.

b) Agar $x_{*his} > 3$ bo'lsa, tokning qiymati vaqtning barcha momentlari uchun o'zgarmas bo'ladi:

$$I_{*pt} = \frac{1}{x_{*his}} = const. \quad (3.15)$$

c) Agar sistema va $x_S = 0$ bo'lsa, unda QT tokining periodik tashkil etuvchisining sistemadan kelayotgan qismi vaqt bo'yicha so'nmaydigan deb olinadi va quyidagicha hisoblanadi:

$$I_{pS} = \frac{1}{x_{*\Sigma S}} \cdot I_b = \frac{1}{x_{*\Sigma S}} \cdot \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot U_b} \quad (\text{kA}), \quad (3.16)$$

bu yerda I_b — QT pog'onasidagi bazis toki,

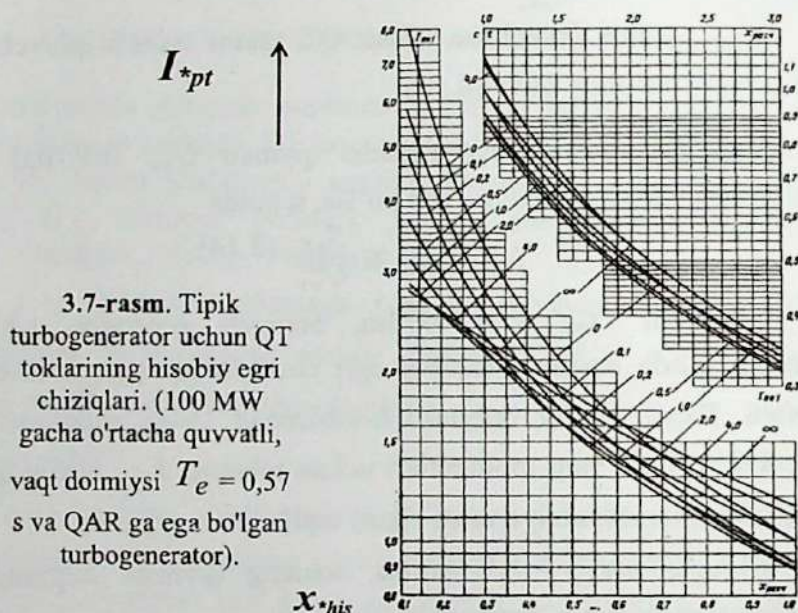
$x_{*\Sigma S}$ — sistema shaxobchasining qarshiligi.

QT tokining periodik tashkil etuvchisi vaqtning har bir momenti uchun izlangan qiymati nomli birlikda quyidagicha topiladi:

$$I_{pt} = I_{*pt} \cdot \dot{I}_{n\Sigma} \text{ (kA)}, \quad (3.17)$$

bu yerda $\dot{I}_{n\Sigma} = \frac{S_{n\Sigma}}{\sqrt{3}U_{o'r}}$ – QT pog‘onasining $U_{o'r}$ kuchlanishiga

keltirilgan generatorlarning umumiy nominal tokidir, (kA).



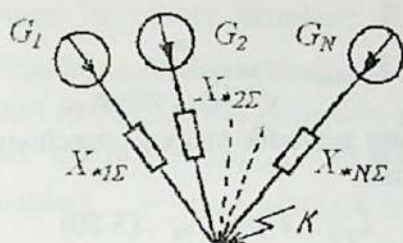
3.7-rasm. Tipik turbogenerator uchun QT toklarining hisobiy egri chiziqlari. (100 MW gacha o'rtacha quvvatli, vaqt doimiysi $T_e = 0,57$ s va QAR ga ega bo'lgan turbogenerator).

QT ning to'la toki har bitta manbadan kelayotgan toklarning yig'indisi deb, alohida vaqt momenti uchun hisoblanadi:

$$I_{kt} = \sum I_{pti} \quad (3.18)$$

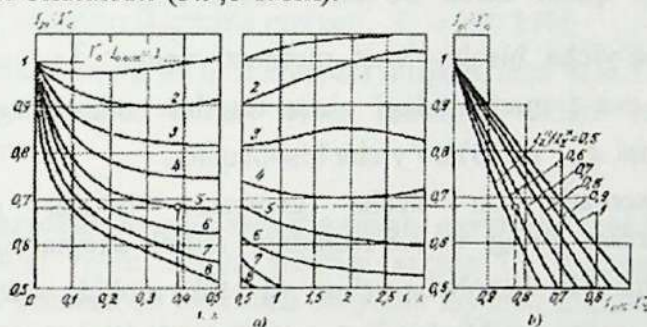
Tipik egri chiziqlar usuli

Ushbu usul yuqorida ko'rilgan hisobiy egri chiziqlar usulining rivojlanishi bo'lib, 3.8-rasmda keltirilgan sxema har bir shaxobchasing hisobiy qarshiligi $X_{his k} < 1$ bo'lganda, ulardagi qisqa tutashuv tokining periodik tashkil etuvchisini ixtiyoriy vaqt uchun hisoblashda qo'llaniladi. Egri chiziqlar generatorlar va yirik kompensatorlar uchun qo'llanilishi mumkin.



3.8-rasm. Radial sxema.

Tipik egri chiziqlar – QT nuqtasi uzoqligi berilgan holda manba QT tokining periodik tashkil etuvchisining nisbiy qiymati vaqt bo'yicha o'zgarishini ifodalovchi $I_{pt}/I_G^* = f(t)$, $I_G''/I_{G.nom} = var$ dagi grafiklar (3.9,a-rasm), hamda qo'shimcha $I_{pt\Sigma}/I_\Sigma'' = f(I_{pt}/I_G^*)$, $I_G''/I_\Sigma'' = var$ dagi bog'liqliklar oilalaridir (3.9,b-rasm).



3.9-rasm. QT tokining periodik tashkil etuvchisining nisbiy qiymati vaqt bo'yicha o'zgarishini topish uchun tipik egri chiziqlar.

QT nuqtaning uzoqligi manbaning o'ta o'tkinchi toki nisbiy qiymati bilan xarakterlanadi

$$I_{G*}'' = I_G'' / I_{G.nom}. \quad (3.19)$$

Yuqorida:

I_{pGt} – t vaqt momenti uchun manba qisqa tutashuv tokining periodik tashkil etuvchisi;

I_G'' – manbaning o'ta o'tkinchi toki ($t=0$ dagi manba qisqa tutashuv tokining periodik tashkil etuvchisi),

$I_{G.nom}$ – manbaning nominal toki bo'lib, quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$I_{G.nom} = \frac{P_{nom}}{\sqrt{3} U_{nom} \cos \varphi_{nom}}.$$

Manba QT tokining periodik tashkil etuvchisining nisbiy qiymati uchun belgilash kiritamiz:

$$I_{pt} / I_G'' = \gamma_{*t}. \quad (3.20)$$

QT nuqtasidan bir xil uzoqlikda joylashgan barcha turdagi va quvvatdagi generatorlar uchun γ_{*t} qiymat bir xil bo'lar ekan, ya'ni bu ma'noda barcha generatorlar bir-biriga o'xshashdir.

Ushbu tipik egri chiziqlarni qo'llash uchun oldin I_G'' va $I_{G.nom}$ lar hisoblanib, I_G'' topiladi (3.19). Agar oxirgisi kasr son bo'lsa, uni butun songacha yaxlitlash yoki egri chiziqlarni interpolatsiya qilish kerak bo'ladi. Keyin unga mos egri chiziq tanlanib, u bo'yicha hisobiy vaqt momenti uchun γ_{*t} aniqlanadi, undan keyin esa t momentidagi qisqa tutashuv tokining periodik tashkil etuvchisi I_{pt} (3.20) bo'yicha hisoblanadi.

Agar sxemada bir necha generator bo'lib, ekvivalent almashtirishlardan so'ng u 3.8-rasmdagi radial sxema ko'rinishda bo'lsa, unda har bir shaxobcha uchun I_{pt} toki alohida aniqlanadi va QT nuqtadagi natijaviy toki ularning yig'indisi deb olinadi.

3.4. Tortuvchi nimstansiya zanjirlaridagi qisqa tutashuv toklarini hisoblash

Dastlabki ma'lumotlar. Ikkita tuman (RP-1, PP-2) va uchta tortuvchi nimstansiya (TN-1, TN-2, TN-3) lardan hamda uzatish liniyalardan iborat bo'lgan elektr sistemaga kiradigan va tuman iste'molchilari mavjud bo'lgan, 1-tortuvchi nimstansiya berilgan. Uning tashqi elektr ta'minoti sxemasi 3.10-rasmda keltirilgan.

Berilgan:

– tuman nimstansiyaning 110 kV li ikkilamchi kuchlanish shinalaridagi

qisqa tutashuvining quvvati: 1-tuman nimstansiyasi (RP-1), $S_{kS1} = 500 \text{ MVA}$; 2-tuman nimstansiyasi (RP-2), $S_{kS2} = 1000 \text{ MVA}$;

- 110 kV li havo liniyaning uzunligi: $L_1 = 35 \text{ km}$; $L_2 = 25 \text{ km}$; $L_3 = L_4 = 95 \text{ km}$; o'rtacha nominal kuchlanishi, $U_{or} = 115 \text{ kV}$;
 - ТДТНЭ-40000/110 rusumli pasaytiruvchi kuch transformatorlari T1 va T2: nominal quvvati - $S_{nomT} = 40 \text{ MVA}$; chulg'amlarining nominal kuchlanishlari - $U_V = 115 \text{ kV}$, $U_S = 27,5 \text{ kV}$, $U_N = 11 \text{ kV}$; chulg'amlari orasidagi qisqa tutashuv kuchlanishlari - $u_{kv-s} = 10,5\%$, $u_{ks-n} = 6\%$, $u_{kv-n} = 17\%$; chulg'amlarining ulanish sxemasi va guruhi - Y*-Δ-Δ-11-11.
 - tortuvchi nimstansiyadan ta'minlanuvchi tuman iste'molchilari:
 - 27,5 kV li bo'yлама elektr ta'minot (DPR): o'rnatilgan quvvat, $P_u = 650 \text{ kW}$; ehtiyoj koeffitsienti, $K_S = 0,4$; quvvat koeffitsienti, $\cos \varphi = 0,93$;
 - TSN transformatorning quvvati, $S_n = 250 \text{ kVA}$;
 - kontakt tarmog'ini ta'minlovchi liniyalar soni $n = 5$.
- Maksimal rejim uchun qisqa tutashuv toklari va quvvatlari **hisoblansin.**

Qisqa tutashuv nuqtalarigacha nisbiy qarshiliklarni hisoblash.

Maksimal rejim uchun hisobiy sxema (3.10-rasm) va uning almashlash sxemasi (3.11-rasm) bo'yicha tayanch nimstansiyalarining shinalarigacha bo'lgan elektr sistemaning nisbiy qarshiliklarini

aniqlaymiz: $X_{s(b)} = \frac{S_b}{S_{kS}}$,

bu yerda $S_b = 1000 \text{ MVA}$ - bazis quvvatni tanlaymiz;

S_{kS} - tayanch nimstansiyalarining shinlarida QT quvvati, kVA.

$$X_{1(b)} = \frac{1000}{500} = 2; \quad X_{2(b)} = \frac{1000}{1000} = 1.$$

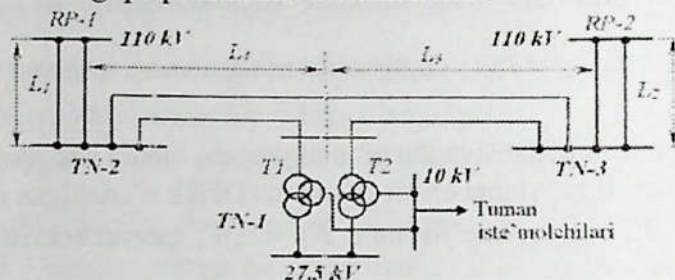
T1 va T2 transformatorlar (3.10-rasm) chulg'amlarining u_k qisqa tutashuv kuchlanishlarining hisobiy qiymatlarini aniqlaymiz:

$$u_{kV} = 0,5(u_{kV-S} + u_{kV-N} - u_{kS-N}) = 0,5(10,5 + 17 - 6) = 10,75\%,$$

$$u_{kS} = 0,5(u_{kV-S} + u_{kS-N} - u_{kV-N}) = 0,5(10,5 + 6 - 17) = 0,25\%,$$

$$u_{kN} = 0,5(u_{kV-N} + u_{kS-N} - u_{kV-S}) = 0,5(17 + 6 - 10,5) = 6,25\%,$$

bu yerda u_{kV-S} ; u_{kV-N} ; u_{kS-N} – mos ravishda yuqori va oʻrta, yuqori va past, oʻrta va past kuchlanish chulgʻamlari orasidagi transformatorning qisqa tutashuv kuchlanishlari.



3.10– rasm. 1–tortuvchi nimstansiyaning tashqi elektr taʼminoti sxemasi.

Bazis pogʻonasiga keltirilgan transformator T1 va T2 larning nisbiy qarshiliklarini aniqlaymiz:

$$X_{T(b)} = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nomT}},$$

bu yerda u_k – har bitta chulgʻa mning qisqa tutashuv kuchlanishi;

S_{nomT} – transformatorning nominal quvvati, MVA.

$$X_{TV(b)} = X_{10(b)} = X_{13(b)} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 2,68;$$

$$X_{TN(b)} = X_{12(b)} = X_{15(b)} = \frac{6,25}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 1,56$$

$$X_{TS(b)} = X_{14(b)} = X_{14(b)} = \frac{0,25}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 0,0625.$$

Liniyalarning nisbiy qarshiligi:

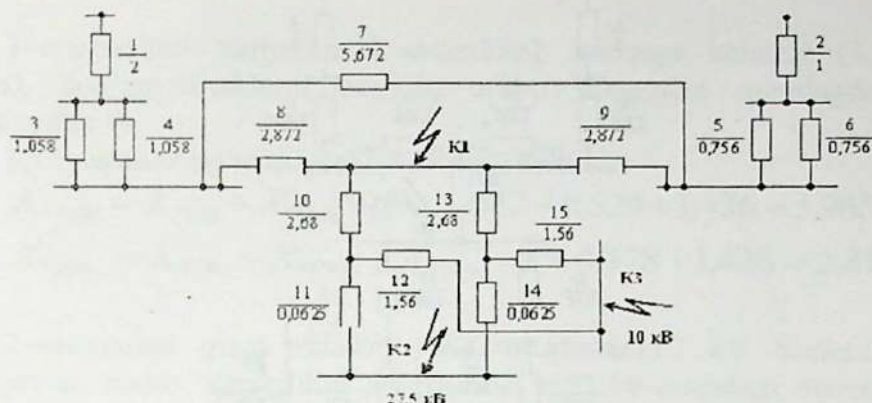
$$X_{L(b)} = X_0 \cdot l_L \cdot \frac{S_b}{U_{ort}^2},$$

bu yerda l_L – liniya uzunligi;

X_0 – liniyaning 1 km ning solishtirma qarshiligi, 0,4 Om/km;

U_{ort} – liniyaning oʻrtacha hisobiy kuchlanishi, 110 kV $\approx$ 115 kV

(2.13).



3.11-rasm. Maksimal rejimning almashlash sxemasi.

$$X_{L1(b)} = X_{3(b)} = X_{4(b)} = 0,4 \cdot 35 \cdot \frac{1000}{(115)^2} = 1,058;$$

$$X_{L2(b)} = X_{5(b)} = X_{6(b)} = 0,4 \cdot 25 \cdot \frac{1000}{(115)^2} = 0,756;$$

$$X_{L56(b)} = X_{7(b)} = 0,4 \cdot (95 + 95) \cdot \frac{1000}{(115)^2} = 5,672;$$

$$X_{L3,4(b)} = X_{8(b)} = X_{9(b)} = 0,4 \cdot 95 \cdot \frac{1000}{(115)^2} = 2,872.$$

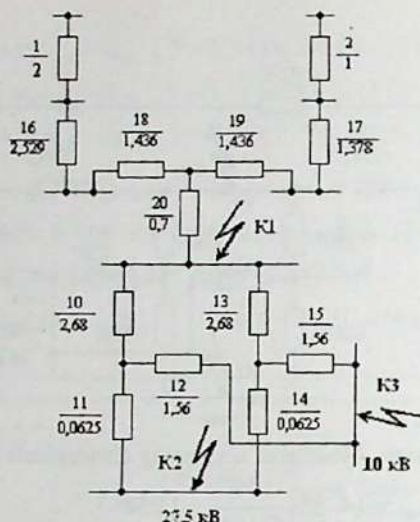
Maksimal rejimning almashlash sxemasida elementlar parallel, ketma-ket, yulduz va uchburchak ulanishlarini inobatga olib, ekvivalent o'zgartirishlarni bajaramiz va asta-sekin qisqa tutashuv nuqtasiga qarab sxemani soddalashtiramiz.

Ushbu almashlash sxemada bir xil $X_{3(b)}$ va $X_{4(b)}$ hamda $X_{5(b)}$ va $X_{6(b)}$ lar parallel ulanganini inobatga olib, quyidagilarni hisoblaymiz:

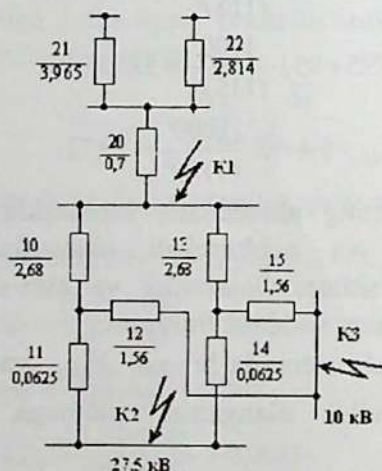
$$X_{16(b)} = \frac{X_{3(b)}}{2} = \frac{1,058}{2} = 0,529;$$

$$X_{17(b)} = \frac{X_{5(b)}}{2} = \frac{0,756}{2} = 0,378.$$

Uchburchak ulangan $X_{7(b)}$, $X_{8(b)}$, $X_{9(b)}$ qarshiliklarni yulduzsimon ulangan $X_{18(b)}$, $X_{19(b)}$ va $X_{20(b)}$ qarshiliklar bilan ekvivalent almashtiramiz:



3.12—rasm. 1-ekivalent almashlash



3.13—rasm. 2-ekivalent almashlash sxemasi. sxemasi

$$X_{18(b)} = \frac{X_{7(b)} \cdot X_{8(b)}}{X_{7(b)} + X_{8(b)} + X_{9(b)}} = \frac{5,672 \cdot 2,872}{5,672 + 2,872 + 2,8} = 1,436 ;$$

$$X_{19(b)} = \frac{X_{7(b)} \cdot X_{9(b)}}{X_{7(b)} + X_{8(b)} + X_{9(b)}} = \frac{5,672 \cdot 2,8}{5,672 + 2,872 + 2,8} = 1,436 ;$$

$$X_{20(b)} = \frac{X_{8(b)} \cdot X_{9(b)}}{X_{7(b)} + X_{8(b)} + X_{9(b)}} = \frac{2,872 \cdot 2,8}{5,672 + 2,872 + 2,8} = 0,7 .$$

1-o'zgartirish natijasida 1-almashlash sxemaga kelamiz (3.12-rasm). 2-o'zgartirishlarni bajarib, ushbu sxemadan quyidagilarni aniqlaymiz va

3.13-rasmda ko'rsatilgan 2-sxemaga kelamiz:

$$X_{*21(b)} = X_{*1(b)} + X_{*16(b)} + X_{*18(b)} = 2 + 0,529 + 1,436 = 3,965 ;$$

$$X_{*22(b)} = X_{*2(b)} + X_{*17(b)} + X_{*19(b)} = 1 + 0,378 + 1,436 = 2,814$$

2-sxemadan qisqa tutashuv **K1 nuqtada** (110 kV tomonida) bo'lganda, nisbiy qarshilikni aniqlaymiz va 3.14-rasmdagi sxemaga kelamiz: $X_{*K1(b)} = X_{*23(b)} = \frac{X_{*21(b)} \cdot X_{*22(b)}}{X_{*21(b)} + X_{*22(b)}} + X_{*20(b)} = \frac{3,965 \cdot 2,814}{3,965 + 2,814} + 0,7 = 2,33$

Qisqa tutashuv **K2 nuqtada** (27,5 kV shinasida) sodir bo'lsa, unda 3.14-rasmdagi sxemadan 3.15-rasmda ko'rsatilgan sxemaga o'tamiz va soddalashtirishlarni davom ettirib nisbiy qarshiliklarni aniqlaymiz:

$$X_{*24(b)} = X_{*25(b)} = X_{*10(b)} + X_{*11(b)} = 2,68 + 0,0625 = 2,743 ;$$

qisqa tutashuv nuqtasi K2 gacha bo'lgan nisbiy qarshilik:

$$X_{*K2(b)} = X_{*26(b)} = \frac{X_{*24(b)} \cdot X_{*25(b)}}{X_{*24(b)} + X_{*25(b)}} + X_{*23(b)} = \frac{2,743}{2} + 2,33 = 2,97 .$$

Qisqa tutashuv **K3 nuqtada** (10 kV shinasida) bo'lganda 3.14-rasmdagi sxemadan 3.16-rasmda ko'rsatilgan sxemaga o'tamiz va soddalashtirishlarni davom ettirib nisbiy qarshiliklarni aniqlaymiz:

$$X_{*27(b)} = X_{*28(b)} = X_{*10(b)} + X_{*12(b)} = 2,68 + 1,56 = 4,24$$

Qisqa tutashuv nuqtasi K3 nuqtagacha bo'lgan nisbiy qarshilik:

$$X_{*K3(b)} = X_{*29(b)} = \frac{X_{*27(b)} \cdot X_{*28(b)}}{X_{*27(b)} + X_{*28(b)}} + X_{*23(b)} = \frac{4,24}{2} + 2,33 = 3,72$$

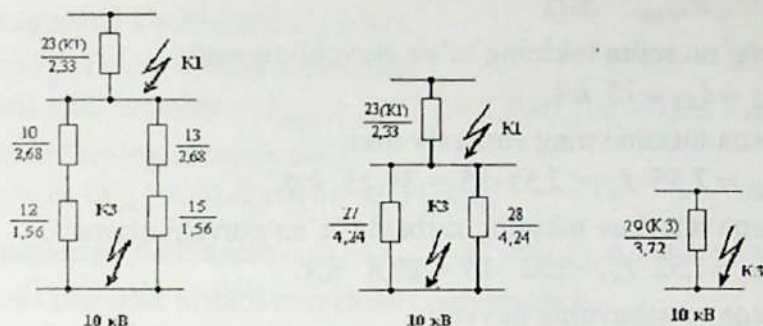
Qisqa tutashuv toklari va quvvatlarini hisoblash.

K1 nuqtada qisqa tutashuv toklari va quvvatlarini hisoblash:
Bazaviy tokni hisoblaymiz:

$$I_{b1} = \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot U_{o'rt1}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ kA},$$

bu yerda S_b – tanlangan bazaviy quvvat, 1000 MVA;

$U_{o'rt1} = 115 \text{ kV}$ – mazkur uchastkaning o'rtacha hisobiy kuchlanishi.



3.16-rasm. K3 nuqtagacha nisbiy qarshilikni aniqlash.

K2 nuqtada qisqa tutashuv toklari va quvvatlarini hisoblash:

Bazaviy tok:

$$I_{b2} = \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot U_{o'rt2}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 26,2} = 22 \text{ kA},$$

bunda $U_{o'rt2} = 26,2 \text{ kV}$ – mazkur uchastkaning o'rtacha hisobiy kuchlanishi.

Qisqa tutashuv toki:

$$I_{K2} = \frac{I_{b2}}{X_{K2(b)}} = \frac{22}{2,97} = 7,4 \text{ kA}.$$

Turg'un rejim tokining ta'sir etuvchi qiymati:

$$I_{\infty 2} = I_{K2} = 7,4 \text{ kA}$$

Qisqa tutashuvning zarbaviy toki:

$$i_{zrb2} = 2,55 \cdot I_{K2} = 2,55 \cdot 7,4 = 18,87 \text{ kA}.$$

Qisqa tutashuv tokining zarbaviy ta'sir etuvchi qiymati:

$$I_{zrb2} = 1,52 \cdot I_{K2} = 1,52 \cdot 7,4 = 11,24 \text{ kA}.$$

Qisqa tutashuvning quvvati:

$$S_{K2} = \frac{S_b}{X_{K2(b)}} = \frac{1000}{2,97} = 336 \text{ MVA}.$$

K3 nuqtada qisqa tutashuv toklari va quvvatlarini hisoblash:

Bazaviy tok, kA:

$$I_{b3} = \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot U_{o'rt3}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 56 \text{ kA},$$

bunda $U_{o'rt3} = 10,5 \text{ kV}$ – mazkur uchastkaning o'rtacha hisobiy kuchlanishi.

Qisqa tutashuv toki:

$$I_{K3} = \frac{I_{b3}}{X_{K3(b)}} = \frac{56}{3,72} = 15 \text{ kA}.$$

Turg'un rejim tokining ta'sir etuvchi qiymati:

$$I_{\infty 3} = I_{K3} = 15 \text{ kA}.$$

Qisqa tutashuvning zarbaviy toki:

$$i_{zrb3} = 2,55 \cdot I_{K3} = 2,55 \cdot 15 = 38,25 \text{ kA}.$$

Qisqa tutashuv tokining zarbaviy ta'sir etuvchi qiymati:

$$I_{zrb3} = 1,52 \cdot I_{K3} = 1,52 \cdot 15 = 22,8 \text{ kA}.$$

Qisqa tutashuvning quvvati:

$$S_{K3} = \frac{S_b}{X_{K3(b)}} = \frac{1000}{3,72} = 268,8 \text{ MVA}.$$

MASALALAR

3.1-MASALA. Ma'lumotlari 2.1- va 2.2-masalalarda berilgan va sxemasi 2.15-rasmda ko'rsatilgan elektr sistema uchun QT toki periodik tashkil etuvchisining qiymati hisoblansin. Bunda ikkala manba cheksiz quvvatli manba deb hisoblanadi.

Yechish.

2.2-masalada eng sodda ko'rinishga keltirilgan almashlash sxemasidan (2.18,d) olingan hisobiy natijalardan foydalanamiz:

$$E_{\Sigma} = 6,2 \text{ kV}; \quad x_{\Sigma} = 0,156 \text{ Om}.$$

QT tokining periodik tashkil etuvchisi:

$$I_{pk} = E_{\Sigma} / X_{\Sigma} = 6,2 / 0,156 = 39,74 \text{ kA},$$

QT tokining aperiodik tashkil etuvchisi:

$$i_{ak}(t) = i_{ak}(0)e^{-t/\tau_a} = \sqrt{2} \cdot I_{pk}e^{-t/\tau_a} = \sqrt{2} \cdot 39,74 \cdot e^{-t/0,096} = 56,2 \cdot e^{-t/0,096} \text{ kA},$$

QT ning zarbaviy toki:

$$i_{zrb} = \sqrt{2} \cdot I_{pk} \cdot (1 + e^{-0,01/\tau_a}) = \sqrt{2} \cdot 39,74 \cdot (1 + e^{-0,01/0,096}) = 106,8 \text{ kA}.$$

$\tau_a = 0,096 \text{ s}$ qiymat 3.1-jadvalda elektr sistema elementlari uchun x_{Σ}/r_{Σ} berilganlardan hisoblangan. QT transformator nimstansiya shinalarida sodir bo'lganda, bu qiymat 7–81 gacha o'zgaradi. Ushbu masalada $x_{\Sigma}/r_{\Sigma} = 30$ qabul qilsak, unda vaqt doimiysi $\tau_a = x_{\Sigma}/(r_{\Sigma} \cdot \omega) = 30/314 = 0,096 \text{ s}$.

3.17-rasmda ko'rsatilgan sxema shaxobchalari bo'yicha QT toki periodik tashkil etuvchisining taqsimlanishi tarmoqning yoyilgan almashlash sxemasi bo'yicha quyidagicha aniqlanadi.

QT nuqtasida kuchlanish $U_a = 0$.

QT toki periodik tashkil etuvchilari:

motorli yuklamaning – $I_{pkM} = E_2 / X_6 = 5,39 / 0,706 = 7,63 \text{ kA}$;

generatorlarning umumiy toki –

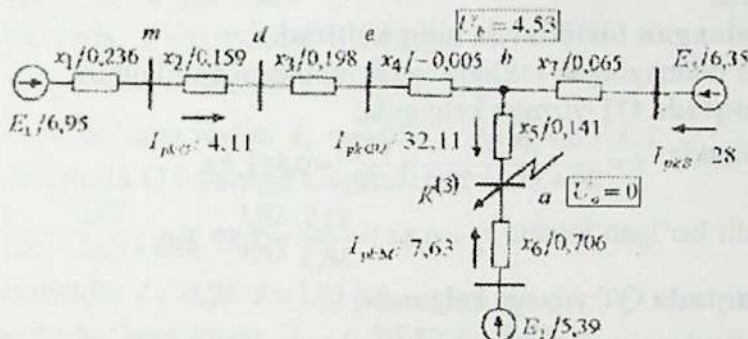
$I_{pkGU} = E_3 / X_{10} = 6,41 / 0,1995 = 32,11 \text{ kA}$;

b -nuqtadagi kuchlanish – $U_b = I_{pkGU} \cdot X_5 = 32,11 \cdot 0,141 = 4,53 \text{ kV}$.

QT toki periodik tashkil etuvchilari: sistemadan –

$I_{pkS} = (E_3 - U_b) / X_7 = (6,35 - 4,53) / 0,065 = 28 \text{ kA}$; generatoridan –

$I_{pkG} = (E_1 - U_b) / X_8 = (6,95 - 4,53) / 0,588 = 4,11 \text{ kA}$.



3.17-rasm. Elektr sistema almashlash sxemasi shaxobchalari bo'yicha QT toki periodik tashkil etuvchisining taqsimlanishi.

Transformator bog'lanishlar inobatga olingandagi (haqiqiy) QT toki periodik tashkil etuvchilari va tarmoq tugunlaridagi kuchlanishlar quyidagicha topiladi.

QT nuqtasidagi kuchlanish $U_a = 0$. Motorli yuklama tomonidan

kelayotgan tok $I_{pkM} = 7,63 \text{ kA}$. Sistema kuchlanishi $U_s = 230 \text{ kV}$

va toki

$$I_{pkS} = I_{pkS} \cdot K_{AT(N/V)} = 28 \cdot \frac{11}{230} = 1,344 \text{ kA}$$

e, d, m – nuqtalardagi kuchlanishlar:

$$U_e = (U_b + I_{pkG} \cdot X_4) / K_{AT(N/S)} = (4,53 - 4,11 \cdot 0,005) / 0,091 = 49,55 \text{ kV};$$

$$U_d = U_e + I_{pkG} \cdot X_3 / K_{AT(N/S)} = 49,55 - 4,11 \cdot 0,198 / 0,091 = 58,49 \text{ kV};$$

$$U_m = (U_d + I_{pkG} \cdot X_2 / K_{AT(N/S)}) / K_{T(V/N)} = (58,49 + 4,11 \cdot 0,159 / 0,091) / 11,49 = 5,71 \text{ kV}.$$

QT toki periodik tashkil etuvchilarining taqribiy qiymatlari:

generatorning – $I_{pkG} = I_{pkG} \cdot K_{AT(N/S)} \cdot K_{T(V/N)} = 4,11 \cdot 0,091 \cdot 11,49 = 4,3 \text{ kA}$;

$$\text{liniyalarda} - I_{pKL} = \dot{I}_{pKG} \cdot K_{AT(N/S)} / 2 = 4,11 \cdot 0,091 / 2 = 0,187 \text{ kA}.$$

3.2-MASALA.

2.2-masalada berilgan sxema (2.19,a-rasm) elementlarining parametrlarini nomlangan va nisbiy birliklarda ifodalanib hamda bitta kuchlanish pog'onasiga "aniq" va "taqribiy" keltirilish bajarilib, almashlash sxemasi tuzilgan. Mazkur sxemaning K-1, K-2 va K-3 nuqtalarida ketma-ket uch fazali qisqa tutashuvlar yuzaga kelganda ushbu nuqtalarda tokning periodik tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati hisoblansin.

Yechish.

1) nomlangan birliklarda aniq keltirish.

Quyida izlanayotgan toklarning qiymatlarini aniqlaymiz:

K-1-nuqtada QT yuzaga kelganda:

$$\text{L-1 liniyada: } I = \frac{67,5}{24 + 35,5 + 20,5} = \frac{67,5}{80} = 0,845 \text{ kA};$$

$$\text{QT sodir bo'lgan joyda: } I_k = 0,845 \cdot \frac{115}{38,5} = 2,53 \text{ kA};$$

K-2-nuqtada QT yuzaga kelganda:

$$\text{L-1 liniyada: } I = \frac{67,5}{80 + 36 + 131} = \frac{67,5}{247} = 0,275 \text{ kA};$$

$$\text{L-2 liniyada: } I = 0,275 \cdot \frac{115}{38,5} = 0,82 \text{ kA};$$

$$\text{QT sodir bo'lgan joyda: } I_k = 0,82 \cdot \frac{35}{6,6} = 4,35 \text{ kA};$$

K-3-nuqtada (JIPA siz) QT yuzaga kelganda:

$$\text{L-1 liniyada: } I = \frac{67,5}{24 + 35,5 - 0,83} = \frac{67,5}{58,8} = 1,17 \text{ kA};$$

$$\text{QT sodir bo'lgan joyda: } I_k = 1,17 \cdot \frac{115}{11} = 12,2 \text{ kA}.$$

2) nomlangan birliklarda taqribiy keltirish.

Qisqa tutashuv toklarining qiymatlari:

$$\text{K-1 da: } I_k = \frac{67,5}{24 + 35,5 + 20,5} \cdot \left(\frac{115}{37} \right)^2 = 2,63 \text{ kA (farqi taxminan 4\%);}$$

$$\text{K-2 da: } I_k = \frac{67,5}{80 + 36,7 + 157} \cdot \left(\frac{115}{6,3} \right)^2 = 4,46 \text{ kA (farqi taxminan 2\%);}$$

$$K-3 \text{ da: } I_k = \frac{67,5}{24 + 35,5 - 0,83} \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right) = 12,8 \text{ kA (farqi 6,5\%).}$$

3) nisbiy birliklarda aniq keltirish.

K-1-nuqtada QT yuzaga kelganda nisbiy tokning qiymati:

$$I_* = \frac{1,02}{1,82 + 2,69 + 1,56} = \frac{1,02}{6,07} = 0,169.$$

Mos kuchlanishlar pog'onasidagi toklar qiymatlari:

$$L-1 \text{ liniyada: } I = 0,169 \cdot 5 = 0,845 \text{ kA,}$$

$$QT \text{ sodir bo'lgan joyda: } I_k = 0,169 \cdot 15 = 2,53 \text{ kA.}$$

K-2-nuqtada QT yuzaga kelganda:

$$I_* = \frac{1,02}{6,07 + 2,69 + 9,83} = \frac{1,02}{18,6} = 0,055;$$

$$L-1 \text{ liniyada: } I = 0,055 \cdot 5 = 0,275 \text{ kA;}$$

$$L-2 \text{ liniyada: } I = 0,055 \cdot 15 = 0,82 \text{ kA;}$$

$$QT \text{ sodir bo'lgan joyda: } I_k = 0,055 \cdot 79,5 = 4,35 \text{ kA.}$$

K-3-nuqtada QT yuzaga kelganda:

$$I_* = \frac{1,02}{1,82 + 2,69 + 0,06} = \frac{1,02}{4,45} = 0,23;$$

$$L-1 \text{ liniyada: } I = 0,23 \cdot 5 = 1,15 \text{ kA;}$$

$$QT \text{ sodir bo'lgan joyda: } I_k = 0,23 \cdot 52,3 = 12,5 \text{ kA.}$$

Kutilganidek barcha toklarning qiymatlari ushbu masala nomlangan birliklarda aniq keltirish yo'li bilan yechilganda (1-bandda) olingan natijalar bilan bir xil bo'lib chiqdi.

3.3-MASALA. Nomlangan va nisbiy birliklarda elementlarini ifodalab hamda aniq va taqribiy keltirishlar bajarib elektr energetik sistemaning (2.20-rasm) almashlash sxemasi 2.3-masalada tuzilgan. Yuklama tokini hisobga olgan holda uch fazali qisqa tutashuvdagi avariya tokining periodik tashkil etuvchisining qiymatlari hisoblansin.

Yechish.

1) nomlangan birliklarda aniq keltirish

1,a) kuchlanishning I pog'onasiga keltirish

2.3-masalaning 1,a)-bandi natijalaridan foydalanib, avariya toklarining periodik tashkil etuvchilari boshlang'ich effektiv qiymatlari Om qonuni bo'yicha quyidagicha topiladi:

qisqa tutashuv nuqtasidagi tok:

$$I_k = I_{10} + I_{11} = \frac{\dot{E}_4}{\dot{X}_{10}} + \frac{\dot{E}_2}{\dot{X}_{11}} = \frac{22,04}{9,24} + \frac{17,18}{44,17} = 2,38 + 0,39 = 2,77 \text{ kA};$$

yuklama H dagi tok:

$$I_{yk} = I_{11} \cdot \left(\frac{U_v}{U_n} \right)_{T2} = 0,39 \cdot 36,75 / 10,5 = 1,36 \text{ kA};$$

a-tugundagi qoldiq kuchlanishning qiymati:

$$U_a = U_k + I_{10} \cdot Z_6 = 0 + 2,38 \cdot 4,83 = 11,52 \text{ kV};$$

sistema GS dagi tok:

$$\dot{I}_{GS} = \frac{\dot{E}_3 - U_a}{\dot{X}_3} = \frac{21,65 - 11,52}{6,37} = 1,59 \text{ kA}; \quad I_{GS} = \dot{I}_{GS} \cdot \left(\frac{U_s}{U_v} \right)_{T1} = 1,59 \cdot \frac{38,5}{115} = 0,53 \text{ kA};$$

generator G dan kelayotgan tok:

$$\dot{I}_G = \frac{\dot{E}_1 - U_a}{\dot{X}_8} = \frac{22,92 - 11,52}{14,35} = 0,79 \text{ kA}; \quad I_G = \dot{I}_G \cdot \left(\frac{U_s}{U_n} \right)_{T1} = 0,79 \cdot \frac{38,5}{6,6} = 4,63 \text{ kA}.$$

Izoh. Qisqa tutashuv zanjiri natijaviy to'la qarshiligi ZW dagi liniyaning aktiv qarshiligini ($x/r < 3$) hisobga olish quyidagini beradi:

$$I_k = \frac{E_\Sigma}{Z_\Sigma} = \frac{21,25}{7,59} = 2,80 \text{ kA}; \quad Z_\Sigma = \sqrt{r_\Sigma^2 + x_\Sigma^2} = \sqrt{2,49^2 + 7,166^2} = 7,59 \text{ Om}.$$

1,b) kuchlanishning III pog'onasiga keltirish

Kuchlanishning asosiy pog'onasi sifatida generator G joylashgan pog'onani tanlaymiz. 2.3-masalaning 1,b)-bandi natijalaridan foydalanib, qidirayotgan avariya toklari qiymatlari quyidagicha aniq-

$$I_k = I_{10} + I_{11} = \frac{\dot{E}_4}{\dot{X}_{10}} + \frac{\dot{E}_2}{\dot{X}_{11}} = \frac{22,04}{9,24} + \frac{17,18}{44,17} = 2,38 + 0,39 = 2,77 \text{ kA};$$

lanadi:

$$I_{yk} = I_{11} \cdot \left(\frac{U_v}{U_n} \right)_{T2} = 0,39 \cdot \frac{36,75}{10,5} = 1,36 \text{ kA};$$

yuklama H dagi tok:

a-tugundagi qoldiq kuchlanishning qiymati:

$$U_a = U_k + I_{10} \cdot Z_6 = 0 + 2,38 \cdot 4,83 = 11,52 \text{ kV};$$

sistema GS dagi tok:

$$\dot{I}_{GS} = \frac{\dot{E}_3 - U_a}{\dot{X}_3} = \frac{21,65 - 11,52}{6,37} = 1,59 \text{ kA}; \quad I_{GS} = \dot{I}_{GS} \cdot \left(\frac{U_s}{U_N} \right)_{T1} = 1,59 \cdot \frac{38,5}{115} = 0,53 \text{ kA}$$

generator G dan kelayotgan tok:

$$\dot{I}_G = \frac{\dot{E}_1 - U_a}{\dot{X}_8} = \frac{22,92 - 11,52}{14,36} = 0,79 \text{ kA}; \quad I_G = \dot{I}_G \cdot \left(\frac{U_s}{U_N} \right)_{T1} = 0,79 \cdot \frac{38,5}{6,6} = 4,63 \text{ kA}$$

2) nomlangan birliklarda taqribiy keltirish.

2.3-masalaning 2)-bandi natijalaridan foydalanib, avariya toklarini

topamiz: $\dot{I}_k = \dot{I}_{10} + \dot{I}_{11} = \frac{\dot{E}_4}{\dot{X}_{10}} + \frac{\dot{E}_2}{\dot{X}_{11}} = \frac{21,86}{8,99} + \frac{18,16}{48,48} = 2,43 + 0,37 = 2,80 \text{ kA};$

$$I_{yuk} = \dot{I}_{11} \cdot \left(\frac{U_{Or.1}}{U_{Or.4}} \right)_{T2} = 0,374 \cdot \frac{37}{10,5} = 1,32 \text{ kA};$$

$$U_a = \dot{I}_{10} \cdot Z_6 = 2,43 \cdot 4,83 = 11,75 \text{ kV};$$

$$\dot{I}_{GS} = \frac{\dot{E}_3 - U_a}{\dot{X}_3} = \frac{21,36 - 11,75}{5,89} = 1,63 \text{ kA}; \quad I_{GS} = \dot{I}_{GS} \cdot \left(\frac{U_{Or.1}}{U_{Or.2}} \right)_{T1} = 1,63 \cdot \frac{37}{115} = 0,52 \text{ kA};$$

$$\dot{I}_G = \frac{\dot{E}_1 - U_a}{\dot{X}_8} = \frac{23,07 - 11,75}{14,2} = 0,8 \text{ kA}; \quad I_G = \dot{I}_G \cdot \left(\frac{U_{Or.1}}{U_{Or.3}} \right)_{T1} = 0,8 \cdot \frac{37}{6,3} = 4,69 \text{ kA}$$

3) nisbiy birliklarda aniq keltirish

2.3-masalaning 3,a)-bandi natijalaridan foydalanib, qidirilayotgan avariya toklarini **1-uslub bo'yicha** topamiz:

$$I_k = I_{10} + I_{11} = \frac{E_4}{X_{10}} + \frac{E_2}{X_{11}} = \frac{1,0316}{6,751} + \frac{0,804}{32,265} = 0,153 + 0,0249 = 0,178$$

$$I_k = I_k \cdot I_{b.1} = 0,178 \cdot 15,60 = 2,77 \text{ kA};$$

$$I_{yuk} = I_{11} \cdot I_{b.1} \cdot \left(\frac{U_N}{U_N} \right)_{T2} = 0,0249 \cdot 15,60 \cdot \frac{36,75}{10,5} = 1,36 \text{ kA};$$

$$U_a = I_{10} \cdot Z_6 = 1,53 \cdot 3,528 = 0,539;$$

$$I_{GS} = \frac{E_3 - U_a}{X_3} \cdot I_{b.1} \cdot \left(\frac{U_s}{U_N} \right)_{T1} = \frac{1,0134 - 0,539}{4,656} \cdot 15,60 \cdot \frac{38,5}{115} = 0,53 \text{ kA};$$

$$I_G = \frac{E_1 - U_a}{X_8} \cdot I_{b.1} \cdot \left(\frac{U_s}{U_N} \right)_{T1} = \frac{1,0727 - 0,539}{10,486} \cdot 15,60 \cdot \frac{38,5}{6,6} = 4,63 \text{ kA}$$

2.3-masalaning 3,b)-bandi natijalaridan foydalanib, qidirilayotgan avariya toklarini **2-uslub bo'yicha** topamiz:

$$I_k = I_k \cdot I_{b,1} = 0,178 \cdot 15,60 = 2,77 \text{ kA};$$

$$I_{yuk} = I_{11} \cdot I_{b,4} = 0,0249 \cdot 54,61 = 1,36 \text{ kA};$$

$$I_{GS} = \frac{E_{*3} - U_{*a}}{X_{*3}} \cdot I_{b,2} = \frac{1,0134 - 0,539}{4,656} \cdot 5,22 = 0,53 \text{ kA};$$

$$I_G = \frac{E_{*1} - U_{*a}}{X_{*8}} \cdot I_{b,3} = \frac{1,0727 - 0,539}{10,486} \cdot 91,02 = 4,63 \text{ kA}.$$

4) nisbiy birliklarda taqribiy keltirish

2.3-masalaning 4)-bandi natijalaridan foydalanib, qidirilayotgan avariya toklarini topamiz:

$$I_k = I_{10} + I_{11} = \frac{E_{*4}}{X_{*10}} + \frac{E_{*2}}{X_{*11}} = \frac{1,0234}{6,567} + \frac{0,85}{35,417} = 0,1558 + 0,024 = 0,1798;$$

$$I_k = I_k \cdot I_{b,1} = 0,1798 \cdot 15,60 = 2,81 \text{ kA};$$

$$I_{yuk} = I_{11} \cdot I_{b,4} = 0,024 \cdot 54,99 = 1,32 \text{ kA};$$

$$I_{GS} = \frac{E_{*3} - U_{*a}}{X_{*3}} \cdot I_{b,2} = \frac{1,0 - 0,55}{4,3} \cdot 5,02 = 0,52 \text{ kA};$$

$$I_G = \frac{E_{*1} - U_{*a}}{X_{*8}} \cdot I_{b,3} = \frac{1,08 - 0,55}{10,367} \cdot 91,64 = 4,68 \text{ kA}.$$

3.4-MASALA. Bir necha generatorning umumiy quvvati $S_G = 220 \text{ MVA}$ va $E = 1,0 \text{ EYUKsi}$ $X_K = 0,19$ qarshilik ortida ulangan. Bazis quvvat $S_b = 100 \text{ MVA}$. QT boshidan 0,2 sekund o'tgandan keyin qisqa tutashuv tokining periodik tashkil etuvchisi I_{pt} hisoblansin.

Yechish: Manbaning o'ta o'tkinchi toki: $I_G' = E/X_K = 1,0/0,19 = 5,26$.

Generator(manba)ning nominal toki: $I_{G,nom} = \frac{S_G}{S_b} = \frac{220}{100} = 2,2$.

Generatorning o'ta o'tkinchi tokining nisbiy qiymati (3.19):

$$I_{G''} = 5,26/2,2 = 2,39.$$

Tipik egri chiziqlar bo'yicha (3.9,a-rasm) interpolyatsiya yo'li bilan $t = 0,2 \text{ sek}$ va $I_{G''} = 2,39$ uchun QT tokining periodik tashkil etuvchisining nisbiy qiymatini aniqlaymiz: $I_{pt}/I_{G''} = \gamma_{*t} = 0,88$.

Natijada (3.20)-formuladan foydalanib, $t = 0,2 \text{ sek}$ da QT tokining periodik tashkil etuvchisi nimaga tengligini hisoblaymiz:

$$I_{pt} = I_{G''} \cdot \gamma_{*t} = 5,26 \cdot 0,88 = 4,63.$$

Tayanch so'zlar va iboralar:

Sistema, uch fazali QT to'la tokining oniy qiymati hamda uning periodik va aperiodik tashkil etuvchilari, QT zanjirining vaqt doimiysi, zarbaviy tok, zarbaviy koeffitsient, o'tao'tkinchi tok, QT to'la tokining effektiv qiymati va zarbaviy ta'sir etuvchi qiymati, uzoqlashgan va uzoqlashmagan QT lar, hisobiy egri chiziqlar, tipik egri chiziqlar.

O'z-o'zini sinash savollari:

1. QT jarayonida QT tokining o'zgarishi qanday omillarga bog'liq bo'lishi mumkin? 2. Tarmoq qanday manbalardan ta'minlanishi mumkin? Ularda uch fazali QT lar sodir bo'lganda, o'tkinchi jarayonlari nima bilan farqlanadi? 3. "Sistema" deganda qanday manba tushuniladi, uning ichki qarshiligi va quvvati nimaga teng? 4. Zanjirda qanday qobiliyatga ega bo'lgan elementlar mavjud bo'lganda unda o'tkinchi jarayon yuz beradi? Nima uchun tok va kuchlanishlar ushbu jarayonda bir onda o'zgarmaydi? 5. Uch fazali QT yuzaga kelgan eng sodda elektr sistema sxemasi va uning A fazasi uchun differensial tenglamani tuzing. 6. Nima uchun uch fazali QT ning o'tkinchi jarayonini faqat bir faza uchun ko'rish kifoya? 7. QT to'la tokining oniy qiymati formulasi va uning ikkita tashkil etuvchilari ifodalarini yozing. Ularni vaqt diagrammada ko'rsating. 8. QT tokining periodik va aperiodik tashkil etuvchilari differensial tenglamadan qanday aniqlanadi? 9. Zarbaviy tok ifodasini keltiring va uni vaqt diagrammada ko'rsating. 10. Zarbaviy koeffitsient nima? Odatda uning qiymati qanday oraliqda bo'ladi? 11. QT tokini periodik tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati qanday nomlanadi? Uni vaqt va vektor diagrammalarida ko'rsating. 12. Uch fazali qisqa tutashuv toklarini hisoblash usullarini ayting. 13. Uch fazali QT toki boshlang'ich qiymatini hisoblash tartibi qanday? 14. Hisobiy egri chiziqlari usuli analitik yoki amaliy usulmi? 15. U bo'yicha hisoblash tartibini aytib bering. 16. Tipik egri chiziqlar usulini tushuntirib bering. 16. Qisqa tutashuvning quvvati qaysi formula orqali hisoblanadi?

Mustaqil ish mavzulari:

1. Elektrlashtirilgan temir yo'l elektr ta'minoti sistemasi zanjirlarida uch fazali qisqa tutashuv toklarini hisoblash [7, 5, 8, 12].
Referat.

Test savollari:

1. Cheksiz quvvatli sistema tushunchasini tushuntirib bering.

A) katta aktiv va reaktiv qarshilikli elektr sistema

B) kuchlanish ostida rostlagichli tortuvchi nimstansiya transformatori

C) markazlashtirish va blokirovka sistemani ta'minlovchi sistema

D) tarmoqdagi har qanday rejimlar o'zgarishi (yuklamani tashlash, o'tayuklash yoki QT) da uning shinalarida kuchlanish o'zgarimasdan qoladi.

$$2. \quad i_{\gamma, t} = i_{\gamma, 0} e^{-t/T_a} -$$

bu ... ning formulasi.

A) QT tokining aperiodik tashkil etuvchisi

B) QTning zarbaviy toki

C) QT tokining periodik tashkil etuvchisi

D) QT tokining periodik tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati

3. 35-220 kV li elektr sistemalarda qaysi QT turi o'ta xavfli hisoblanadi?

A) ikki fazali yerga B) ikki fazali

C) uch fazali D) bir fazali

$$4. \quad I_k'' = E_{\Sigma} / X_{\Sigma}$$

formula bo'yicha nima hisoblanadi?

A) QT tokining periodik tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati

B) QTning zarbaviy toki

C) QT tokining periodik tashkil etuvchisi

D) QT tokining aperiodik tashkil etuvchisi

5. QT tokining periodik (davriy) tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati nima deb ataladi?

A) boshlang'ich tok B) nolinci tok C) zarbaviy tok D) o'tao'tkinchi tok

6. Cheksiz quvvatli sistema uchun to'g'ri javobni toping.

$$A) \quad E_s = 1; f_s = 1; X_s = 1$$

$$B) \quad E_s = 1; U_s = 1; X_s = 0$$

$$C) \quad E_s = 1; U_s = 1; f_s = 1$$

$$D) \quad E_s = \text{const}; U_s = \text{const}; X_s \neq \text{const}$$

$$7. \quad i_{k,t} = \frac{U_m}{Z_k} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) + i_{a,0} e^{-\frac{t}{T_k}}$$

- bu ... ning formulasi.

A) QTning zarbaviy toki

B) QT tokining o'tkinchi to'la qiymati

C) QT tokining periodik tashkil etuvchisi

D) QT tokining aperiodik tashkil etuvchisi

$$8. i_t = \frac{U_m}{Z_k} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) -$$

bu ...

- A) QTning zarbaviy toki
- B) QT tokining periodik tashkil etuvchisi
- C) QT tokning periodik tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati
- D) QT tokining aperiodik tashkil etuvchisi

$$9. T_a = \frac{L_k}{r_k} = \frac{X_k}{\omega r_k} = \frac{X_k}{314 r_k} -$$

bu ...

- A) QT davom etish vaqti
- B) QT tugash vaqti
- C) QT zanjirining vaqt doimiysi
- D) QT tokning aperiodik tashkil etuvchisining davom etish vaqti

10. Avtomatik qayta ulash muvafaqqiyatli hisoblanadi, agar ...

- A) liniya o'chirilgan vaqtda QT bartaraf etilsa va qayta ulangandan so'ng normal ish tiklansa
- B) qayta ulanish saqlanib qolgan qisqa tutashuv uchun amalga oshirilsa
- C) sistema uch fazali bo'lsa
- D) qisqa tutashuv bitta fazada yuzaga kelgan bo'lsa

11. Qachon A, B, C fazalardagi uch fazali QT toklari o'zaro teng bo'ladi?

- A) $t = 0,02 \text{ s}$ B) $t = 0$
- C) $t = 0,01 \text{ s}$ D) $t = \infty$

12. Zarbaviy tok nima?

- A) tortuvchi yuklamada kuchlanishning eng katta og'ishi
- B) tok davriy tashkil etuvchisining maksimal qiymati
- C) QT to'la tokining oniy qiymatlaridan eng kattasi bo'lib, unga QT yuzaga kelgandan keyingi yarim davr (0,01 sek) da erishadi
- D) o'ta kuchlanish tufayli yuzaga kelgan tokning eng katta qiymati

13. Zarbaviy koeffitsientning o'zgarish chegarasi?

- A) $1 \div 10$ B) $0 \div 1$
- B) C) $0 \div 8$ D) $1 \div 2$

14. $i = \sqrt{2} \cdot K_{zrb} \cdot I_k^* - \text{bu ...}$

- A) QTning zarbaviy toki
- B) QT tokining aperiodik tashkil etuvchisi
- C) QT tokining periodik tashkil etuvchisi
- D) QT tokining periodik tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati

15. Zarbaviy koeffitsientning to'g'ri formulasini ko'rsating.

- A) $k_{zrb} = 1 + e^{-0,01/T_a}$
- B) $k_{zrb} = 1 + e^{0,01/T_a}$
- C) $k_{zrb} = 1 + e^{-0,02/T_a}$
- D) $k_{zrb} = 1 + e^{-0,01/T_a}$

16. $I_{\kappa t} = \sqrt{I_{pt}^2 + I_{at}^2}$ - bu ...

- A) QT to'la tokining eng katta ta'sir etuvchi qiymati
- B) QT to'la tokining effektiv qiymati
- C) QT tokining periodik tashkil etuvchisining effektiv qiymati
- D) QT tokining aperiodik tashkil etuvchisining effektiv qiymati

17. $I_{\kappa b} = I_i \sqrt{1 + 2(K_{\kappa b} - 1)^2}$ - bu ...

- A) QT tokining eng katta (zarbaviy) ta'sir etuvchi qiymati
- B) QT to'la tokining effektiv qiymati
- C) QT tokining periodik tashkil etuvchisining effektiv qiymati
- D) QT tokining aperiodik tashkil etuvchisining effektiv qiymati

18. QT davrida tok modul bo'yicha keskin ortadi va tabiatan ... xususiyati bo'lganligi uchun kuchlanishdan ...

- A) aktiv / 90° orqada qoladi
- B) induktiv / 90° oldinda bo'ladi
- C) induktiv / 90° orqada qoladi
- D) sig'im / 90° orqada qoladi

19. Hisobiy reaktiv qarshilik qanday bo'lganda hisobiy egri chiziqlardan foydalanib, unga mos keluvchi nisbiy tok qiymatlarini istalgan vaqt momenti uchun aniqlash mumkin? Faqat bo'lganda.

- A) $X_{hisi} > 3$
- B) $X_{hisi} \leq 3$
- C) $X_{hisi} < 1$
- D) $X_{hisi} > 1$

20. Hisobiy egri chiziqlar usulida formula

$I_{p*i} = 1 / X_{hisi}$ qaysi shartda ishlatiladi?

- A) $X_{hisi} < 1$
- B) $X_{hisi} \leq 3$
- C) $X_{hisi} > 1$
- D) $X_{hisi} > 3$

21. QT nuqtasida quvvat (MVA) formulasi?

- A) $S'' = \sqrt{3} U_{nom} \cdot I''$
- B) $S'' = 3 U_{nom} \cdot I''$
- C) $S'' = 2 U_{nom} \cdot I''$
- D) $S'' = U_{nom} \cdot I''$

22. Cheksiz quvvatli sistema QT tokining periodik tashkil etuvchisini vaqt bo'yicha so'nmas deb hisoblab, u qanday aniqlanadi?

- A) $I_{p^*S} = X_{\Sigma S} \frac{S_b}{3 U_b}$
 B) $I_{p^*S} = \frac{1}{X_{\Sigma S}} \frac{S_b}{U_b}$
 C) $I_{p^*S} = \frac{1}{X_{\Sigma S}} I_b$
 D) $I_{p^*S} = \frac{1}{X_{\Sigma S}} \frac{U_b}{S_b}$

23. Radial sxemaning i-chi shaxobchasi uchun hisobiy reaktiv qarshilik formulasi?

- A) $X_{his i} = X_{\Sigma i} \cdot \frac{S_b}{S_{nom i}}$
 B) $X_{his i} = X_{\Sigma i} \cdot \frac{S_{nom i}}{S_b}$
 C) $X_{his i} = \frac{S_{nom i}}{X_{\Sigma i} S_b}$
 D) $X_{his i} = \frac{S_b}{X_{\Sigma i} S_{nom i}}$

24. Hisobiy egri chiziqlar usuli bo'yicha vaqtning istalgan momenti uchun QT tokining periodik tashkil etuvchisining haqiqiy qiymati (kA) formulasi?

- A) $I_{kt} = I_{p^*t} \cdot \frac{S_{nom}}{I_{o'rt}}$
 B) $I_{kt} = I_{p^*t} \cdot \frac{U_{o'rt}}{3 \cdot S_{nom}}$

C) $I_{kt} = I_{p^*t} \cdot \frac{U_{o'rt}}{S_{nom}}$

D) $I_{kt} = I_{p^*t} \cdot \frac{S_{nom}}{\sqrt{3} \cdot U_{o'rt}}$

25. $L=110$ km, $U=110$ kV, $S_b=110$ MVA bo'lganda havo elektr uzatish liniyaning nisbiy qarshiligini aniqlang.

- A) 0,4 B) 4 C) 40 D) 0,04

26. Nominal kuchlanish $U=100$ kV va uch fazali QT toki $I=10$ kA bo'lganda QT quvvatini aniqlang (MVA da).

- A) $S_k = 1000$ B) $S_k = 3000$
 C) $S_k = 1730$ D) $S_k = 173$

27. Transformatorning ($K=110/11$) yuqori kuchlanishi tomonida uch fazali QT yuzaga kelgan, boshqa tomoniga generator ($S=100$ MVA, $X_d''=0,1$) ulangan. QT pog'anasiga keltirilgan generatorning qarshiligini toping.

- A) 12,1 Om B) 121 Om
 C) 0,121 Om D) 1,21 Om

4-BOB. Nosimmetrik qisqa tutashuvlar va ularni hisoblash usullari

4.1. Simmetrik tashkil etuvchilar usulini nosimmetrik rejimlarni hisoblashda qo'llash

Simmetrik tashkil etuvchilar usulini qo'llab, har qanday nosimmetrik QTning to'g'ri ketma-ketlik tok va kuchlanishlarining qiymatlarini qandaydir shartli uch fazali QTga mos qiymatlar sifatida aniqlash mumkin.

Nosimmetrik rejimlarning nazariyasini soddalashtirish uchun quyidagi asosiy farazlar qabul qilinadi: nosimetriya faqatgina sistemaning qaysidir bir nuqtasida bo'ladi, sistemaning qolgan barcha qismlari esa mutlaqo simmetrik holda qoladi deb hisoblanadi.

Bunday bir karrali nosimetriya yoki ko'ndalang nosimetriya – QT turlarining ($K^{(2)}$; $K^{(1)}$; $K^{(1.1)}$) birortasi, yoki bo'ylama nosimetriya – bir yoki ikki fazaning uzilishi bo'lishi mumkin.

Nosimmetrik rejimlar tahlil qilish simmetrik tashkil etuvchilar usuli asosida osonlikcha bajariladi. Bu usul bo'yicha nosimetriya yuzaga kelganda ko'rilayotgan sistemaning to'g'ri, teskari va nolinch ketma-ketlik almashlash sxemalari alohida olib qaraladi, ulardagi tok va kuchlanishlar hisoblanadi va ularning qiymati bo'yicha faza kattaliklari aniqlanadi.

Nosimmetrik uch fazali EYUK lar sistemasi simmetrik tashkil etuvchilar orqali ifodalanishi:

$$\begin{aligned}\dot{U}_A &= \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0} = \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}; \\ \dot{U}_B &= \dot{U}_{B1} + \dot{U}_{B2} + \dot{U}_{B0} = a^2 \dot{U}_{A1} + a \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}; \\ \dot{U}_C &= \dot{U}_{C1} + \dot{U}_{C2} + \dot{U}_{C0} = a \dot{U}_{A1} + a^2 \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0};\end{aligned}\quad (4.1)$$

bu yerda a – burchak operatori bo'lib,

$$a = e^{j120^\circ}; \quad a^2 = e^{j240^\circ}; \quad a^3 = e^{j360^\circ} = 1; \\ 1 + a + a^2 = 0$$

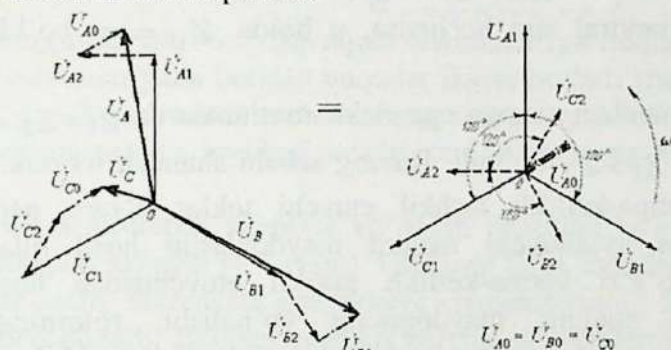
Bunda har xil tur shikastlanishlarda bitta fazani (A fazani) ajratib, hosil bo'ladigan nosimmetrik rejimnig har bir ketma-ketligi uchun umumiy bo'lgan Kirxgofning 2-qonuni tenglamalarini yozish mumkin:

$$\dot{U}_{A1} = \dot{E}_{\Sigma} - \dot{I}_1 Z_{1\Sigma}; \quad (4.2)$$

$$\dot{U}_{A2} = 0 - \dot{I}_2 Z_{2\Sigma};$$

$$\dot{U}_{A0} = 0 - \dot{I}_0 Z_{0\Sigma};$$

oxirgi ikkita tenglamada EYUK qatnashmaydi, chunki elektr mashinada EYUKning teskari va nolinchi ketma-ketliklarini generatsiya qiladigan elementlar mavjud emas. Keyingi o'rinlarda ajratilgan fazani bildiradigan "A" indeksi yozilmaydi, Z ni o'rniga X yozilishi mumkin. Jarayonni tahlil qilish uchun (4.1) va (4.2) larga yetishmaydigan uchta tenglama konkret shikastlanish turiga qarab, chegaraviy shartlardan aniqlanadi.



4.1-rasm. Nosimmetrik $\dot{U}_A$, $\dot{U}_B$, $\dot{U}_C$ sistemani simmetrik tashkil etuvchilarga yoyish.

4.2. Qisqa tutashuvli zanjirlar elementlarining to'g'ri, teskari va nol inchi simmetrik ketma-ketliklar qarshiliklari

Uch fazali zanjirlarni hisoblashda har xil ketma-ketlikli toklar uchun zanjirning qarshiliklarini bilish lozim bo'ladi, chunki bu qarshiliklarning qiymatlari turlicha. To'g'ri, teskari va nol ketma-ketlikli faza kuchlanishlari kompleks qiymatlarining unga mos faza toklar kompleks qiymatlariga nisbati zanjirning to'g'ri, teskari va nol ketma-ketlikli kompleks qarshiliklari deb ataladi:

$$\underline{Z}_1 = \frac{U_1}{I_1}, \quad \underline{Z}_2 = \frac{U_2}{I_2}, \quad \underline{Z}_0 = \frac{U_0}{I_0}. \quad (4.3)$$

Tarkibida aylanuvchan qismga ega bo'lgan elektr mashinalari bo'lmagan uch fazali zanjirlar (masalan, transformatorlar, uzatish liniyalari va h.k.) uchun $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$.

Nol ketma-ketlikli tashkil etuvchi tok uchun qarshilikning qiymati uch fazali zanjirning ulanish sxemasiga bog'liq bo'ladi. To'rt simli uch fazali zanjirda agar $Z_A = Z_B = Z_C = Z$ bo'lsa, u holda unga berilgan simmetrik kuchlanish fazalari ketma-ketligi o'zgartirilganda toklar qiymatlari o'zgarimasdan qoladi (faqat ularning ketma-ketligi o'zgaradi). Shuning uchun ham bunday zanjirlar uchun $Z_1 = Z_2 = Z$ bo'ladi.

Agar uch fazali zanjirga nol ketma-ketlikli kuchlanishlar sistemasi ($\underline{U}_A = \underline{U}_B = \underline{U}_C = \underline{U}_0$) berilgan bo'lsa, u holda

$$\begin{aligned} \underline{I}_N &= \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 3\underline{I}_0 \\ \underline{Z}_0 &= \underline{Z} + 3\underline{Z}_N = \underline{U} / \underline{I}. \end{aligned} \quad (4.4)$$

Agar neytral sim bo'lmasa, u holda $\underline{Z}_0 = \infty$ bo'lib, $\underline{I}_0 = 0$ bo'ladi.

Aylanuvchan qismga ega elektr mashinalarda $Z_1 \neq Z_2 \neq Z_0$ bo'lib, ko'pincha $Z_1 > Z_2$ bo'ladi. Buning sababi shundan iboratki, to'g'ri va teskari ketma-ketlikli tashkil etuvchi toklar o'zaro qarama-qarshi yo'nalishda aylanuvchi magnit maydonlarini hosil qiladi. Bunda tokning to'g'ri ketma-ketlikli tashkil etuvchisidan hosil bo'lgan aylanuvchi magnit maydonining yo'nalishi, rotorning aylanish yo'nalishiga mos, tokning teskari ketma-ketlikli tashkil etuvchisidan hosil bo'lgan aylanuvchi magnit maydonining yo'nalishi, rotorning aylanish yo'nalishiga teskari bo'ladi.

Shunday qilib, simmetrik tashkil etuvchilar usuli uch fazali chiziqli zanjirlarda yuzaga keladigan nosimmetrik rejimlarni hisoblashda ancha qulay va soddasi bo'lib, u zanjirlar tahlilini birmuncha yengillashtiradi.

4.3. To'g'ri, teskari va nolinci ketma-ketliklar uchun almashlash sxemalari

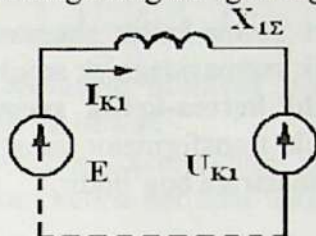
Hisoblarni bajarish uchun elektr sistemaning to'g'ri, teskari va nolinci ketma-ketlik sxemalarini ko'rish hamda ularni QT nuqtasiga nisbatan ekvivalentlab, natijaviy qarshiliklarini aniqlash kerak.

To'g'ri ketma-ketlik sxemasi simmetrik uch fazali rejimlarni hisoblashda ishlatiladigan sxema bilan mos tushadi (4.2-rasm). Bu sxemaga generator va yuklamalar qo'llanilayotgan hisoblash usuli va

vaqt momentiga bog'liq ravishda o'zlarining reaktansi va EYUKlari bilan kiritiladi.

To'g'ri ketma-ketlik sxemasining boshi deb generatsiya va yuklamalar birlashtirilgan, potentsiali nolga teng bo'lgan tugun olinadi.

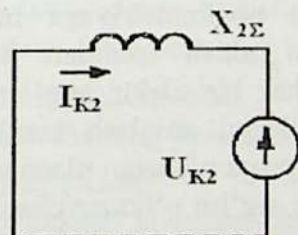
4.2-rasm. To'g'ri ketma-ketlik sxemasi.



Sxemaning oxiri qilib ko'rilayotgan nosimmetriya nuqtasi olinadi. Bo'ylama nosimmetriyada bunday nuqtalar ikkita bo'ladi (faza uzilgan joyida). To'g'ri ketma-ketlik sxemasining oxirgi nuqtalari orasidagi kuchlanish nosimmetriya joyidagi to'g'ri kema-ketlikning kuchlanishi deb ataladi.

Teskari ketma-ketlik sxemasi ko'rinish jihatidan to'g'ri ketma-ketlik sxemasiga o'xshaydi (4.3-rasm). Ularning farqi shundan iboratki, teskari ketma-ketlik sxemasida generatsiya elementlarining EYUK lari nolga teng deb olinadi. Bundan tashqari barcha elementlarning teskari ketma-ketlik reaktansi o'zgarmas va ularning nosimmetriya sodir bo'lish shartlari va turi, hamda o'tkinchi jarayonning davomlilikiga bog'liq emas deb hisoblanadi.

4.3-rasm. Teskari ketma-ketlik sxemasi.



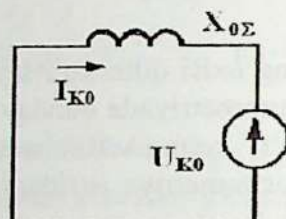
Agarda generator, motor va umumlashgan yuklamalar uchun teskari ketma-ketlik qarshiliklarining aniq qiymatlari ma'lum bo'lmasa, ular quyidagicha qabul qilinadi: dempfer chulg'amisiz mashinalar uchun $x_2 \approx 1,45x_d'$; dempfer chulg'amili mashina va turbogeneratorlar uchun $x_2 \approx 1,22x_d'$; umumlashgan yuklamalar uchun $x_2 \approx 0,35$. Bu qiymat shu yuklama ulangan pog'onaning o'rtacha nominal kuchlanishi va yuklamaning to'la ishchi quvvatiga keltirilgan qiymatdir.

Teskari ketma-ketlik sxemasidagi qolgan barcha elementlar parametrlarining qiymatlari (tokni chegaralovchi reaktorlar, transformatorlar, avtotransformatorlar, havo va kabel uzatish liniyalari) to'g'ri ketma-ketlikdagi qiymatlariga teng bo'ladi. Ularning magnit maydon orqali bog'langan qismlari bir-biriga nisbatan harakatsiz bo'ladi.

Teskari ketma-ketlik sxemasining boshi va oxiri xuddi to'g'ri ketma-ketlik sxemasidagidek aniqlanadi.

Nolinchi ketma-ketlik sxemasining tuzilishi (4.4-rasm) asosan unga kiruvchi transformator va avto transformatorlar chulg'amlarining ulanish sxemalariga bog'liqdir.

4.4-rasm. Nolinchi ketma-ketlik sxemasi.



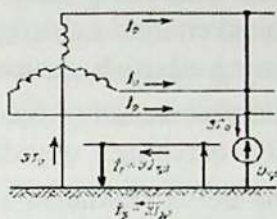
Bu sxemani tuzishni odatda nosimmetriya sodir bo'lgan nuqtadan boshlash kerak. Bunda, nosimmetriya sodir bo'lgan nuqtada barcha fazalar bir-biri bilan qisqa tutashtirilgan va bu nuqtaga nolinchi kema-ketlikning kuchlanishi biriktirilgan deb hisoblash kerak.

Bu kuchlanish nosimmetriya turiga bog'liq ravishda yerga nisbatan (ko'ndalang nosimmetriya uchun), yoki fazalarning uzilish joyiga ketma-ket qo'yiladi (bo'ylama nosimmetriya uchun).

Berilgan nosimmetriyaga mos keluvchi nolinchi ketma-ketlik kuchlanishini ulash usulidan kelib chiqib, nolinchi ketma-ketlik toklarining har bir elektr bog'langan zanjir chegaralaridagi mumkin bo'lgan yo'llarini aniqlash kerak. Nolinchi ketma-ketlikning kuchlanishi (U_0) yerga nisbatan ulanganda nolinchi ketma-ketlik toklarining oqishi uchun sig'im o'tkazuvchanligi bo'lmagan holda shu kuchlanish qo'yilgan bevosita (elektr) bog'langan zanjirda kamida bitta yerga ulangan neytral nuqtasi bo'lishi shart (4.5-rasm).

Bo'ylama nosimmetriyada o'sha elektr bog'langan zanjirning aylanib o'tish yo'llari orqali yopiq kontur mavjud bo'lsa, nolinchi ketma-ketlik toklari hatto yerga ulangan neytrallar yo'q bo'lgan taqdirda ham oqishi mumkin.

4.5-rasm. Nolinchi ketma-ketlik tokining o'tish sxemasi.



Shunga muvofiq almashlash sxemasiga nolinchi ketma-ketlik toklari oqib o'tuvchi elementlarigina kiritiladi.

Elementlarning nolinchi ketma-ketlik sxemasidagi qarshiliklari umumiy holda ularning to'g'ri va teskari ketma-ketliklar toklari bo'lgan qarshiliklardan anchagina farq qiladi.

Sinxron mashinalar (SM) sistemaga chulg'amlarning ulash sxemasi Δ/Y bo'lgan transformatorlar orqali ulanadi, generatorlarning o'zi esa, izolyatsiya qilingan yoki kompensatsiyalangan neytral bilan ishlaydi. Bu holda sinxron mashina nolinchi ketma-ketlik sxemasiga kiritilmaydi.

Umumlashgan yuklamalar uchun x_0 qarshiligi ularning tarkibidagi elementlarning va pasaytiruvchi transformatorlarning ta'minlovchi chulg'amlarining qarshiliklari va ulanish sxemalari orqali aniqlanadi. Odatda, pasaytiruvchi transformatorlarning ta'minlovchi chulg'amlari uchburchak usulida ulanadi, bu esa yuklamada nolinchi ketma-ketlik toklari hosil bo'lishiga to'sqinlik qiladi. Ammo, bu hol 110 kV va undan katta kuchlanishli tarmoqlarga keltirilgan umumlashgan yuklamalar uchun taalluqli emas. Ular uchun x_0 masalaning boshlang'ich shartlarida beriladi yoki alohida aniqlanadi.

Transformatorlarning x_0 kattaligi ularning konstruktiv tuzilishi va chulg'amlarining ulanish usuli bilan aniqlanadi.

Uchburchak yoki yulduzcha sxemasiga ulangan chulg'am tomonidan **neytrali izolyatsiya qilingan** boshqa chulg'amlar qanday ulanganidan qat'iy nazar, **nolinchi ketma-ketlik toklari hosil bo'la olmaydi**, chunki ular uchun yer orqali qaytish yo'li yoki boshqa yopiq zanjir yo'q. Bu holda transformatorlar uchun $x_0 = \infty$.

Nolinchi ketma-ketlik toklari oqishi uchun yo'l shikastlanishi yerga tutashgan tomonidan faqat neytrali yerga bevosita ulangan transformatorlarda mavjud. Bu holda transformatorning qarshiligi nolinchi ketma-ketlik almashlash sxemasida hisobga olinishi kerak.

4.6- rasmda eng ko'p tarqalgan ikki va uch chulg'amli transformatorlar hamda uch chulg'amli avtotransformatorlar uchun chulg'amlarining ulash sxemalari keltirilgan.

Chulg'amlarning **ulanish sxemasi** Y_0/Δ bo'lgan ikki chulg'amli barcha transformatorlar uchun (4.6,a – rasm) nolinchi ketma-ketlikning reaktansi induktiv qarshiligi quyidagicha bo'ladi: $x_0 = x_I + x_{II} = x_I$, ya'ni to'g'ri ketma-ketlik reaktansiga tengdir.

Bunday transformatorlarning ikkilamchi chulg'amlarida nolinchi ketma-ketlikning EYUK si hosil bo'ladi. Chulg'am fazalari uchburchak usulida ulangani tufayli ularda nolinchi ketma-ketlik toklari yuzaga keladi, lekin bu toklar uchburchakdan tashqariga chiqa olmaydi. Shunday qilib, ikkilamchi chulg'amda hosil bo'lgan nolinchi ketma-ketlik EYUK si ikkilamchi chulg'am qarshiligi x_{II} dan nolinchi ketma-ketlik tokini o'tkazishga sarflanadi. Uchburchak usulida ulangan chulg'amning tashqi zanjirini uzib qo'yib, x_{II} qarshilikli shaxobchaning oxiri yerga ulab qo'yiladi.

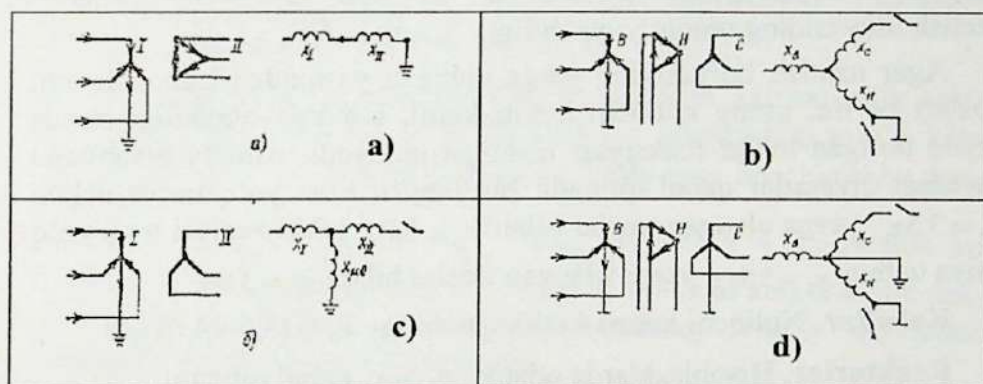
Sxemada transformator tuzilishiga bog'liq ravishda nolinchi ketma-ketlik magnitlanish reaktansi $x_{\mu 0}$ hisobga olinishi mumkin.

Uchta bir fazali transformatorlar gruppasi hamda uch fazali transformatorlar uchun nolinchi ketma-ketlik magnitlanish toki juda ham kichikdir, chunki bu holda Φ_0 magnit oqimi uchun sharoitlar to'g'ri ketma-ketlik (Φ_I) sharoitlari bilan bir xildir. Shuning uchun ham $x_{\mu 0} = \infty$ deb hisoblash mumkin.

Uch fazali uch o'zakli transformatorlarda sharoitlar boshqachadir. Ularda nolinchi ketma-ketlik magnit oqimlari nomagnit muhit va transformatorning g'ilofi orqali berkiladi. Magnit qarshiligi katta bo'lgan yo'l orqali magnit oqimini o'tkazish uchun shunga mos katta magnitlash toki kerak bo'ladi. Shuning uchun ham bunday tipdagi transformatorlarda $x_{\mu 0}$ reaktansi $x_{\mu 1}$ ga qaraganda ancha kichik bo'lib, u $x_{\mu 0} = (0,3 \div 1,0)$ oralig'ida yotadi. x_{II} ning kattaligi $x_{\mu 0}$ dan anchagina kichikligini nazarda tutgan holda chulg'amlari Y_0/Δ usulida ulangan uch o'zakli transformator uchun ham amalda $x_{\mu 0} = \infty$ deb hisoblash mumkin.

Uchburchak usulida ulangan chulg'am ham almashlash sxemasiga shunga o'xshash kiritiladi (4.6,b,c,d-rasm). Transformatorning almashlash sxemasidagi neytrali izolyatsiyalangan yulduz usulida ulangan chulg'am kiritilmaydi, chunki unda nolinchi ketma-ketlik toklari hosil bo'lmaydi.

Neytrali yerga ulangan yulduzcha usulida ulangan chulg'am almashlash sxemasiga quyidagi shart bajarilganda kiritiladi: bu chulg'am tomonida nolinchi ketma-ketlik toki o'tishi uchun yo'l ta'minlangan bo'lishi kerak, ya'ni uning zanjirida kamida yana bitta yerga ulangan neytral bo'lishi shart.



4.6-rasm. Transformatorlar ulanish sxemalari:

a) Y_0/Δ ; b) $Y_0/\Delta/Y$; c) Y_0/Y ; d) $Y_0/\Delta/Y_0$.

Avtotransformatorlarda nolinchi ketma-ketlik toklari yuqori kuchlanish chulg'ami tomonidan o'rta kuchlanish chulg'ami tomoniga va teskari yo'nalishda o'tishi mumkin, chunki yuqori kuchlanish va o'rta kuchlanish chulg'amlari avtotransformatorlar uchun umumiy neytralga ega. Shuning uchun almashlash sxemasida avtotransformatorning barcha chulg'amlari ishtirok etadi. Almashlash sxemasidagi x_1, x_{II}, x_{III} qarshiliklari uch fazali uch chulg'amli transformatorlar qarshiliklari kabi topiladi.

Havo uzatish liniyalari to'g'ri (teskari) ketma-ketlik qarshiligidan ancha katta bo'lgan x_0 qarshiligiga ega. Buning sababi quyidagicha. To'g'ri (yoki teskari) ketma-ketlik toki oqqanda boshqa fazalar bilan o'zaro induksiya fazalarning umumiy oqimini kamaytirsa, nolinchi ketma-ketlik toki oqqanda esa, u fazalar umumiy oqimini oshiradi. Shunga muvofiq ravishda bir zanjirli uch fazali uzatish liniyasi uchun

nolinchi ketma-ketlik qarshiligi quyidagicha bo'ladi: $x_0 = x_L + 2x_M$, to'g'ri ketma-ketlik qarshiligi esa: $x_1 = x_L - x_M$, bu yerda x_L va x_M nolinchi ketma-ketlik tokining yer orqali qaytishini hisobga olib aniqlangan faza induktivligi (reaktansi) va fazalararo induksiya qarshiligi.

Ikki zanjirli uzatish liniyasi har bir zanjirning nolinchi ketma-ketlik qarshiligi parallal zanjirlar simlari orasidagi o'zaro induksiya hisobiga qo'shimcha yanada ortadi. Parallel zanjirlar bir xil bo'lganda $x_{10} = x_{20} = x_0$ ularning har birining nolinchi ketma-ketlik qarshiligi: $x'_0 = x_0 + x_{1-20}$ va ularning natijaviy qarshiligi (ya'ni ikki zanjirli uzatish liniyasining umumiy qarshiligi): $x'_0 = 0,5x'_0 = 0,5(x_0 + x_{1-20})$.

Agar uzatish liniyasining yerga ulangan yashindan himoyalovchi troslari bo'lsa, uning nolinchi ketma-ketlik induktiv qarshiligi trosda paydo bo'lgan toklar reaksiyasi hisobiga pasayadi. Amaliy hisoblarda quyidagi qiymatlar qabul qilinadi: bir zanjirli trosi yo'q liniya uchun $x_0 = 3,5x_1$, yerga ulangan troslar bilan $x_0 = 2,0x_1$, ikki zanjirli trosi yo'q liniya uchun $x_0 = 5,5x_1$, yerga ulangan troslar bilan $x_0 = 3,0x_1$.

Kabellar. Nolinchi ketma-ketlik qarshiligi $x_0 = (3,5 \div 4,6)x_1$.

Reaktorlar. Hisoblashlarda odatda $x_0 \approx x_1$ qabul qilinadi.

4.4. To'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasi

Simmetrik uch fazali zanjirga nosimmetrik yuklama ulanganda **ko'ndalang nosimmetriya** hosil bo'ladi. Bularga nosimmetrik qisqa tutashishlarning har xil turlari kiradi, ya'ni bir fazali, ikki fazali QT lar, ikki fazaning yerga tutashuvi. Ko'ndalang nosimmetriyaning har xil turlarini taqqoslash asosida to'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasini aniqlash mumkin.

To'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasiga asosan har qanday nosimmetrik QT ning to'g'ri ketma-ketlik tokining tutashuv nuqtasini QT turiga bog'liq bo'lgan $x_{\Delta}^{(n)}$ qarshiligi ortiga ko'chirib (4.8-rasm), u yerdagi uch fazali QT toki kabi aniqlash mumkin:

$$j_{A1}^{(n)} = \frac{\dot{E}_{A\Sigma}}{j(x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(n)})} \quad (4.5)$$

bu yerda $E_{A\Sigma}$ – to‘g‘ri ketma-ketlik sxemaning natijaviy EYUKi;

$x_{1\Sigma}$ – to‘g‘ri ketma-ketlik sxemaning QT nuqtasiga nisbatan natijaviy qarshiligi;

$x_{\Delta}^{(n)}$ – to‘g‘ri ketma-ketlik sxemasiga kiritiluvchi **qo‘shimcha qarshilik** (4.1-jadval).

Nosimmetrik QT joyidagi faza tokining modulini quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$I_k^{(n)} = m^{(n)} I_{A1}^{(n)} \quad (4.6)$$

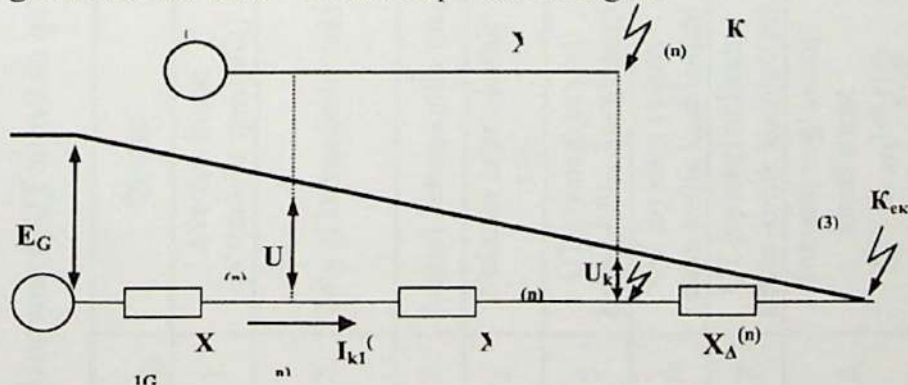
bunda $m^{(n)}$ – **toklarni bog‘lovchi koeffitsient** (4.1-jadval), $m^{(3)} = 1$.

Bu holda teskari ketma-ketlik va nolinchi ketma-ketlik toklari, hamda barcha ketma-ket kuchlanishlari QT nuqtasidagi to‘g‘ri ketma-ketlik toki $I_{A1}^{(n)}$ ga proporsionaldir. Ularga mos bog‘lanishlar hamda barcha turdagi QT uchun $x_{\Delta}^{(n)}$ ning qiymatlari 4.1-jadvalida ko‘rsatilgan. Ushbu jadvalda to‘g‘ri, teskari va nolinchi ketma-ketlik tashkil etuvchilari yordamida nosimmetrik rejimning fazaviy qiymatlarini hisoblash uchun ifodalar keltirilgan.

U_{A1} kuchlanish uchun yozilgan ifodalardan ko‘rinib turibdiki (4.1-jadval) ularni umumiy holda quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$U_{A1}^{(n)} = x_{\Delta}^{(n)} I_{A1}^{(n)} \quad (4.7)$$

Nosimmetrik QT ning to‘g‘ri ketma-ketlik toki va kuchlanishlarini aniqlash, yordam beruvchi ekvivalent uch fazali QT ning kuchlanishlar diagrammasi ma‘nosi 4.8-rasm orqali tasvirlangan.



4.8-расм. То'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasini tushuntirishga oid.

Bo'ylama nosimmetriya (bir yoki ikki fazaning uzilishi) shartlaridan ham to'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasi kelib chiqadi, ya'ni to'g'ri ketma-ketlik tokini uch fazali rejimdagi tok kabi topish mumkin.

Buning uchun sxemaning nosimmetrik qismi simmetrik zanjir bilan almashtiriladi. Bu zanjir qarshiligi har qanday bo'ylama nosimmetriya uchun sxemaning nosimmetrik qismi qarshiligi hamda nosimmetriya joyiga nisbatan va teskari ketma-ketlik va nolinch ketma-ketlik qarshiliklari orqali aniqlanadi. Bunda **bo'ylama nosimmetriya** fazalarga har xil qarshilikli yuklamalar ulanganda, bitta yoki ikkita fazada uzilish paydo bo'lganda yuzaga keladi:

$$I_{LA1}^{(n)} = \frac{E_{AE}}{j(x_{L1\Sigma} + x_{\Delta L}^{(n)})} \quad (4.8)$$

bu yerda

$x_{L1\Sigma}$ – bo'ylama nosimmetriya joyiga nisbatan to'g'ri ketma-ketlikning natijaviy qarshiligi;

$x_{\Delta L}^{(n)}$ – to'g'ri ketma-ketlik sxemasiga kiritiluvchi qo'shimcha qarshilik.

4.1-jadval.

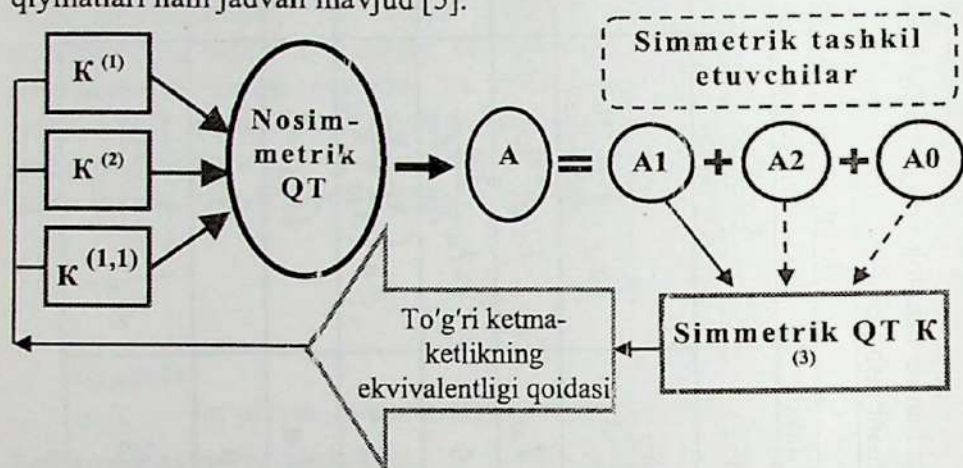
Nosimmetrik QT lar uchun qo'shimcha qarshiliklarni hamda faza tok va kuchlanishlarining simmetrik tashkil etuvchilarini hisoblash ifodalari.

№	Qiymat	Belgilanishi	Nosimmetrik QT turlari		
			Ikki fazali	Ikki fazali yerga	Bir fazali
1.	Avariya shunti (qo'shimcha qarshilik)	$X_{\Delta}^{(n)}$	$X_{2\Sigma}$	$\frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$	$X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}$
2.	To'g'ri ketma-ketlik toki	I_{A1}	$\frac{\dot{E}_{\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})}$	$\frac{\dot{E}_{\Sigma}}{j\left(X_{1\Sigma} + \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}\right)}$	$\frac{\dot{E}_{\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})}$
3.	Teskari ketma-ketlik toki	I_{A2}	$-\dot{I}_{A1}$	$-\dot{I}_{A1} \frac{X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$	$\dot{I}_{A1}$
4.	Nolinci ketma-ketlik toki	I_{A0}	0	$-\dot{I}_{A1} \frac{X_{2\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$	$\dot{I}_{A1}$
5.	QT joyidagi to'g'ri ketma-ketlik kuchlanishi	$\dot{U}_{A1}$	$jX_{2\Sigma} \cdot \dot{I}_{A1}$	$j\dot{I}_{A1} \cdot \left(\frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}\right)$	$j(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})\dot{I}_{A1}$
6.	QT joyidagi teskari ketma-ketlik kuchlanishi	$\dot{U}_{A2}$	$\dot{U}_{A1}$	$\dot{U}_{A1}$	$-jX_{2\Sigma}\dot{I}_{A1}$
7.	QT joyidagi nolinci ketma-ketlik kuchlanishi	$\dot{U}_{A0}$	0	$\dot{U}_{A1}$	$-jX_{0\Sigma}\dot{I}_{A1}$
8.	Toklarni bog'lovchi koeffitsient $I_k^{(n)} = m^{(n)} I_{kA1}^{(n)}$	$m^{(n)}$	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3} \sqrt{1 - \left(\frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}\right)^2}$	3

To'g'ri ketma-ketlikning nosimmetrik qismidagi kuchlanish kamayishi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta U_{LA1}^{(n)} = x_{\Delta L}^{(n)} I_{LA1}^{(n)}. \quad (4.9)$$

Qisqa tutashuvlarning har xil turlari uchun teskari va nolinch ketma-ketlik toklari, to'g'ri, teskari va nolinch ketma-ketlik kuchlanishlari bilan $I_{LA1}^{(n)}$ toki orasidagi bog'lanishlar, $x_{\Delta L}^{(n)}$ ning qiymatlari ham jadvali mavjud [5].



4.9-rasm. To'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasiga oid grafik organayzer.

To'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasi istalgan nosimmetrik QT ni hisoblashda yuqorida keltirilgan usullarni tokning boshlang'ich qiymatini hisoblash, hisoblash egri chiziqlari va to'g'rilangan xarakteristikalar usullarini qo'llashga imkon beradi.

Demak, nosimmetrik qisqa tutashuvlarni hisoblash simmetrik tashkil etuvchilar usuli va to'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasini qo'llashdan iborat (4.9-rasn).

Har xil turdagi qisqa tutashuvlarni solishtirish

To'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasi har xil turdagi qisqa tutashuvlarni o'zaro solishtirishni oson yo'lini beradi.

Har xil turdagi QT lar sistemaning bitta nuqtasida va bir xil boshlang'ich shartlarda sodir bo'lishini faraz qilib, ular uchun qo'shimcha reaktiv qarshiliklar $x_{\Delta}^{(n)}$ orasida quyidagi tengsizliklarni yozish mumkin:

$$x_{\Delta}^{(1)} > x_{\Delta}^{(2)} > x_{\Delta}^{(1,1)} > x_{\Delta}^{(3)} = 0. \quad (4.10)$$

$$\text{Mos ravishda } I_{k1}^{(1)} < I_{k1}^{(2)} < I_{k1}^{(1.1)} < I_k^{(3)} \quad (4.11)$$

$$\text{va } U_{k1}^{(1)} > U_{k1}^{(2)} > U_{k1}^{(1.1)} > U_k^{(3)} = 0. \quad (4.12)$$

Har xil turdagi QT lar uchun erkin (aperiodik) tokining so'nishi vaqt doimiysi (bir nuqtada) quyidagi tengsizliklar bilan bog'liq:

$$T_d^{(1)} > T_d^{(2)} > T_d^{(1.1)} > T_d^{(3)}. \quad (4.13)$$

Sistemaning xuddi o'sha nuqtasida sodir bo'lgan nosimmetrik QT tokining qiymati uch fazali QT toki qiymatiga nisbatan o'zgarish chegaralarini aniqlaymiz. (4.5) va (4.6) tenglamalar asosida, quyidagi soddalashtirilgan ifodani keltirish mumkin:

$$K_{(n-3)} = \frac{I_k^{(n)}}{I_k^{(3)}} = \frac{m^{(n)} E_{\Sigma}^{(n)}}{E_{\Sigma}^{(3)} (1 + x_{\Delta}^{(n)} / x_{1\Sigma})} \approx \frac{m^{(n)}}{(1 + x_{\Delta}^{(n)} / x_{1\Sigma})}.$$

4.4-jadvaldan kerakli ma'lumotlarni olib, ushbu ifodaga qo'yamiz va quyidagilarni hosil qilamiz:

– ikki fazali QT uchun:

$$K_{(2-3)} = \sqrt{3} / (1 + x_{2\Sigma} / x_{1\Sigma}); \quad \sqrt{3} / 2 \leq K_{(2-3)} < \sqrt{3};$$

– bir fazali QT uchun:

$$K_{(1-3)} = 3 / (1 + (x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}) / x_{1\Sigma}); \quad 0 \leq K_{(2-3)} < 3 \quad (1,5 - \text{uzoq QTda});$$

– ikki fazali yerga QT uchun:

$$K_{(1.1-3)} = m^{(1.1)} / (1 + x_{2\Sigma} x_{0\Sigma} / ((x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}) x_{1\Sigma})); \quad \sqrt{3} / 2 \leq K_{(1.1-3)} \leq \sqrt{3}.$$

4.5. Kompleks almashlash sxemalari

QT nuqtasida kuchlanishlarning simmetrik tashkil etuvchilari orasidagi o'zaro nisbatlar (4.2) har bir nosimmetrik QT turi uchun har xil ketma-ketliklarga tuzilgan almashlash sxemalarini birlashtirib, ushbu QT turiga kompleks almashlash sxemasini qurishga imkon beradi. Bunday almashlash sxema to'g'ri ketma-ketlik ekvivalentligi qoidasini juda yaxshi namoyish etadi.

4.10-rasmda A fazaga mos keladigan hamda $x_{1\Sigma}$, $x_{2\Sigma}$ va $x_{0\Sigma}$ lar bilan tavsiflanadigan QT zanjirning kompleks almashlash sxemalari ko'rsatilgan. Bunda kuchlanish va toklarning simmetrik tashkil etuvchilari o'rtasida munosabatlar saqlanganligiga ishonch hosil qilish qiyin emas.

Uch fazali QT da teskari va nolinci ketma-ketliklar uchun almashlash sxemalari mavjud emas va QT nuqtasida kuchlanishning

simmetrik tashkil etuvchilari nolga teng, shuning uchun kompleks almashlash sxemasiga (4.10,a-rasm) faqat to'g'ri ketma-ketlikning ekvivalent sxemasi kiradi.

Ikki fazali QT da nolinci ketma-ketlik toki oqmaydi, shuning uchun kompleks almashlash sxemasiga (4.10,d-rasm) faqat to'g'ri va teskari ketma-ketlikning ekvivalent sxemasi kiradi. Bunda QT joyida kuchlanishning to'g'ri va teskari tashkil etuvchilari bir biriga teng bo'ladi, toklari esa qarama-qarshi bo'lib, teskari ketma-ketlik sxemasining oxiridan boshiga yo'nalgan bo'ladi.

Bir fazali QT ning hamma uchala ketma-ketliklarining sxemalarida bir xil tok oqadi, kuchlanish pasayishining to'g'ri ketma-ketligi esa QT joyida teskari va nolinci ketma-ketliklarning yig'indisiga teng. Bu holat bir fazali QT ning kompleks almashlash sxemasida (4.10,b-rasm) uchta ekvivalent sxemani ketma-ket ulashga imkon beradi.

Ikki fazali yerga QT uchun kompleks almashlash sxemasi 4.10,c-rasmda ko'rsatilgan. Ushbu QT turida QT joyida kuchlanishning barcha simmetrik tashkil etuvchilari bir biriga teng, bu esa barcha ketma-ketlik almashlash sxemalarini parallel birlashtirishga imkon beradi.

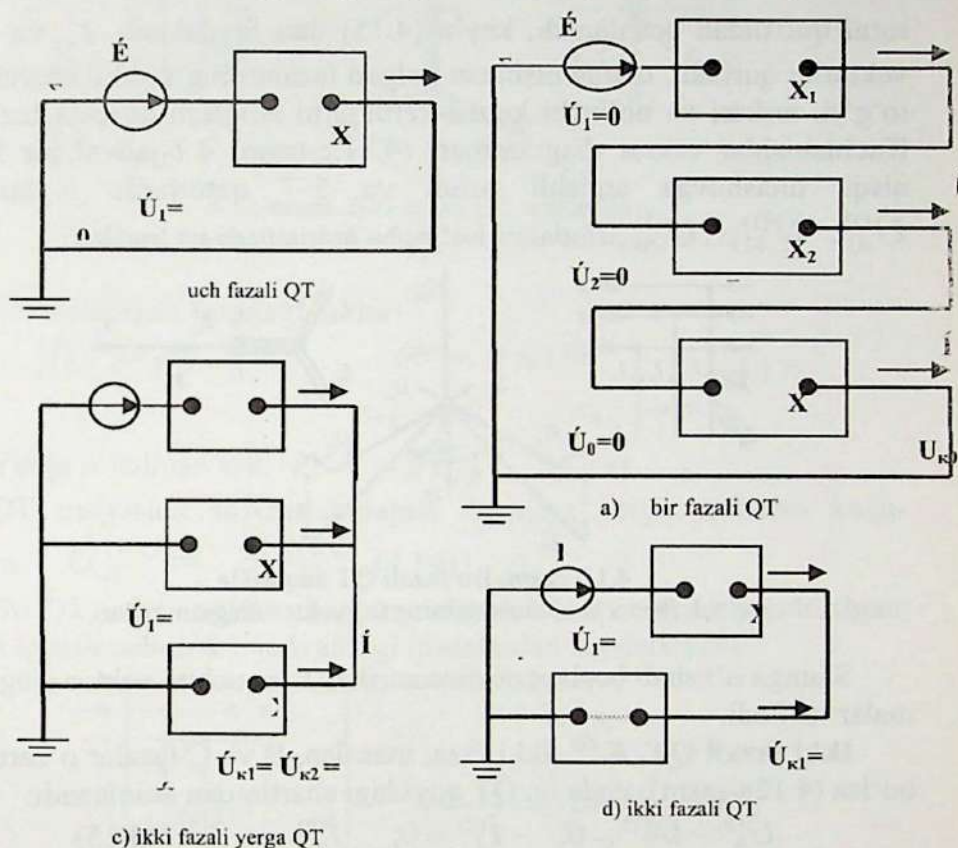
Kompleks almashlash sxemalari qurilmalarning hisobiy modellarini qo'llashda ayniqsa qulaydir, chunki bunda ko'rilayotgan sxemaning hohlagan nuqta yoki uchastkasida tok va kuchlanishlarning alohida ketma-ketliklarini o'lchash mumkin.

Har bir QT turiga QT joyida toklarning simmetrik tashkil etuvchilari o'rtasida munosabatlar shu bilan birga toklar va kuchlanishlarning simmetrik tashkil etuvchilari o'rtasidagi munosabatlar ma'lum bo'lganligi uchun hamda (4.5) bo'yicha $I_{\alpha i}^{(n)}$ ni bilib, QT joyida tok va kuchlanishlarning simmetrik tashkil etuvchilarini topish oson, (4.1) bo'yicha esa ularning haqiqiy qiymatlarini aniqlash mumkin. Agar QT joyida shikastlangan fazaning tokini hisoblash talab etilsa, unda ularni koeffitsient $m^{(n)}$ orqali (4.6) bo'yicha hisoblash mumkin.

4.6. Ikki, bir va ikki fazali yerga qisqa tutashuvlarni amaliy usullarda hisoblash va vektor diagrammalarini qurish

Oldingi bandlarda aytilganidek nosimmetrik QT sodir bo'lgan nuqtadagi tok va kuchlanishlarni hisoblash uchun avval to'g'ri, teskari

va nolinchii ketma-ketliklar uchun almashlash sxemalar tuziladi va natijaviy qarshiliklar $x_{1\Sigma}$, $x_{2\Sigma}$, $x_{0\Sigma}$ va natijaviy EYUK E aniqlanadi.



4.10-rasm. Kompleks almashlash sxemalar: uch fazali (a), bir fazali (b), ikki fazali yerga (c) va ikki fazali (d) QT lar uchun.

Bunda tokning musbat yo'nalishi deb, QT nuqtasi tomonga yo'nalish qabul qilinadi. Quyida jarayonni tahlil qilish uchun (4.1) va (4.2) larga avval yetishmaydigan uchta tenglama konkret shikastlanish turiga qarab, chegaraviy shartlardan aniqlanadi.

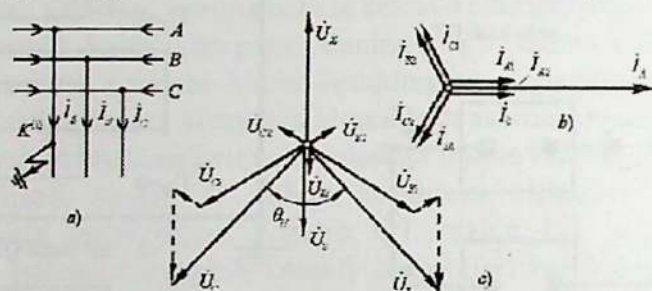
Bir fazali QT, $K^{(1)}$. Bir faza, masalan, A (4.11,a-rasm), yerga tutashganda bu QT quyidagi shartlardan aniqlanadi:

$$\dot{U}_A^{(1)} = 0; \quad \dot{I}_B^{(1)} = 0; \quad \dot{I}_C^{(1)} = 0. \quad (4.14)$$

B va C fazalardan tok o'tmaganligi sababli, shikastlangan A fazadagi toklar (4.1-jadval, oxirgi ustun, 2–3 qatorlar):

$$\dot{I}_{A1}^{(1)} = \dot{I}_{A2}^{(1)} = \dot{I}_{A0}^{(1)} = \dot{I}_A^{(1)} / 3. \quad (4.15)$$

Toklarning vektor diagrammasini qurish (4.11b-rasm) $\dot{I}_{A1}$ vektorini qurishdan boshlanadi, keyin (4.15) dan foydalanib $\dot{I}_{A2}$ va $\dot{I}_{A0}$ vektorlar quriladi, ularga nisbatan qolgan fazalarning tashkil etuvchilari to'g'ri, teskari va nolinci ketma-ketliklarni aniqlash asosida tuziladi. Kuchlanishlar vektor diagrammasi (4.11c-rasm) 4.1-jadval bir fazali qisqa tutashuvga tegishli ustun va 5-7 qatorlarda joylashgan $\dot{U}_{A1}^{(1)}$; $\dot{U}_{A2}^{(1)}$; $\dot{U}_{A0}^{(1)}$ ifodalari bo'yicha aniqlanadi va quriladi.



4.11-rasm. Bir fazali QT nuqtasida
(a) tok (b) va kuchlanishlarning (c) vektor diagrammalari.

Shunga o'xshab boshqa nosimmetrik QT lar uchun vektor diagrammalar tuziladi.

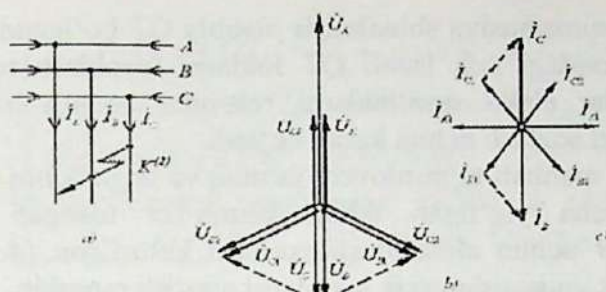
Ikki fazali QT, $K^{(2)}$. Ikki faza, masalan, B va C fazalar o'zaro QT bo'lsa (4.12a-rasm), unda bu QT quyidagi shartlardan aniqlanadi:

$$\dot{U}_B^{(2)} - \dot{U}_C^{(2)} = 0; \quad \dot{I}_A^{(2)} = 0; \quad \dot{I}_B^{(2)} = -\dot{I}_C^{(2)}. \quad (4.15)$$

Bu QT da nolinci ketma-ketlik bo'lmaydi, ya'ni $\dot{U}_{A0}^{(2)} = 0$; $\dot{I}_{A0}^{(2)} = 0$. Vektor diagrammalar 4.12,b,c-rasmlarda keltirilgan, ularni qurish uchun 4.1-jadvaldagi ifodalardan foydalaniladi.

Ikki fazali yerga QT, $K^{(1,1)}$. Bir faza, masalan, B va C fazalar o'zaro tutashsa va yerlansa (4.13,a-rasm), unda bu QT quyidagi shartlardan aniqlanadi:

$$\dot{U}_B^{(1,1)} = 0; \quad \dot{U}_C^{(1,1)} = 0; \quad \dot{I}_A^{(1,1)} = 0. \quad (4.16)$$



4.12-rasm. Ikki fazali QT nuqtasida
(a) kuchlanishlarning (b) va tok (c) vektor diagrammalari.

Shikastlangan fazadagi toklar:

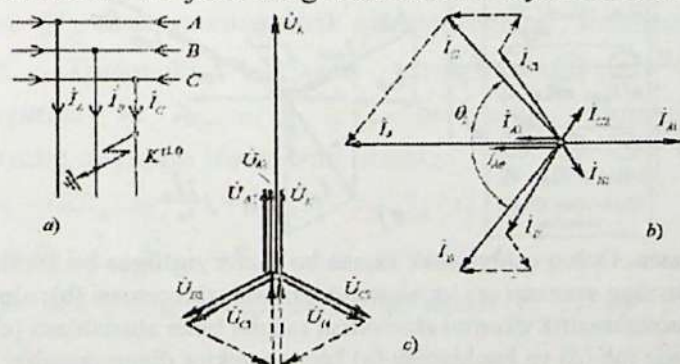
$$|I_C^{(1,1)}| = |I_B^{(1,1)}| \quad 60^\circ < \theta \leq 180^\circ \quad (4.17)$$

$$x_{0\Sigma} \rightarrow 0 \quad x_{0\Sigma} \rightarrow \infty$$

Yerga o'tadigan tok: $I_3^{(1,1)} = 3I_0^{(1,1)}$. (4.18)

QT nuqtasida shikastlanmagan fazaning yerga nisbatan kuchlanishi: $\dot{U}_A^{(1,1)} = 3\dot{U}_{A1}^{(1,1)}$. (4.19)

Bu QT uchun vektor diagrammalar 4.13,b,c-rasmlarda keltirilgan, ularni qurish uchun 4.1-jadvaldagi ifodalardan foydalaniladi.



4.13-rasm. Ikki fazali yerlangan QT nuqtasida (a) tok (b) va kuchlanishlarning (c) vektor diagrammalari.

4.7. Ochiq uchburchak sxema bo'yicha yig'ilgan transformatorlardan keyingi va tortuvchi cho'lg'am tomonidagi uch fazali QT

2x25 kV sistemasi bo'yicha temir yo'llarni elektrlashtirishda bir fazali transformatorlardan ochiq uchburchak sxemasi bo'yicha yig'ilgan 27,5 kVli tortuvchi tarmoqlarni ta'minlash qo'llaniladi.

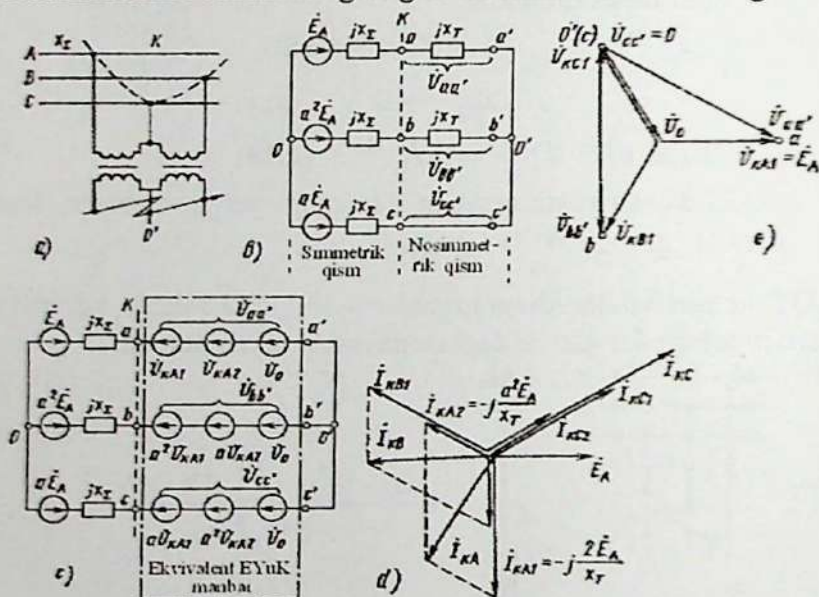
Tortuvchi nimstansiya shinalarida hisobiy QT bo'lganda undagi va tortuvchi tarmoqdagi uch fazali QT toklarni hisoblash talab etiladi. Bunday hisoblar elektr qurilmalarni ratsional tanlash hamda releli himoyani to'g'ri sozlash uchun kerak bo'ladi.

Simmetrik manbali ta'minlovchi tarmoq va unga ochiq uchburchak sxemasi bo'yicha yig'ilgan ikkita ketma-ket ulangan bir fazali transformatorlar uchun almashlash sxemasi keltirilgan (4.14,b-rasm). Unda simmetrik va nosimmetrik qismlarni ajratish mumkin.

Nosimmetrik qismida

$$\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = jx_T, \quad \underline{Z}_C = 0, \quad z_3 = \infty.$$

Nosimmetrik uchastkaning to'g'ri va teskari ketma-ketligi



4.14-rasm. Ochiq uchburchak sxema bo'yicha yig'ilgan bir fazali transformatorlarning sxemasi (a) va ularning almashlash sxemasi (b); almashlash sxemaning nosimmetrik qismini ekvivalent manba bilan almashlash (c); QT nuqtasida tok (d) va kuchlanish (e) larning vektor diagrammalari.

kuchlanishlarni simmetrik uchastkadagi xuddi shu ketma-ketliklarning tok va qarshiliklar bilan o'zaro bog'lovchi asosiy tenglamalari, quyidagi ko'rinishga ega:

$$\dot{U}_{kA1} = \dot{E}_{A1} - \dot{I}_{kA1} jx_{\Sigma 1} \quad \dot{U}_{kA2} = -\dot{I}_{kA2} jx_{\Sigma 2} \quad (4.20)$$

Nosimmetrik uchastkaning ishlash shartlariga ko'ra quyidagi qo'shimcha tenglamalar kelib chiqadi:

$$\begin{cases} \dot{U}_{aa'} = \dot{U}_{kA1} + \dot{U}_{kA2} + \dot{U}_0 = j x_T (\dot{I}_{kA1} + \dot{I}_{kA2}); \\ \dot{U}_{bb'} = a^2 \dot{U}_{kA1} + a \dot{U}_{kA2} + \dot{U}_0 = j x_T (a^2 \dot{I}_{kA1} + a \dot{I}_{kA2}); \\ \dot{U}_{cc'} = a \dot{U}_{kA1} + a^2 \dot{U}_{kA2} + \dot{U}_0 = 0. \end{cases} \quad (4.21)$$

Asosiy va qo'shimcha tenglamalar (4.20) va (4.21) ga beshta noma'lum ($\dot{I}_{kA1}$, $\dot{I}_{kA2}$, $\dot{U}_{kA1}$, $\dot{U}_{kA2}$, $\dot{U}_0$) kiradi. Ular ko'rilayotgan zanjirning simmetrik tashkil etuvchilaridir. Butun zanjirning kompleks uch fazali almashlash sxemasida (4.14,c-rasm) bo'ylama nosimmetriklikka ega bo'lgan uchastka ekvivalent EYUK manbai bilan almashtirilgan.

Tortuvchi tormoqlarni hisoblashda ko'p hollarda $x_{\Sigma 1} = x_{\Sigma 2} = x_{\Sigma}$ qabul qilinadi. Bunda yuqoridagi beshta tenglamadan quyidagi noma'lumlarni topish mumkin:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{kA1} &= \frac{-j \dot{E}_A (3x_{\Sigma} + 2x_T)}{(x_{\Sigma} + x_T)(3x_{\Sigma} + x_T)}; & \dot{I}_{kA2} &= \frac{-j a^2 \dot{E}_A x_T}{(x_{\Sigma} + x_T)(3x_{\Sigma} + x_T)}; \\ \dot{U}_{kA1} &= \frac{\dot{E}_A x_T (2x_{\Sigma} + x_T)}{(x_{\Sigma} + x_T)(3x_{\Sigma} + x_T)}; & \dot{U}_{kA2} &= -\frac{a^2 \dot{E}_A x_T x_{\Sigma}}{(x_{\Sigma} + x_T)(3x_{\Sigma} + x_T)}; \\ \dot{U}_0 &= -\frac{a \dot{E}_A x_T}{(3x_{\Sigma} + x_T)}. \end{aligned}$$

Ushbu $\dot{U}_0$ faqat nosimmetrik qismga tegishli, simmetrik qismda u bo'lmaydi. Tortuvchi yuklama cheksiz quvvatli sistemadan ta'minlanganda va $x_{\Sigma 1} = x_{\Sigma 2} = 0$ bo'lganda, simmetrik tashkil etuvchilarning quyidagi ifodalarini olamiz:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{kA1} &= -j 2 \dot{E}_A / x_T; & \dot{I}_{kA2} &= -j a^2 \dot{E}_A / x_T; \\ \dot{U}_{kA1} &= \dot{E}_A; & \dot{U}_{kA2} &= 0; & \dot{U}_0 &= -a \dot{E}_A. \end{aligned}$$

Bunda faza C eng yuklangan bo'lar ekan: $|\dot{I}_{kC}| = 3 \dot{E}_A / x_T$.

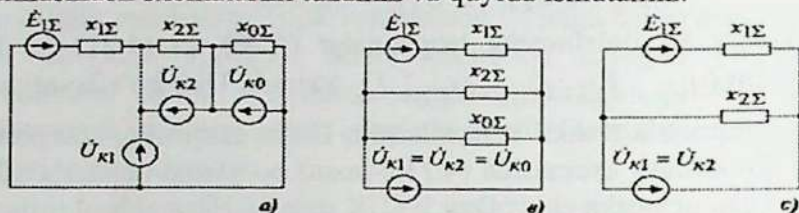
MASALALAR

4.1-MASALA. Qandaydir elektr sistemada ko'ndalang nosimmetriyani tahlil qilinganda uchta (to'g'ri, teskari va nolinci) ketma-ketlik uchun 4.2 – 4.4-rasmlarlarda keltirilgan ekvivalent almashlash sxemalari tuzilgan va ular uchun quyidagilar topilgan:

$E_{1\Sigma} = 152 \text{ kV}$; $x_{1\Sigma} = 36,1 \text{ Om}$; $x_{2\Sigma} = 33 \text{ Om}$; $x_{0\Sigma} = 16,4 \text{ Om}$. $K^{(1)}$, $K^{(1,1)}$ va $K^{(2)}$ uchun QT nuqtasida fazalardagi tok va kuchlanishlar aniqlansin.

Yechish:

Rejimnlarni tahlil qilishda 4.2-, 4.3-, 4.4- va 4.10-rasmlardan foydalanib, nosimmetrik QT lar uchun 4.15-rasmda ko'rsatilgan kompleks almashlash sxemalarini tuzamiz va quyida ishlatamiz.



4.15-rasm. Kompleks almashlash sxemalar:

a) $K^{(1)}$; b) $K^{(1.1)}$; c) $K^{(2)}$ uchun.

Bir fazali QT, $K^{(1)}$. 4.15,a-rasmga, to'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasi (4.5) va 4.1-jadvalga muvofiq:

$$x_{\Delta}^{(1)} = x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma} = 33 + 16,4 = 49,4 \text{ Om};$$

$$\dot{I}_{k1}^{(1)} = \frac{\dot{E}_1}{j(x_{2\Sigma} + x_{\Delta}^{(1)})} = \frac{152}{j(31,6 + 49,4)} = \frac{152}{j81} = -j1,88 \text{ kA};$$

$$\dot{I}_{k2}^{(1)} = \dot{I}_{k0}^{(1)} = \dot{I}_{k1}^{(1)} = j1,88 \text{ kA};$$

$$\dot{U}_{k1}^{(1)} = \dot{I}_{k1}^{(1)} \cdot jx_{\Delta}^{(1)} = -j1,88 \cdot j49,4 = 92,87 \text{ kV};$$

$$\dot{U}_{k2}^{(1)} = -\dot{I}_{k2}^{(1)} \cdot jx_{2\Sigma} = j1,88 \cdot j33 = -62,07 \text{ kV};$$

$$\dot{U}_{k0}^{(1)} = -\dot{I}_{k0}^{(1)} \cdot jx_{0\Sigma} = j1,88 \cdot j16,4 = -30,8 \text{ kV}.$$

Fazalardagi qiymatlar:

$$\dot{I}_A^{(1)} = \dot{I}_{k0}^{(1)} + \dot{I}_{k1}^{(1)} + \dot{I}_{k2}^{(1)} = 3\dot{I}_{k1}^{(1)} = 3 \cdot (-j1,88) = -j5,64 \text{ kA};$$

$$\dot{I}_B^{(1)} = \dot{I}_{k0}^{(1)} + a^2 \dot{I}_{k1}^{(1)} + a \dot{I}_{k2}^{(1)} = 3\dot{I}_{k1}^{(1)} = (1 + a^2 + a) \cdot \dot{I}_{k1}^{(1)} = 0; \quad \dot{I}_C^{(1)} = 0;$$

$$\dot{U}_A^{(1)} = \dot{U}_{k0}^{(1)} + \dot{U}_{k1}^{(1)} + \dot{U}_{k2}^{(1)} = 92,87 - 62,07 - 30,8 = 0;$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_B^{(1)} &= \dot{U}_{k0}^{(1)} + a^2 \dot{U}_{k1}^{(1)} + a \dot{U}_{k2}^{(1)} = -30,8 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 92,87 - \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 62,07 = \\ &= -46,2 - j134,2 = 141,9 \angle -108,9^\circ \text{ kV}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_C^{(1)} &= \dot{U}_{k0}^{(1)} + a \dot{U}_{k1}^{(1)} + a^2 \dot{U}_{k2}^{(1)} = -30,8 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 92,87 - \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 62,07 = \\ &= -46,2 - j134,2 = 141,9 \angle 108,9^\circ \text{ kV}. \end{aligned}$$

Natijalar (4.16,a-rasm) (4.14) va (4.15)-formulalarga hamda 4.11-rasmdagi vektor diagrammalarga mos tushdi.

Ikki fazali QT yerga, $K^{(1,1)}$ 4.15,b-rasmga, to'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasi (4.5) va 4.1-jadvalga muvofiq:

$$\begin{aligned}x_{\Delta}^{(1,1)} &= \left(\frac{1}{x_{1\Sigma}} + \frac{1}{x_{2\Sigma}} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{33} + \frac{1}{16,4} \right)^{-1} = 10,96 \text{ Om}; & \dot{I}_{k1}^{(1,1)} &= \frac{152}{j(31,6+10,96)} = -j3,57 \text{ kA}; \\ \dot{U}_{k1}^{(1,1)} &= \dot{I}_{k1}^{(1,1)} \cdot jx_{\Delta}^{(1,1)} = -j3,57 \cdot j10,96 = 39,13 \text{ kV}; & \dot{U}_{k0}^{(1,1)} &= \dot{U}_{k2}^{(1,1)} = \dot{U}_{k1}^{(1,1)} = 39,13 \text{ kV}; \\ \dot{I}_{k2}^{(1,1)} &= \frac{\dot{U}_{k2}^{(1,1)}}{jx_{2\Sigma}} = \frac{-39,13}{j33} = j1,19 \text{ kA}; & \dot{I}_{k0}^{(1,1)} &= \frac{-\dot{U}_{k0}^{(1,1)}}{jx_{0\Sigma}} = \frac{-39,13}{j16,4} = j2,38 \text{ kA}.\end{aligned}$$

Fazalardagi qiymatlar:

$$\begin{aligned}\dot{I}_A^{(1,1)} &= -j3,57 + j1,19 + j2,38 \equiv 0; \\ \dot{I}_B^{(1,1)} &= j2,38 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (-j3,57) + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot j1,19 = -4,12 + j3,57 = 5,45 \angle 139,1^\circ \text{ kA}; \\ \dot{I}_C^{(1,1)} &= j2,38 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (-j3,57) + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot j1,19 = 4,12 + j3,57 = 5,45 \angle 40,9^\circ \text{ kA}; \\ \dot{U}_{kA}^{(1,1)} &= 3\dot{U}_{k1}^{(1,1)} = 3 \cdot 39,13 = 117,4 \text{ kV}; & \dot{U}_{kB}^{(1,1)} &= \dot{U}_{kC}^{(1,1)} = 0.\end{aligned}$$

Natijalar (4.16,b-rasm) (4.16), (4.17) va (4.19)-formulalarga hamda 4.13-rasmdagi vektor diagrammalarga mos tushdi.

Ikki fazali QT, $K^{(2)}$ 4.15,c-rasmga, to'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasi (4.5) va 4.1-jadvalga muvofiq:

$$x_{\Delta}^{(2)} = x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma} = 33 \text{ Om}; \quad \dot{I}_{k1}^{(2)} = \frac{152}{j(31,6+33)} = -j2,35 \text{ kA};$$

$$\dot{U}_{k1}^{(2)} = \dot{I}_{k1}^{(2)} \cdot jx_{\Delta}^{(2)} = -j2,35 \cdot j33 = 77,6 \text{ kV}; \quad \dot{U}_{k2}^{(2)} = \dot{U}_{k1}^{(2)} = 77,6 \text{ kV};$$

$$\dot{I}_{k2}^{(2)} = \frac{\dot{U}_{k2}^{(2)}}{jx_{2\Sigma}} = \frac{77,6}{j33} = j2,35 \text{ kA} = \dot{I}_{k1}^{(2)}$$

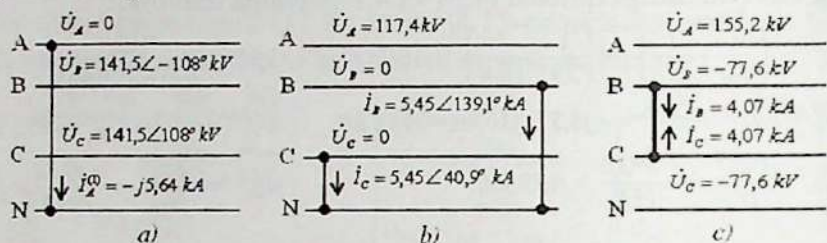
Fazalardagi qiymatlar:

$$\begin{aligned}\dot{I}_B^{(2)} &= \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \dot{I}_{k1}^{(2)} + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \dot{I}_{k2}^{(2)} = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \dot{I}_{k1}^{(2)} = \\ &= -j\sqrt{3}\dot{I}_{k1}^{(2)} = -j2,35 \cdot (-j\sqrt{3}) = -4,07 \text{ kA};\end{aligned}$$

$$\dot{I}_A^{(2)} = 0; \quad \dot{I}_C^{(2)} = -\dot{I}_B^{(2)} = 4,07 \text{ kA};$$

$$\dot{U}_A^{(2)} = \dot{U}_{k1}^{(2)} + \dot{U}_{k2}^{(2)} = 2 \cdot \dot{U}_{k1}^{(2)} = 77,6 = 155,2 \text{ kV}; \quad \dot{U}_C^{(2)} = \dot{U}_B^{(2)} = -77,62 \text{ kV}.$$

Natijalar (4.16,c-rasm) (4.15)-formulaga va 4.12-rasmdagi vektor diagrammalarga mos tushdi.



4.16-rasm. Faza tok va kuchlanishlarni hisoblash natijalari:

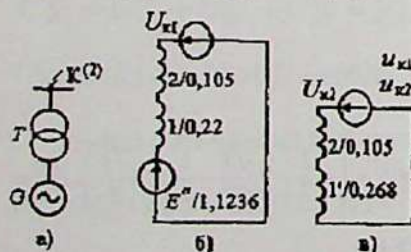
a) $K^{(1)}$; b) $K^{(1,1)}$; c) $K^{(2)}$.

4.2-MASALA. Sinxron generator bilan blokli sxemasi bo'yicha bog'langan kuchlanish transformatorining yuqori kuchlanish chulg'amlarining chiqishlarida ikki fazali qisqa tutashuvi sodir bo'lmoqda (4.17,a-rasm). Shikastlanish joyida qisqa tutashuv toki periodik tashkil etuvchisining boshlang'ich qiymati aniqlansin. hisobiy sxema elementlari quyidagi parametrlarga ega: generator (G): 110 MVA; 10,5 kV; $\cos \varphi_{(n)} = 0,8$; $X_{d(n)} = 0,189$; $X_{2(n)} = 0,23$; QT gacha generator nominal yuklama bilan ishlagan, ya'ni $I_{(0X_n)} = 1$; transformator (T): 160 MVA; 115/10,5 kV; $u_k = 10,5\%$.

Yechish:

Quyidagi bazis shartlarda nisbiy birliklar sistemasini qo'llab hisoblarni bajaramiz: $S_b = 160 \text{ MVA}$, $U_b = U_{Or,nom}$, ya'ni $U_{b,I} = 115 \text{ kV}$ va $U_{b,II} = 10,5 \text{ kV}$, bunda (indekslarda) I va II raqamlar mos ravishda yuqori va generator kuchlanishi pog'onalarini bildiradi;

$$I_{b,I} = S_b / (\sqrt{3} \cdot U_{b,I}) = 160 / (\sqrt{3} \cdot 115) = 0,803 \text{ kA}$$



4.17-rasm. 4.2-masalaga oid:

- hisobiy sxema;
- to'g'ri ketma-ketlikning almashlash sxemasi;
- teskari ketma-ketlikning almashlash sxemasi.

4.17,b,c-rasmlarda to'g'ri va teskari ketma-ketliklarning ekvivalent almashlash sxemalari keltirilgan. Tanlangan bazis birliklarda almashlash sxema elementlarining induktiv qarshiliklari:

to'g'ri ketma-ketlik uchun generator qarshiligi:

$$X_{1(b)} = X_{d(n)}'' \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} = 0,189 \cdot \frac{160}{110/0,8} = 0,22;$$

teskari ketma-ketlik uchun generator qarshiligi:

$$X_{1(b)}' = X_{2(n)}' \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} = 0,23 \cdot \frac{160}{110/0,8} = 0,268; \text{ transformator qarshiligi:}$$

$$X_{2(b)} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nom}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{160}{160} = 0,105;$$

$I_{(0)(n)} = 1$ ni inobatga olib, generatorning o'tao'tkinchi EYUK sini topamiz:

$$E_{(b)}'' = \sqrt{(1 + 1 \cdot 0,189 \cdot 0,6)^2 + (1 \cdot 0,189 \cdot 0,8)^2} \cdot (10,5/10,5) = 1,1236.$$

To'g'ri va teskari ketma-ketliklarning natijaviy qarshiliklari:

$$X_{1\Sigma(b)} = X_{1(b)} + X_{2(b)} = 0,22 + 0,105 = 0,325;$$

$$X_{1\Sigma(b)}' = X_{1(b)}' + X_{2(b)} = 0,268 + 0,105 = 0,373,$$

Shuning uchun QT nuqtasida to'g'ri ketma-ketlikning toki:

$$I_{k1(b)} = E_{\Sigma(b)} / (X_{1\Sigma(b)} + X_{2\Sigma(b)}) = 1,1236 / (0,325 + 0,373) = 1,6097$$

$$\text{va kiloamperda to'la tok: } I_k = \sqrt{3} \cdot I_{k1(b)} \cdot I_{b,l} = \sqrt{3} \cdot 1,6097 \cdot 0,803 = 2,2388 \text{ kA.}$$

Tayanch so'zlar va iboralar:

To'g'ri, teskari va nolinchi ketma-ketlikli simmetrik tashkil etuvchilari, zanjir elementlarining to'g'ri, teskari va nolinchi simmetrik ketma-ketliklar uchun qarshiliklari, zanjirning to'g'ri, teskari va nolinchi ketma-ketliklarining almashlash sxemalari, ko'ndalang va bo'ylama nosimmetriyalar, to'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasi va u uchun har xil turdagi QT larning qo'shimcha qarshiliklari, toklarni bog'lovchi koeffitsient, kompleks almashlash sxemalari.

O'z-o'zini sinash savollari:

1. Nosimmetrik rejimlarni simmetrik tashkil etuvchilar usulida hisoblashning mohiyati nimadan iborat? Nosimmetrik uch fazali EYUK lar sistemasi simmetrik tashkil etuvchilar orqali ifodalanish formulalari? 2. To'g'ri, teskari va nolinchi ketma-ketliklar nima bilan farqlanadi? Analitik va grafik usulda ularni qanday aniqlash mumkin? 3. QTda zanjir elementlarining to'g'ri, teskari va nolinchi simmetrik ketma-ketliklar qarshiliklari qanday hisoblanadi? 4. To'g'ri, teskari va

nolinchi ketma-ketliklar uchun elektr sistemaning almashlash sxemalarini chizing. Ushbu sxemalar nima bilan farqlanadi? 5. Nolinchi ketma-ketlik sxemasining tuzilishi asosan nimalarning sxemalariga bog'liq bo'ladi? Nolinchi ketma-ketlik tokining o'tish sxemasini tushuntiring. Nolinchi ketma-ketlik almashlash sxemasiga qanday elementlar kiritiladi? 6. Qachon transformatorlarda nolinchi ketma-ketlik toklari hosil bo'la olmaydi va qaysi holda mavjud bo'lib, nolinchi ketma-ketlik almashlash sxemasida hisobga olinishi kerak? 7. Nima uchun havo uzatish liniyaning nolinchi ketma-ketlik qarshiligi to'g'ri (teskari) ketma-ketlik qarshiligidan ancha katta bo'ladi? 8. Qanday nosimmetriyalar ko'ndalang va bo'ylama deyiladi? 9. To'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasining mohiyati nimadan iborat va uning umumiy formulasi? 10. Bir fazali, ikki fazali va ikki fazali yerga QT larda to'g'ri ketma-ketlik sxemasiga kiritiluvchi qo'shimcha qarshiliklari formulalarini yozing. 11. Har xil turdagi QT larning qo'shimcha reaktiv qarshiliklari, to'g'ri ketma-ketlik toklari va kuchlanishlari qanday tengsizliklar bilan bog'liq? 12. Kompleks almashlash sxemalari qanday quriladi? 13. Bir fazali, ikki fazali va ikki fazali yerga QT lar qanday shartlardan aniqlanadi? Ushbu QTlarning vektor diagrammalarini tushuntiring.

Mustaqil ish mavzulari:

1. Nosimmetrik rejimlarni hisoblash uchun simmetrik tashkil etuvchilar usulini qo'llash. 2. Elektrlashtirilgan temir yo'l elektr ta'minoti sistemasi zanjirlarida nosimmetrik qisqa tutashuvlarni hisoblash. [4, 5, 7, 8, 12]. Referat.

Test savollari:

1. Elektr sistema ish rejimlari qanday belgilarga ko'ra simmetrik va nosimmetrik bo'ladi?

A) uch fazali sistemada tok va kuchlanishlarning simmetrikligiga ko'ra

B) qisqa tutashuv toklarining maksimal qiymatlari bo'yicha

C) sistema quvvatiga ko'ra

D) qisqa tutashuv toki tashkil etuvchilariga ko'ra

2. Mustaqil simmetrik sistemalar nimalari bilan farq qiladi?

A) faza kuchlanishlari

B) faza toklari C) fazalar quvvatlari

D) fazalar ketma - ketligi

3. Qaysi QT turi nosimmetrik emas?

A) bir fazali B) uch fazali

C) ikki fazali D) ikki fazali yerga

4. Istalgan vektorni

$a = -0,5 + j0,5\sqrt{3}$ ga ko'paytirsak bu vektor soat strelkasiga ...

A) qarshi 120 gradus buriladi

B) qarshi 240 gradus buriladi

C) tomon 120 gradus buriladi

D) tomon 90 gradus buriladi

5. Qaysi usulda nosimmetrik QT toklarini hisoblash mumkin?

A) eng kichik kvadratlar usuli

B) ustma-ustlash usuli

C) simmetrik tashkil etuvchilar usuli

D) Gauss usuli

6. Agar neytral sim bo'lmasa, u holda?

A) $\underline{I}_0 = \infty$ B) $\underline{Z}_0 \neq \infty$

C) $\underline{Z}_0 = 0$ D) $\underline{I}_0 = 0$

7. Agar uch fazali zanjirga nol ketma-ketlikli kuchlanishlar sistemasi berilgan bo'lsa, u holda

A) $\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = \underline{I}_0$

B) $\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 3\underline{I}_0$

C) $\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = -3\underline{I}_0$

D) $\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = \underline{I}_0/3$

8. Qaysi formula bo'yicha A fazadagi kuchlanishni topish mumkin?

A) $a^2 \dot{U}_{A1} + a \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}$

B) $a \dot{U}_{A1} + a^2 \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}$

C) $\dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}$

D) $a \dot{U}_{A0} + a^2 \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A1}$

9. Qaysi formula bo'yicha B fazadagi kuchlanishni topish mumkin?

A) $a^2 \dot{U}_{A1} + a \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}$

B) $\dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}$

C) $a \dot{U}_{A1} + a^2 \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}$

D) $a \dot{U}_{A0} + a^2 \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A1}$

10. Qaysi formula bo'yicha C fazadagi kuchlanishni topish mumkin?

A) $a^2 \dot{U}_{A1} + a \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}$

B) $\dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}$

C) $a \dot{U}_{A0} + a^2 \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A1}$

D) $a \dot{U}_{A1} + a^2 \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}$

11. To'g'ri ketma-ketlik sxemasida ... ketma-ket ulangan

A) generator EYUK si, QT nuqtasiga nisbatan $U_{\kappa 1}$ EYUK si va natijaviy qarshilik $X_{1\Sigma}$

B) QT nuqtasiga nisbatan $U_{\kappa 1}$ EYUK si va natijaviy qarshilik $X_{1\Sigma}$

C) QT nuqtasiga nisbatan natijaviy qarshiliklar $X_{1\Sigma}$

D) generator EYUK si va QT nuqtasiga nisbatan $U_{\kappa 1}$ EYUK si

12. Teskari kema-ketlik sxemasida ... ketma-ket ulangan.

A) generator EYUK si, QT nuqtasiga nisbatan $U_{\kappa 2}$ EYUK si va natijaviy qarshilik $X_{2\Sigma}$

B) QT nuqtasiga nisbatan natijaviy qarshiliklar $X_{2\Sigma}$

C) QT nuqtasiga nisbatan $U_{\kappa 2}$ EYUK si va natijaviy qarshilik $X_{2\Sigma}$

D) generator EYUK si va QT nuqtasiga nisbatan $U_{\kappa 2}$ EYUK si

13. Nolinchi kema-ketlik sxemasida ... ketma-ket ulangan

A) generator EYUK si, QT nuqtasiga nisbatan $U_{\kappa 0}$ EYUK si va natijaviy qarshilik $X_{0\Sigma}$

B) QT nuqtasiga nisbatan $U_{\kappa 0}$ EYUK si va natijaviy qarshilik $X_{0\Sigma}$

C) QT nuqtasiga nisbatan QT nolinchi ketma-ketlik natijaviy qarshiliklari $X_{0\Sigma}$

D) generatorning EYUK si va QT nuqtasiga nisbatan $U_{\kappa 0}$ EYUK si

14. Qanday zanjirlar uchun simmetrik tashkil etuvchilarning to'g'ri va teskari ketma-ketli qarshiliklari bir biriga teng ? ... zanjirlar uchun

A) tarkibida aylanuvchan qismga ega bo'lgan elektr mashinalari bo'lmagan uch fazali

B) tarkibida aylanuvchan qismga ega bo'lgan elektr mashinalari bo'lgan uch fazali

C) tarkibida aylanuvchan qismga ega bo'lgan generatorlar bo'lgan zanjirlar uchun

D) tarkibida aylanuvchan qismga ega

bo'lgan elektr motorlar bo'lgan

15. Nosimmetrik sistemalarda aylanuvchan qismga ega elektr mashinalarda ...

A) $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_0$

B) $\underline{Z}_1 \neq \underline{Z}_2 = \underline{Z}_0$

C) $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 \neq \underline{Z}_0$

D) $\underline{Z}_1 \neq \underline{Z}_2 \neq \underline{Z}_0$

16. Nosimmetrik sistemalarda aylanuvchan qismga ega elektr mashinalarda ko'pincha ...

A) $\underline{Z}_1 < \underline{Z}_2$

B) $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$

C) $\underline{Z}_1 > \underline{Z}_2$

D) $\underline{Z}_1 \leq \underline{Z}_2$

17. Har qanday nosimmetrik QT lar uchun to'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasining formulasini ko'rsating

A) $\dot{I}_{A1}^{(n)} = \frac{\dot{E}_{A\Sigma}}{j(x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(1)})}$

B) $\dot{I}_{A1}^{(n)} = \frac{\dot{E}_{1\Sigma}}{j(x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(n)})}$

C) $\dot{I}_{A1}^{(n)} = \dot{E}_{A\Sigma} / j(x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(n)})$

D) $\dot{I}_{A1}^{(n)} = \frac{\dot{E}_{A\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(n)}}$

18. Ikki fazali QT uchun to'g'ri ketma-ketlik ekvivalentligi qoidasi formulasidagi qo'shimcha qarshilik nimaga teng?

A) $\frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$

B) $X_{2\Sigma}$

C) 0

D) $X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}$

19. Ikki fazali yerga QT uchun to'g'ri ketma-ketlik ekvivalentligi qoidasi formulasidagi qo'shimcha qarshilik nimaga teng? x_{Δ}

A) $\frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$

B) $X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}$

C) $X_{2\Sigma}$

D) 0

20. Bir fazali QT uchun to'g'ri ketma-ketlik ekvivalentligi qoidasi formulasidagi qo'shimcha qarshilik nimaga teng?

A) $X_{2\Sigma}$

B) 0

C) $\frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$

D) $X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}$

21. Uch fazali QT uchun to'g'ri ketma-ketlik ekvivalentligi qoidasi formulasidagi qo'shimcha qarshilik nimaga teng?

- A) $\frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$
 B) $X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}$
 C) 0
 D) $X_{2\Sigma}$

22. Har xil turdagi QT lar uchun qanday tengsizliklar mavjud emas?

- A) $0 < I_k^{(3)} < 1; x_\Delta^{(3)} > 0$
 B) $x_\Delta^{(1)} > x_\Delta^{(2)} > x_\Delta^{(1,1)} > x_\Delta^{(3)} = 0$
 C) $I_{k1}^{(1)} < I_{k1}^{(2)} < I_{k1}^{(1,1)} < I_k^{(3)}$
 D) $U_{k1}^{(1)} > U_{k1}^{(2)} > U_{k1}^{(1,1)} > U_k^{(3)} = 0$

23. $I_k^{(n)} = m^{(n)} I_{kA1}^{(n)}$ Bu yerda koeffitsient m bir fazali QT uchun nimaga teng?

- A) $\sqrt{3}$
 B) 3
 C) $2\sqrt{3}$
 D) $\sqrt{2}$

24. $I_k^{(n)} = m^{(n)} I_{kA1}^{(n)}$ Bu yerda koeffitsient m ikki fazali QT uchun nimaga teng?

- A) $\sqrt{3}$
 B) 3
 C) $\sqrt{2}$
 D) $2\sqrt{3}$

25. To'g'ri ketma-ketlik ekvivalentligi qoidasi bo'yicha ikki fazali QT ning to'g'ri ketma-ketlik toki $\dot{I}_{A1}^{(2)}$ nimaga teng?

- A) $\dot{E}_\Sigma / j(X_{2\Sigma})$
 B) $\dot{E}_\Sigma / j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})$
 C) $\dot{E}_\Sigma / j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})$
 D) $\frac{\dot{E}_\Sigma}{j\left(X_{1\Sigma} + \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}\right)}$

26. To'g'ri ketma-ketlik ekvivalentligi qoidasi bo'yicha ikki fazali yerga QT ning to'g'ri ketma-ketlik toki $\dot{I}_{A1}^{(1,1)}$ nimaga teng?

- A) $\frac{\dot{E}_\Sigma}{j\left(X_{1\Sigma} + \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}\right)}$
 B) $\dot{E}_\Sigma / j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})$
 C) $\dot{E}_\Sigma / j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})$
 D) $\dot{E}_\Sigma / j(X_{2\Sigma})$

27. To'g'ri ketma-ketlik ekvivalentligi qoidasi bo'yicha bir fazali QT ning to'g'ri ketma-ketlik toki $\dot{I}_{A1}^{(1)}$ nimaga teng?

- A) $\dot{E}_\Sigma / j(X_{2\Sigma})$
 B) $\dot{E}_\Sigma / j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})$
 C) $\dot{E}_\Sigma / j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})$

$$D) \frac{\dot{E}_{\Sigma}}{j \left(X_{1\Sigma} + \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \right)}$$

28. Qaysi ifodalar A fazadigi bir fazali QT ga tegishli?

- A) $\dot{U}_A = 0; \dot{I}_B = 0; \dot{I}_C = 0$
- B) $\dot{U}_B - \dot{U}_C = 0; \dot{I}_A =; \dot{I}_B = -\dot{I}_C$
- C) $\dot{U}_B = 0; \dot{U}_C = 0; \dot{I}_A = 0$
- D) $\dot{U}_A = 3\dot{U}_{A1}$

29. Qaysi ifodalar C va B fazalararo tutashsa, ya'ni ikki fazali QT ga tegishli?

- A) $\dot{U}_B = 0; \dot{U}_C = 0; \dot{I}_A = 0$
- B) $\dot{U}_A = 0; \dot{I}_B = 0; \dot{I}_C = 0$
- C) $\dot{U}_B - \dot{U}_C = 0; \dot{I}_A = 0; \dot{I}_B = -\dot{I}_C$
- D) $\dot{U}_A = 3\dot{U}_{A1}$

30. Qaysi ifodalar A va B fazalar o'zaro tutashsa va yerlansa, ya'ni ikki fazali yerga QT ga tegishli?

- A) $\dot{U}_B - \dot{U}_C = 0; \dot{I}_A =; \dot{I}_B = -\dot{I}_C$
- B) $\dot{U}_B = 0; \dot{U}_C = 0; \dot{I}_A = 0$
- C) $\dot{U}_A = 3\dot{U}_{A1}$
- D) $\dot{U}_A = 0; \dot{I}_B = 0; \dot{I}_C = 0$

5-BOB. Qisqa tutashuv tokining ta'sirlari

Qisqa tutashuvlarning oqibatlari va ularning oldini olish usullari

1) qisqa tutashuvlarda toklarning oshib ketishi quyidagilarga olib keladi [3,5,6]:

- qizishga, shuning uchun asbob-uskunalarini ularning termik (issiqlik) bardoshligini inobatga olgan holda tanlash lozim;

- katta kuchlarga, shuning uchun asbob-uskunalarini ularning elektrdinamik bardoshligini inobatga olgan holda tanlash lozim;

2) qisqa tutashuvda kuchlanishning kamayishi yuklama motorlarini to'xtalishiga olib kelishi mumkin, shuning uchun kuchlanish kamayishini kuzatuvchi avtomatik uskunalarini o'rnatish lozim.

3) qisqa tutashuvlar va ularning oqibatlarini oldini olish uchun quyidagi choralar qo'llaniladi [3]:

- himoya vositalarini qo'llash (releli himoya, chulg'amlari tolangan transformatorlar, elektr tarmoqlarda katta induktivlikka ega bo'lgan oddiy va tok cheklovchi ikkilangan reaktorlar);

- eng kichik qisqa tutashuv toklari bo'ladigan tarmoqning ratsional sxemasini tanlash (tarmoqlarni seksiyalash).

5.1. Qisqa tutashuv tokining elektrodinamik ta'siri

Tok o'tkazgich va apparatlarda vujudga kelgan qisqa tutashuv toklari qurilmani ishdan chiqarishga qodir bo'ladigan dinamik (mexanik) kuchlarni hosil qiladi. Normal sharoitlarda apparatlardagi toklar uncha katta bo'lmay, ularning mexanik kuchlari uncha sezilarli emasdir, ammo QT toklarning qiymati o'n baravar va undan ko'proq oshib ketishi mumkin, shunda ularning ta'siri xavfli darajaga yetishi mumkin. Ayniqsa, qisqa tutashuvning boshida bu kuchlar katta qiymatlarga ega bo'lib, uning ta'sirida ba'zi bir elementlar emas, balki butun qurilma qattiq shikastlanishi mumkin.

Elektr qurilmalarni ishonchli ishlashini ta'minlash uchun, to'g'ri tanlangan tok o'tkazgich va apparatlar QT tokining zarbaviy ta'siriga qarshi yetarli darajada elektrodinamik kuchlarga bardoshli bo'lishlari zarur.

Elektrodinamik bardoshlik deganda apparat va o'tkazgichlarning QT davrida hosil bo'ladigan mexanik kuchlarga deformatsiyasiz chiday olishligi tushuniladi.

Bio-Savar-Laplas qonuniga asosan ikkita parallel o'tkazgichdan i_1 va i_2 toklari o'tganida, ular orasida elektrodinamik kuch F paydo bo'ladi: $F = 2,04 \cdot K_f \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7}$, (5.1)

bu yerda F – o'tkazgichga ta'sir etadigan kuch, N;

i_1 va i_2 – o'tkazgichdagi toklarning o'niy qiymatlari, A;

a – o'tkazgichlar orasidagi masofa, m;

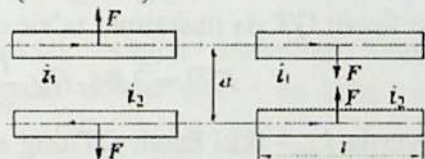
l – parallel o'tkazgichlarning uzunligi, m;

K_f – shakl (forma) koeffitsiyenti bo'lib, o'tkazgichlar o'zaro joylashishiga va ularning ko'ndalang kesimi shakliga bog'liq.

Kuchlanishi 6 kV va undan yuqori bo'lganda doira va truba shakllaridagi o'tkazgichlar uchun $K_f \approx 1$. Agar ko'ndalang kesimi masofa a va uzunlik l ga nisbatan kichik bo'lsa, boshqa shakldagi o'tkazgichlar uchun ham $K_f \approx 1$ deb olinadi. Yassi shinalarda 1 kV kuchlanishlarda: $k_f = 0,5-1,3$.

Toklar bir tomonga yo'nalganda o'tkazgichlar orasida o'zaro tortishish, qarama-qarshi tomonga yo'nalganda esa itarilish elektrodinamik kuchlar hosil bo'ladi (5.1-rasm).

5.1-rasm. Ikkita parallel o'tkazgichlar orasidagi elektrodinamik kuchlar.

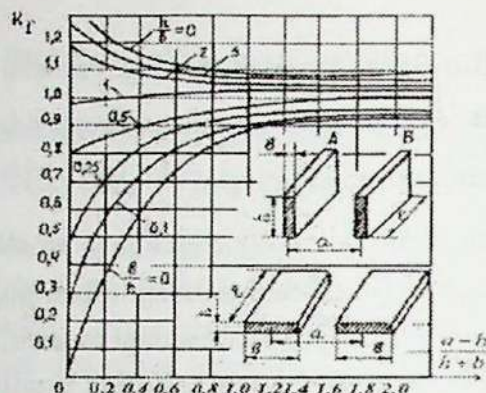


Doira va aylana ko'rinishdagi o'tkazgichlardagi elektrodinamik kuchlar unchalik ta'sir ko'rsatmaydi, chunki magnit kuch chiziqlari o'tkazgich atrofida aylana ko'rinishda bo'lib, tok o'tkazgichning geometrik o'qi atrofida joylashgan.

O'tkazgich ko'ndalang kesim yuzasi to'g'ri burchakli to'rtburchak bo'lganda elektrodinamik kuchlar ana shu to'rtburchak o'lchamlariga bog'liqligi aniqlangan, chunki magnit kuch chiziqlari o'tkazgich atrofida aylana emas, oval ko'rinishida namoyon bo'ladi. Bu hodisa Dvayt grafiklari (5.2-rasm) orqali hisobga olinadi va shakl koeffitsienti K_f aniqlanadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, shinalar katta yuzalari bo'yicha o'rnatilsa, elektrodinamik kuchlar katta, kichik yuzalari bo'yicha (ko'ndalang) o'rnatilsa – pastroq bo'ladi.

5.2-rasm. Shakl
koeffitsiyenti K_f ni
o'tkazgichning
ko'ndalang kesim
yuzasi o'lchamlariga
bog'liqligi.



Qiymatlari bir xil bo'lgan toklarda elektrodinamik kuch bir fazali o'zgaruvchan tokda o'zgarmas tokka qaraganda 6,5-marta katta bo'ladi. Uch fazali QT tokida A, B va C fazalar o'tkazgichlari bir tekislikda parallel joylashganda, eng og'ir holatda o'rtada joylashgan faza o'tkazgichi bo'lar ekan. Unga ta'sir etadigan elektrodinamik kuch:

$$F^{(3)} = 2,04 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_{zrb}^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7} = 1,76 \cdot i_{zrb}^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7} \quad (5.2)$$

bu yerda i_{zrb} – uch fazali QTning zarbaviy toki, A;

$\sqrt{3}/2$ – uchta fazada zarbaviy toklar har xil qiymatga egaligini va uch fazali toklar o'zaro siljiganligini inobatga oluvchi koeffitsient.

Ikki fazali QT da maksimal ta'sir etadigan elektrodinamik kuch:

$$F^{(2)} = 2,04 \cdot i_{zrb}^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7}, \quad (5.3)$$

bu yerda i_{zrb} – ikki fazali QTning zarbaviy toki, A.

O'tkazgichni ko'p ustunlarga erkin o'rnatilgan va bir tekisda yuklangan to'sin sifatida ko'rsak, unda zarbaviy tok hosil qiladigan eguvchi momentni olamiz ($N \cdot m$):

$$M = \frac{F \cdot l}{10} \quad (5.4)$$

To'g'riburchak shaklidagi o'tkazgichlar chinni izolyatorlarda mahkamlangan bo'lsa, ularning elektrodinamik bardoshligi zarbaviy tok o'tganda paydo bo'ladigan mexanik kuchi bo'yicha aniqlanadi:

$$\sigma_{his} = \frac{M}{W}, \quad (5.5)$$

bu yerda W – qarshilik momenti, m^3 ; σ_{his} – o'tkazgich materialidagi hisobiy mexanik kuchlanish, N/m^2 .

To'g'riburchakli o'tkazgichlar 5.3-rasmda ko'rsatilgandek qirrasida joylashtirilganda, **qarshilik momenti** quyidagicha hisoblanadi:

$$W_k = \frac{b^2 \cdot h}{6} \cdot 10^{-9}, \quad (5.6)$$

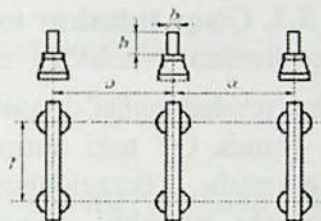
yassi tomoniga joylashtirilganda esa:

$$W_y = \frac{h^2 \cdot b}{6} \cdot 10^{-9}, \quad (5.7)$$

bu yerda b – o'tkazgich qalinligi, mm;

h – o'tkazgich kengligi (balandligi), mm.

5.3-rasm. Tayanch izolyatorlarda joylashtirilgan shinalarning elektrodinamik bardoshligini hisoblashga doir.



Zarbaviy tok o'tganda o'tkazgichlarning **elektrodinamik bardoshligi sharti** (mezoni) sifatida quyidagi tengsizlik qabul qilingan:

$$\sigma_{his} \leq \sigma_{ruxs}, \quad (5.8)$$

bu yerda σ_{ruxs} – o'tkazgich materialida **ruxsat etilgan mexanik**

kuchlanish, $N/m^2 = Pa$ – Paskal.

Mis shinalar egilganda ruxsat etilgan mexanik kuchlanish 170 MPa ga teng., alyuminli shinalar uchun esa – 80 MPa, po'latli shinalar uchun esa – 190 MPa

Ko'pincha jihozlar pasportida elektrodinamik bardoshlilik toki-ning oniy qiymati berilgan bo'ladi. Apparatlar tanlanganda quyidagi shart bajarilgandagina apparat to'g'ri tanlangan bo'ladi:

$$i_{zrb}^{(3)} \leq i_{din}, \quad (5.9)$$

bu yerda i_{din} – ishlab chiqaruvchi zavod kafolatlagan tok qiy-mati;

$i_{zrb}^{(3)}$ – uch fazali QTning zarbaviy tokining hisobiy qiymati.

“Elektr qurilmalarni o'rnatish qoidalari” (PUE) bo'yicha eruvchi himoyalovchilarga ega bo'lgan 60 A gacha apparatlar va o'tkazgichlar hamda alohida kameralarga joylashgan apparatlar va transformatorlar shinalari elektrodinamik bardoshlikka tekshirilmaydi. Egiluvchan

o'tkazgichlarda ham mexanik kuchlanishlarni hisoblash shart emas. Lekin zarbaviy toki 50 kA va undan ortiq bo'lganda, o'tkazgichlar qaytish tokiga tekshiriladi. PUE da yana mexanik kuchlanish hisobini talab etmaydigan bir qancha o'tkazgich va apparatlar sanab o'tilgan va keltirilgan [2,8].

QT dagi maksimal kuchlar amalda bir onda paydo bo'lishi tufayli o'rnatilgan qurilmalarning mexanik bardoshligini ta'minlashni faqat QT tokini kamaytirish (cheklash) yo'li bilan bajarish mumkin, ya'ni reaktorlarni, tolalangan chulg'amli transformatorlarni o'rnatish, shinalarni seksiyalash va h.k.

5.2. Qisqa tutashuv tokining termik ta'siri

Ushbu qo'llanma 1-bobidan ma'lumki, elektromagnit o'tkinchi jarayonlar, shu jumladan QT lar o'tish vaqti $2 \cdot (10^5 \div 10^2)$ sekundni tashkil etadi. Bunda QT toki normal rejim tokiga qaraganda 10–20-marotaba ortib ketishi, o'tkazgichlari harorati esa normal holdagidan 2–3-marotaba ortishi mumkin. Qisqa vaqt ichida o'tkazgich ajralib chiqayotgan issiqlikni tashqariga uzatishga ulgurmaydi va barcha issiqlik uning harorati oshishiga sarflanadi, ya'ni qizishning adiabatik jarayoni sodir bo'ladi.

O'tkazgichlar haroratining qisqa muddatda ko'tarilishi metallni magnitsizlantirish va erishga, izolatsiyani mo'rtlashishga, kontaktlarni qizib birikishiga va tok o'tkazuvchi elementlarni ishdan chiqishiga sababchi bo'ladi.

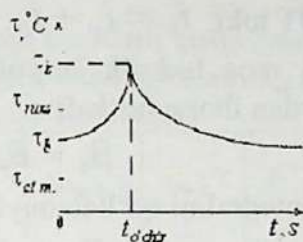
Apparat va o'tkazgichlarning qisqa tutashish davridagi issiqlik ta'siriga bardosh bera olishi va o'z normal ishini yana davom ettira olish xususiyati **termik (issiqlikga) bardoshlik** deb ataladi.

Elektr qurilmalar elementlarining toklar tufayli qizishi ikkita asosiy rejimda bo'ladi: uzoq muddatli normal ishlash rejimi va qisqa muddatli qisqa tutashuv rejimida.

Normal rejimda elektr qurilma o'tkazgichlarining ishonchli ishlashi faqat quyidagi shartlar bajarilganda ta'minlanadi:

$$I_{ish} \leq I_{ruxs}, \text{ ya'ni } \tau_b \leq \tau_{ruxs} \quad (5.10)$$

5.4-rasm. QT toki tufayli o'tkazgichning qizish harorati vaqt bo'yicha o'zgarishi diagrammasi.



bu yerda va 5.4-rasmida I_{ish} – QT sodir bo'lishidan oldin o'tkazgichdan oqayotgan ishchi toki;

I_{ruxs} – ish rejimining maksimal ruxsat etilgan toki;

τ_b – QT sodir bo'lishi momentidagi o'tkazgichning boshlang'ich harorati (5.4-rasm);

τ_{ruxs} – o'tkazgichdan maksimal ishchi toki o'tganda, uning ruxsat etilgan qizish harorati (5.1-jadval);

$\tau_{at.m.}$ – atrof muhitning harorati;

$t_{o'chir}$ – QT da o'tkazgichni o'chirish vaqti.

Termik bardoshlikning mezonlari bo'lib eng yuqori haroratga (ruxsat etilgan harorat metallning mexanik puxtaligi bilan cheklanadi), apparatlar qismlarining deformatsiyasiz va izolatsiyaning issiqlikka bardoshligi tushuniladi.

Elektr apparatlarni tanlashda ko'pincha tok o'tkazgich qismlarining haroratini aniqlash talab etilmaydi, chunki uni ishlab chiqqan zavod **termik bardoshlik toki** (I_T)ni va **termik bardoshlik vaqti** (t_T)ni kafolatlaydi. Zavod kafolatlaydigan **issiqlik impuls** $I_T^2 \cdot t_T$ ga teng bo'lib, uni hisobiy issiqlik impuls bilan solishtirish kerak. Demak, elektr qurilmalar QT tokiga quyidagi **termik bardoshligi sharti** bo'yicha tekshiriladi: $B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$, (5.11)

bunda I_T – elektr qurilma termik bardoshlik tokining me'yorlashtirilgan qiymati;

$t_{o'chir}$ – termik bardoshlik tokining ruxsat etilgan o'tish vaqti,

B_k – issiqlik impuls Joule integrali orqali ifodalanadi:

$$B_k = \int_0^{t_{o'chir}} i_k^2 dt, (5.12)$$

bunda i_k – periodik va aperiodik tashkil etuvchilardan iborat bo‘lgan QT toki: $i_k = i_p + i_a$.

Unga mos **issiqlik impulsi** ham periodik va aperiodik tashkil etuvchilardan iborat bo‘ladi:

$$B_k = B_{k.p} + B_{k.a}. \quad (5.13)$$

Joul integralini qo‘llab quyidagilarni aniqlaymiz:

$$B_{k.p} = I_k^2 \cdot t_{o'chir}, \quad (5.14)$$

$$B_{k.a} = \int_0^{t_{o'chir}} \left(\sqrt{2} I_k e^{-\frac{t}{T_a}} \right)^2 dt = I_k^2 T_a \left(1 - e^{-\frac{2t_{o'chir}}{T_a}} \right), \quad (5.15)$$

bunda I_k – QT boshlang‘ich o‘tao‘tkinchi tokining effektiv qiymati;

$t_{o'chir}$ – qisqa tutashuvni o‘chirish vaqti;

T_a – QT toki aperiodik tashkil etuvchisi so‘nishining vaqt doimiysi. Hisoblashda $T_a = 0,05$ s deb qabul qilish mumkin.

Agar $T_a \ll t_{o'chir}$ bo‘lsa, unda

$$B_{k.a} \cong I_k^2 T_a \quad (5.16)$$

va QT ning to‘la tokining termik impulsi:

$$B_k = B_{k.p} + B_{k.a} = I_k^2 (t_{o'chir} + T_a). \quad (5.17)$$

O‘tkazgich termik bardoshligini sodda usul bilan tahlil qilish mumkin. Bunda o‘tkazgichning berilgan B_k funksiyasi bo‘yicha termik bardoshlikka javob beruvchi **sim ko‘ndalang kesim yuzasining ruxsat etilgan minimal qiymati** quyidagi soddalashgan formuladan aniqlanadi:

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \quad (5.18)$$

bu yerda C ning qiymati 5.1-jadvaldan olinadi.

5.1-jadval

Uzoq muddatli normal ishchi va qisqa muddatli qisqa tutashuv rejimlarida har xil materialdan yasalgan o'tkazgichlarning ruxsat etilgan va maksimal qizish haroratlari

O'tkazgichlar turi	$\tau_{maks}, ^\circ C$	$\tau_{maks}, ^\circ C$	$C, \frac{kA \cdot s^2}{mm^2}$
Izolyatsiyalanmagan shinalar:			
mis va latun	+ 70	300	0,171
alyumin	+ 70	200	0,088
po'lat (apparatlar bilan bevosita ulangan)	+ 70	300	0,06
po'lat (apparatlar bilan bevosita ulanmagan)	+ 70	400	
Shimdirilgan qog'oz izolyatsiyali kuch kabellari, kuchlanishi:			
3 kV	+ 80	200	0,141/0,085
6 kV	+ 65	200	0,141/0,085
10 kV	+ 60	200	0,141/0,085
20 – 220 kV	+ 50	125	0,141/0,085
Kuch kabellari, qoplama va izolyatsiyasi ... bo'lgan mis va alyumin o'tkazgichlar:			
polivinilxlorid va rezinadan	+ 55	150	0,141/0,075
polietilendan	+ 55	120	0,094/0,065

Tegishli ma'lumotnoma jadvallari bo'yicha qiymatga eng yaqin bo'lgan o'tkazgichning maksimal standart kesimi tanlanadi. Agar quyidagi shart bajarilsa, unda tanlangan o'tkazgich termik nuqtai nazardan bardoshlidir: $q \geq q_{min}$, (5.19)

bu yerda q – tanlangan o'tkazgichning kesim yuzasi, mm^2 .

PUE bo'yicha quyidagi obyektlar termik bardoshlikka tekshirilmaydi: havo liniyalari o'tkazgichlari, kuchlanishi 35 kV va undan yuqori bo'lgan taqsimlovchi qurilmalar, eruvchi himoyalagichli zanjirlar va kuchlanish transformatorlarning zanjirlari.

5.3. Qisqa tutashuv tokini cheklash usullari

QT toklari va quvvatlarining darajalari elektr ta'minot sistemasi elektr qurilmalarining avariya rejimlarida ko'zda tutilgan, ishlash

sharoitlarini xarakterlaydi. Ular bo'yicha shina, tok o'tkazgich, sim va kabellarning kesimlari tanlanadi, apparatlarning o'chirish va kommutatsiya qilish qobiliyati, elektr qurilmalar konstruksiyasi va tok o'tkazgich qismlarining elektrdinamik va termik bardoshligi aniqlanadi. Avariya rejimi bo'yicha elektr jihozlarni tanlash nafaqat ularning texnik xarakteristikalariga qat'iy talablar qo'yilganligini, balki mos ravishda ularning narx ko'rsatkichlarini oshishini ham bildiradi.

Elektr ta'minot sistemasini loyihalashda uning elektr qurilmalari qo'llash uchun iqtisodiy maqsadga muvofiq bo'lgan va parametrlari ruxsat etadigan qiymatlarga QT toki va quvvati darajalarini cheklash texnik-iqtisodiyot masalasi yechiladi.

Ushbu masalani yechishda QT tokini cheklash bilan bog'liq bo'lgan va QT zanjirining qarshiligini oshirishga, uni ta'minlovchi manbalarni avariya rejimida mahalliyashtirishga, shikastlangan elektr tarmoqni $t < 1/(4f)$ vaqt (sanoat chastotali toklar uchun $t < 5 \text{ ms}$) ichida o'chirishga qaratilgan har xil choralar qo'llaniladi.

Bunday usullarga quyidagilar kiradi:

– elektr sistema strukturasi va elementlarini elektr ulash sxemasini tanlash;

– elektr tarmoqni statsionar va avtomatik ravishda bo'lish;

– uni ishlatish rejimini tanlash;

– kommutatsiya sxemalarini tanlash;

– oshirilgan elektr qarshilikli jihozlarni qo'llash;

– tezkor kommutatsion apparatlarni ishlatish;

– tarmoq elementlari neytralining rejimini o'zgartirish va sistema rejim parametrlarini elektromagnit ekvivalent o'zgartirish.

Hozirgi vaqtda qo'llaniladigan QT tokini cheklash usullarini shartli ravishda, texnik vositalarni qo'llanilishiga qarab, passiv (rejimli) va aktiv usullarga ajratish mumkin [2]. Quyida keng qo'llaniladigan QT tokini cheklagichlari rejim usullarini ko'rib o'tamiz.

Eng samarali tadbirlardan biri elektr qurilmani seksiyalarga ajratish usulidir. Bunda QT tok qiymati real elektr tarmoqlarida 1,5–2-marotaba kamayadi. Usulning mohiyati quyidagidan iborat (5.5-rasm): Q ulab-uzgichi ulanganda QT toklari I_{k1} va I_{k2} lar generator G_1 va G_2 lardan bevosita shikastlangan nuqta K ga qarab oqa boshlaydilar (uzluksiz liniyalar) va faqat generator hamda transformator qarshiliklari bilan cheklanadi xolos.

Ulab-uzgich Q uzilgan holatda (5.5,a-rasm) QT toki generator G_1 dan (shtrix chiziqlar) II seksiyadan nimstansiya shinalari orqali ikkita parallel liniyalardan QT nuqtasi K keladi. Shinalarga ulangan qo'shimcha qarshilik G_1 dan kelayotgan tok qiymatini keskin kamaytirib yuboradi.

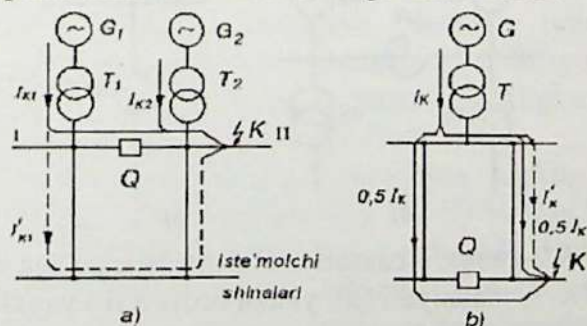
Xuddi shu kabi holat 5.5,b-rasm sxemasida ulab-uzgich Q uzilganda ham ro'y beradi. Bunda QT toki shikastlangan nuqta K ga parallel ulangan zanjirlarning biridan (shtrix chiziqlar) o'tadi va zanjir qarshiligi ikkala parallel zanjirlar ishlagandagiga qaraganda ikki barobar katta boladi, ya'ni ulab-uzgich Q uzilganda QT toki ikki barobar kamayadi ($I'_k < I_k$).

Elektr tarmog'ini seksiyalash elektr uzatish liniyalari va transformatorlarda normal ish holatida elektr energiya isrofini ko'payishiga sababchi bo'ladi, chunki quvvat taqsimi oqimi optimal holatda bo'lmayligi mumkin. Shunga ko'ra «seksiyalash» usuli texnik-iqtisodiy jihatdan asoslashni talab etadi.

10 kV va undan past bo'lgan taqsimlash qurilmalarda QT tokini cheklash uchun transformatorlarni ta'minlovchi shinalarni alohida-alohida ishlatish usuli qo'llaniladi. Bunda kuch transformatorlari yolg'iz ishlashi kuzatiladi.

Ulab-uzgich Q uzilgan holatda (5.6-rasm) QT toki generator G_1 dan uning qarshiligi va bo'laklarga ajratilgan transformator chulg'amlari sochma qarshiliklaridan o'tib kamayadi, ya'ni umumiy tok $I_k = I_{k1} + I_{k2}$ qiymatiga nisbatan «bo'lakli» transformatoridan o'tgan tok pastroq bo'ladi. QT tokini cheklashning aktiv usullariga tokni cheklovchi uzgich apparatlarini va reaktorlarni qo'llash kiradi.

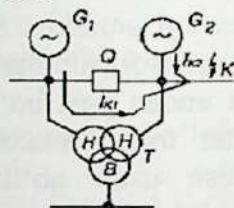
5.5-rasm. Seksiyalash usuli: a) manba tomonidan, b) iste'molchi tomonidan.



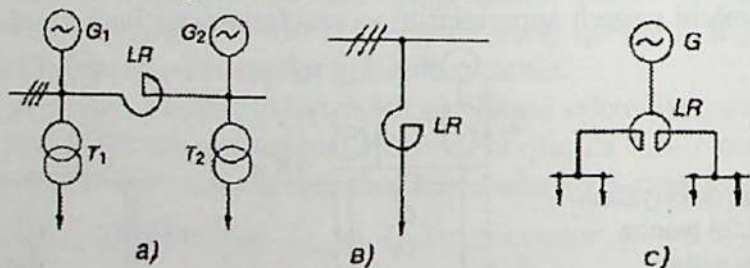
Uzgich apparatlarga yuqori va past kuchlanishlarda qo'llaniladigan eruvchi himoyalagichlar va ko'p turdagi avtomatik uzgichlar kiradi. Ular yordamida tokni uzishga ketadigan vaqt 0,01 daqiqadan kam va shunga ko'ra apparatning chiqish qismidagi QT toki o'zining zarbaviy qiymatigacha yeta olmaydi. Tok cheklovchi apparatdan o'tayotgan tokning miqdori shunchalik kichikki, apparatdan keyin joylashgan apparat va o'tkazgichlar termik tekshiruvdan o'tkazilmaydi. Tok cheklovchi apparatdan keyindagi zarbaviy tok qiymatini apparatning uzish vaqti orqali aniqlanadi yoki apparat kirish qismidagi QT toki va katalogdan olinadigan qiymatlar asosida topiladi. Bu usul QT tokini cheklash bo'yicha eng samarali va iqtisodiy arzon usul hisoblanadi. Uning qo'llanishi apparatning uzish «qobiliyati» bilan cheklanadi.

Reaktor katta induktiv qarshilikka va kichik aktiv qarshilikka ega bo'lgan maxsus g'altakdan iborat. Odatda, reaktor katta quvvatli elektr stansiyalari va nimstansiyalaridan chiquvchi elektr uzatish liniyalarining faza simlariga ketma-ket ulanadi.

5.6-rasm. Past kuchlanishli chulg'amlari bo'laklangan transformatorni qo'llab, seksiyalash sxemasini tuzish.



Oddiy – yakka reaktor va ikkilangan reaktorlar 6–10 kV kuchlanishli zanjirda sodir bo'ladigan QT toklarini cheklovchi asosiy elektr qurilmadir. Reaktorlar 35 kV va undan yuqori kuchlanishda hamda 1000 V dan pastroq kuchlanishda kamroq qo'llaniladi. Yakka reaktorlar bir fazali magnit o'zaksiz induktiv g'altak shaklida tuzilgan. Reaktorlar uchta fazaga bittadan o'rnatiladi.



5.7-rasm. Reaktorlarni elektr tarmog'iga ulanish sxemalari: seksiyali (a), yakka liniyali (b) va ikkilangan (c).

Reaktorning asosiy parametri uning reaktiv induktivlik qarshiligi X_R bo'lib, o'lchov birligi Om yoki foizda ko'rsatiladi:

$$X_R = \omega L \quad (Om) \text{ yoki } X_R = \frac{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{nom}}{U_{nom}}, \quad (\%) \quad (5.20)$$

bunda U_{nom} – reaktorning nominal kuchlanishi, V;

I_{nom} – reaktorning nominal toki, A.

Elektr tarmog'iga reaktorning seksiyali ulash sxemasi 5.7,a-rasmda va yakka ulash sxemasi 5.7,b-rasmda keltirilgan.

Elektr zanjirga katta induktiv qarshilik X_R ga ega bo'lgan reaktorning ulanishi shu zanjirning reaktordan keyingi QT nuqtasida qisqa tutashuv sodir bo'lganda, elektr manbai G bilan reaktor orasida yetarli katta qoldiq yuqori kuchlanishi hosil bo'lishini ta'minlaydi.

Amalda ko'pincha ikkilangan reaktorlar keng qo'llaniladi (5.7,c-rasm). Ikkilangan reaktorning oddiy reaktordan farqi shundaki uning o'rtasida uchinchi ulash qismasi mavjudligidadir. Ikkilangan reaktorning ikkala chulg'ami bir xil o'ramlar soniga, induktivlikka hamda nominal tokka ega.

Reaktorning ikki chekka qismalariga iste'molchining faza shinalari, o'rtadagisiga esa manba ulanishi mumkin (5.7,c-rasm). Iste'molchi ikki manbadan quvvat bilan ta'minlangan holda esa, manbalar reaktorning ikki chekkasidagi qismalariga va iste'molchi o'rtadagi klemmaga ulanishi ham mumkin. Ikkilangan reaktorlarda ikki chulg'amlar orasida chuqur o'zaro induktiv bog'lanish M mavjudligi sababli reaktorning umumiy induktiv qarshiligi normal rejimda qisqa tutashuv holatga nisbatan ancha kamroqdir.

Ikkilangan reaktorning afzalligi shundaki, normal rejimda reaktorning induktiv qarshiligi chulg'am induktiv qarshiligining yarmiga teng bo'lsa, QT rejimida reaktorning induktiv qarshiligi chulg'amning induktiv qarshiligidan ikki marta katta bo'ladi.

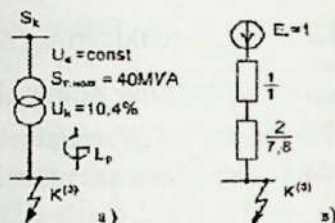
Reaktor qarshiligi shunday tanlanadiki, reaktordan narida QT bo'lganda stansiya shinalaridagi qoldiq kuchlanishi 50–60 % dan kam bo'lmaydi. QT toklarining kattaligini reaktorlar yordamida kamaytirilishi elektr ta'minotining ishonchligini oshiradi hamda elektr stansiyalar va nimstansiyalar sodda hamda arzon apparatlar o'rnatishga, kichik kesimli shinalar, simlar va kabellar ishlatishga imkon beradi.

MASALALAR

5.1-MASALA. Shinalarda QT quvvatini 200 MVA gacha cheklash uchun 10 kV kuchlanishli reaktoring qarshiligi hisoblansin (5.8,a-rasm). Energetik sistemadan kelayotgan QT quvvati 3000 MVA ni tashkil etadi.

5.8-rasm. 5.1-masalaga oid:

- a) hisobiy sxema;
b) almashlash sxema.



Yechish.

Quyidagi bazis shartlarni tanlaymiz: $S_b = 3000 \text{ MVA}$; $U_b = 10,5 \text{ kV}$, unda $I_b = S_b / (\sqrt{3} \cdot U_b) = 3000 / (\sqrt{3} \cdot 10,5) = 165 \text{ kA}$.

Nisbiy birliklarda almashlash sxemasi (5.8,b-rasm) qarshiliklari:

energetik sistema bilan bog'lanish qarshiligi:

$$X_{1(b)} = S_b / S_k = 3000 / 3000 = 1;$$

transformator qarshiligi:

$$X_{2(b)} = u_k \cdot S_b / (100 \cdot S_{T.nom}) = 10,4 \cdot 3000 / (100 \cdot 40) = 7,8.$$

Tarmoq nominal parametrlarida

$$U_{nom} = 10 \text{ kV}, \quad I_{nom} = 40 / (\sqrt{3} \cdot 10) = 2,31 \text{ kA};$$

reaktor ulangan joyida uning qarshiligi:

$$\begin{aligned} X_R &= (S_b / S_k - (X_{1(b)} + X_{2(b)})) \cdot I_{nom} U_b \cdot 100 / (U \cdot I_b) = \\ &= (3000 / 200 - (1 + 7,8)) \cdot 2,31 \cdot 10,5 \cdot 100 / (10 \cdot 165) = 9,11\% \end{aligned}$$

$$\text{yoki } X_R = 9,11 \cdot 10 / (\sqrt{3} \cdot 2310) = 0,227 \text{ Om}.$$

Ushbu qiymatlarga quyidagi parametrlarga ega bo'lgan PBA-10-3000-12 rusumli reaktor to'g'ri keladi:

$$U_{nom} = 10 \text{ kV}, \quad I_{nom} = 3 \text{ kA}, \quad X_R = 12\% (0,23 \text{ Om}).$$

Qarshiligi bazis shartlarga keltirilgan

$$X_{R(b)} = X_R \cdot I_b \cdot U_R / (100 \cdot I_{nom} \cdot U_b) = 12 \cdot 165 \cdot 10 / (100 \cdot 3 \cdot 10,5) = 6,29$$

amalda reaktoring ortida quyidagi QT quvvati bo'ladi:

$$S_k = S_b / X_{\Sigma(b)} = 3000 / (1 + 7,8 + 6,29) = 199 \text{ MVA}. \quad 199 \text{ MVA} < 200 \text{ MVA}.$$

Tayanch soʻzlar va iboralar:

Elektrodinamik bardoshlik, elektrodinamik kuch, Dvayt grafiklari, shakl koeffitsienti, zarbaviy tok, eguvchi moment, hisobiy mexanik kuchlanish, qarshilik momenti, elektrodinamik bardoshligi sharti, ruxsat etilgan mexanik kuchlanish, termik (issiqlikka) bardoshlik, maksimal ruxsat etilgan qizish haroratli, termik bardoshligi sharti, QT ning toʻla tokining termik impulsi, koʻndalang kesim yuzasining ruxsat etilgan minimal qiymati.

Oʻz-oʻzini sinash savollari:

1. Elektrodinamik bardoshlik deganda nima tushuniladi? 2. Ikkita parallel oʻtkazgichdan toklar oʻtganda, ular orasidagi elektrodinamik kuch F formulasini yozing. Ushbu toklar bir xil va har xil tomonga yoʻnalganda oʻtkazgichlar bilan nima sodir boʻladi? 3. Uch fazali QT da A, B va C faza oʻtkazgichlari bir tekislikda parallel joylashganda, qaysi faza liniyasi eng ogʻir holatda boʻlar ekan? Nega? 4. Shakl koeffitsientining qiymati oʻtkazgichning nimasiga bogʻliq? 5. Qurilma elektrodinamik bardoshli boʻlishi shartini ayting. 6. Apparatlar tanlanganda zarbaviy tokning hisobiy qiymati uchun qanday shart bajarilgandagina, apparat toʻgʻri tanlangan boʻladi? 7. "Elektr qurilmalarni oʻrnatish qoidalari" boʻyicha elektrodinamik bardoshlikka nimalar tekshirilmaydi? 8. Termik (issiqlikka) bardoshlik deganda nima tushuniladi? 9. Normal rejimda elektr qurilma oʻtkazgichlarining ishonchli ishlashi faqat qaysi shartlar bajarilganda taʼminlanadi (toklar yoki haroratlari boʻyicha tengsizliklarni ayting va yozing)? 10. Mis, alyumin, poʻlatli oʻtkazgichlarning ruxsat etilgan va maksimal qizish haroratlari necha gradus? 11. Termik bardoshlikning mezonlari deb nima tushuniladi? 12. Elektr qurilmalar QT tokiga termik bardoshlik shartini yozing va izohlang. 13. Issiqlik impulsi qanday tashkil etuvchilardan iborat boʻladi? Uning formulalari? 14. Sim koʻndalang kesim yuzasining ruxsat etilgan minimal qiymatini hisoblash formulasi? 15. Qanday shart bajarilsa, tanlangan oʻtkazgich termik nuqtayi nazardan bardoshli deb hisoblanadi? 16. QT tokini cheklash qanday choralar qoʻllaniladi? 17. Seksiyalash usulini tushuntiring. 18. Reaktorlarning turlari va ularni elektr tarmogʻiga ulanish sxemalari?

Mustaqil ish mavzulari:

1. Elektrodinamik bardoshlik. 2. Termik bardoshlik. 3. Qisqa tutashuvlarning oqibatlar va ularning oldini olish usullari. [3, 7, 8, 12].

Test savollari:

1. QT rejimida o'tkazgichlar orasidagi mexanik ta'sir asosan nimaga bog'liq?

- A) o'tkazgich mexanik xususiyatiga
- B) yuqori voltli liniyalar kuchlanishlari qiymatlariga
- C) qisqa tutashuv vaqtiga
- D) zarbaviy tok kattaligiga

2. Elektrodinamik bardoshlik deganda nima tushuniladi? Apparat va o'tkazgichlarning QT davrida ...

- A) hosil bo'ladigan mexanik kuchlarga deformatsiyasiz chiday olishligi
- B) elektromagnit maydonga deformatsiyasiz chiday olishligi
- C) termik ta'sirga deformatsiyasiz chiday olishligi
- D) katta toklarga deformatsiyasiz chiday olishligi

3. Bardoshlilik mezoni sifatida quyidagi tengsizlik qabul qilingan

- A) $\sigma_{\text{ruksat}} = \sigma_{\text{hisob}}$
- B) $\sigma_{\text{ruksat}} \leq \sigma_{\text{hisob}}$
- C) $\sigma_{\text{ruksat}} \geq \sigma_{\text{hisob}}$
- D) $\sigma_{\text{ruksat}} \neq \sigma_{\text{hisob}}$

4. Apparat va o'tkazgichlarning QT davridagi issiqlik ta'siriga bardosh bera oilishi va o'z normal ishini yana davom ettira olish xossa-xususiyati nima deb ataladi? ...

bardoshlik

- A) termik
- B) elektrodinamik
- C) mexanik
- D) dinamik

5. Izolatsiyalanmagan mis o'tkazgichlar uchun maksimal harorat ... (°C) teng ?

- A) 300
- B) 200
- C) 100
- D) 400

6. Izolatsiyalanmagan alyuminli o'tkazgich uchun maksimal harorat necha gradusga (°C) teng ?

- A) 300
- B) 100
- C) 400
- D) 200

7. Apparat bilan bevosita ulanmagan po'lat o'tkazgichlar uchun maksimal harorat ... (°C) teng ?

- A) 200
- B) 100
- C) 400
- D) 300

8. Elektr jihozlarini o'rnatish qoidalari (PUE) ga ko'ra QT rejimi bo'yicha tekshirishga quyidagilar kiritilmaydi:

A) apparatura va o'tkazgichlar hamda barcha kuchlanishli havo liniya simlari

B) eruvchan saqlagichlar,

C) yuqori omilli tok cheklovchi qarshiliklar bilan himoyalangan apparatura va o'tkazgichlar

D) barcha kuchlanishli havo liniya simlari eruvchan saqlagichlar bilan himoyalangan apparatura va o'tkazgichlar

9. Elektr jihozlar elementlarining termik bardoshligi me'zoni deganda nima tushuniladi?

A) QT tokining davriy tashkil etuvchisi haqiqiy vaqt davomida ajratib chiqqan issiqlik energiyasi

B) qizish shartiga ko'ra muayyan vaqtda tok o'tkazuvchi qismlar uchun ruxsat berilgan QT tokining eng katta effektiv qiymati

C) qisqa tutashgan zanjir bo'yicha o'tuvchi QT toklari

D) releli himoyaning ishlash vaqti

10. Reaktorlar nima maqsadda qo'llaniladi?

A) simmetriyalovchi qarshiliklar sifatida

B) tok cheklovchi qarshiliklar sifatida

C) reaktiv quvvatli kompensatsiyalovchi element sifatida

D) tebranish konturining asosi sifatida

11. Reaktorlarni elektr tarmog'iga ulanish sxemalari?

A) yakka, guruhli B) guruhli, seksiyali

C) yakka D) yakka, guruhli, seksiyali

12. QT tokini cheklash usullari nimaga asoslangan?

A) QT zanjirining qarshiligini oshirishga

B) elektr tarmog'ini seksiyalarga ajratishga

C) oddiy va ikkilangan reaktorlarni qo'llashga

D) transformatorlarni ta'minlovchi shinalarni alohida-alohida ishlatishga.

6-BOB. Elektromexanik o'tkinchi jarayonlar

6.1. Elektromexanik o'tkinchi jarayonlar to'g'risida umumiy ma'lumotlar

Ushbu qo'llamaning 1.3-bandida aytilganiday **elektromexanik o'tkinchi jarayonlarga** [$t_{\text{emx}}=0,02\div 10\text{s}$ va undan katta] – generator, turbina, motorlarning aylanish tezliklarining o'zgarishi sezilarli darajada ta'sir etadi. Elektromagnit va mexanik rejimlar bir vaqtda ko'riladi.

O'tkinchi jarayon paytida sistema bir turg'un rejimdan boshqasiga o'tadi yoki turtkididan keyin dastlabki turg'un rejimga qaytadi.

Har qanday o'tkinchi jarayonlar biror sabablarga ko'ra sistema parametrlari o'zgarishi tufayli sodir bo'ladi. Ushbu sabablar **turtki ta'sirlar (rejim turtkilari yoki turtkilar)** deb nomlanadi va rejim parametrlarida boshlang'ich og'ishlar paydo bo'lishiga olib keladi.

Normal o'tkinchi rejim(jarayon)larda rejim parametrlari o'zgarishi turg'un kattaliklaridan kichik miqdorga farq qiladi. Ma'lum bir kichik turtki ta'sirlar, masalan, yuklamani o'zgarishi, rostlagichlar faoliyati va hokazolar uzluksiz davom etadi va shuning natijasida sistemada o'tkinchi jarayonlarga sabab bo'luvchi **kichik turtkilar** doimo kuzatiladi. Kichik turtkilar sistema turg'un ishlashining izdan chiqarishiga sabab bo'lmasliklari kerak. Shuning uchun sistema kichik turtkida turg'un bo'lishi shart yoki boshqacha ifodalaganda statik turg'un bo'lishi shart.

Avariya o'tkinchi jarayonlari bir qism elektr generatorlarining, liniyalarning qisqa tutashuv yoki boshqa hollarda uzilishi va rejim parametrlarining shiddatli kutilmagan o'zgarishlari natijasida yuz beradi. Avariya natijasida rejim parametrlari katta miqdorga o'zgaradi (U , P kamayadi), ya'ni elektr sistemasi **katta turtki** ta'sirida bo'ladi. Misol tariqasida sistemadagi uch fazali QT kuchlanishini chuqur pasayishi, hattoki nolgacha yetishi, generatorlarning rejim parametrlarining tebranishi bilan kuzatiluvchi turtki ko'rinishida sodir bo'lishi mumkin. Sistema katta turtkilarga turg'un, ya'ni dinamik turg'unlikka ega bo'lishi shart.

Shunday qilib elektromexanik o'tkinchi jarayonlar shartli ravishda uch guruhga ajratiladi:

1) aylanish tezligi (chastotasi) katta bo'lmagan o'zgarishlardagi va kichik turtkididan keyingi(quvvatni kichik og'ishlari)dagi o'tkinchi jarayonlar (elektr sistemaning statik turg'unligi tadqiq qilinadi);

2) qisqa vaqtda katta keskin turtkidan keyingi (quvvatni katta og'ishlari)dagi va aylanish tezlikning kichik o'zgarishidagi o'tkinchi jarayonlari (elektr sistemaning dinamik turg'unligi tadqiq qilinadi);

3) katta aylanish tezlikdagi va katta turtkidan keyingidagi o'tkinchi jarayonlari (elektr sistemaning natijaviy turg'unligi tadqiq qilinadi).

Birinchi o'tkinchi jarayonlar elektr sistemaning uning o'rnatilgan rejimidan sezirarli bo'lmagan og'ishlarni normal rejimlarni baholash uchun o'rganiladi. Bu holda sistemaning mukammallashgani uning ideallashtirishgani (konservativ, pozitsion sistema, dissipativ sistema), konfiguratsiyalashgani (tarmoq mukammalligi, generatorlar soni) va yuklamalarni hisoblash usullariga bog'liq.

Konservativ pozitsion sistemalar shunday sistemalarki, ularning generatorlarining quvvati faqat ularning rotorlarining o'zaro joylashuviga bog'liq. Bu yerda sistemadagi keskinlashuvlarini shu sistemaning so'nmas tebranishlariga olib kelinishi ideallashtirish deyiladi. Dissipativ sistemalarda generatorlar quvvati faqat joylashuvlarda emas, balki o'zgarish tezligi va dinamik boshqaruvni xarakterlaydigan elektr va mexanik parametrlarga bog'liq. Shuning uchun sistemalar sodda, murakkab pozitsion konservativ va dissipativ sistemalarga bo'linadi.

Ikkinchi o'tkinchi jarayonlarda ular sinxron mashinalarining rotorini aylanish chastotasi 2–3 % o'zgarishida kechadi deb qabul qilinadi.

Aktiv elektr quvvatining oniy qiymati generator rotoriga bog'liq deb faraz qilinadi. Unda sistema rejimining keskin o'zgarishi uning modelida EYUK va sinxron generator orasidagi o'tkazuvchanlikda namoyon bo'ladi.

Generator va transformatorlarning qarshiligi o'zgarishi hisobga olinmaydi yoki almashlash qarshiligiga yaqin keltiriladi $x_d \approx (0,6 \div 0,9) = x_d'$. Oddiy hisoblashlarda EYUK $E_q' = E'$ deb olinadi. Ko'riladigan rejimlar uchun vektorlarning (EYUK, generator, toklar, kuchlanish, chastota) δ burchak vaqt bo'yicha o'zgarishini aniqlash hisoblashlarning maqsadi bo'ladi.

Aylanish chastotasining kichik nisbiy xatoligida (1–1,5 %) $P \approx M$, deb olish mumkin, bu yerda: P – aktiv quvvat va M – moment. Bundan tashqari, rotor harakatini maydonlar usuli yordamida yechish mumkin. Ammo bu usul ko'p mashinali sistemalar uchun qo'llanilmaydi. Bu usul 2 ta stantsiyadan iborat sistemalar uni tadqiq

qilish va ularda yuklama quvvatini aniqlash, uyg'otish forsirovakasining effektini tahlillash va turbina quvvatini dinamik turg'unligini oshirish uchun boshqarishda qo'llaniladi.

Uchinchi o'tkinchi jarayonlar yani asinxron rejim uchun sistemani hech bo'lmaganda bitta stantsiyasi EYUK vektorining periodik o'zgarishi uning generatorlari rotor ω tezlik bilan sinxron tezlikka (ω_0) nisbatan yaxshi aylanganda 360° burchakdan katta bo'lganda o'zgarishi kerak. Bu holda sinxron mashina sinxron o'sadi va sirpanishga bog'liq bo'lgan asinxron moment parametrlari yangi qiymatga ega bo'ladi (EYUK E_ω va $X_\omega = \omega X / \omega_0$). Bu shartda sistema elementlarida aylanuvchi tok ikkita ω va ω_0 chastotali tashkil etuvchidan iborat bo'ladi. Bunda sistemadagi chastotaning kichik o'zgarishida transformator, liniya va boshqa elementlarning induktiv hamda sig'im qarshiliklarining o'zgarishga olib keladi.

Sinxron mashina generator rejimda beradigan quvvati va motor rejimda oladigan quvvati faqat burchak qiymatiga emas, balki uning o'zgarish tezligiga bog'liq bo'ladi. Bu holda quvvat P va moment M ikkita — sinxron va asinxron tashkil etuvchilaridan iborat bo'ladi: $P = P_s - P_{as}$; $M = M_s - M_{as}$, bunda $M_s = P_s / (1 - s)$; $M_{as} = P_{as}$.

Elektr sistema va uning elementlaridagi elektromexanik o'tkinchi jarayonlarni ifodalovchi differensial va algebraik tenglamalar sistemasi, ya'ni **rejim tenglamalari** umumiy holda quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$[1]: \begin{cases} T_j \frac{dx_j}{dt} = F_j, \\ A_j \cdot x_j = Y_j \end{cases} \quad (6.1)$$

bu yerda x_j — sistemaning rejimini ifodalovchi $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ta parametrlari **rejim o'zgaruvchilari** deyiladi.

T_j, A_j — rejim va sistema parametrlarga bog'liq koeffitsientlar;

Y_j, F_j — o'zgaruvchilarning ba'zi funksiyalari (masalan,

$U, f, \Delta U, \Delta f$ va boshqa). Fanni o'rganish mobaynida ushbu ifodalar konkretlashtiriladi.

(6.1)—sistemani yechish natijalari biror parametрни vaqtga bog'liqligini ifodalaydi, rejimga turtkilarning ta'sirini va turli ta'sirlarda elektr sistemaning turg'un yoki noturg'unligini aniqlash imkonini beradi.

Elektromexanik o'tkinchi jarayonlarni tadqiq etishning asosiy xususiyatlaridan biri – bu elektr sistemaning juda katta miqdordagi ichki aloqalaridir (sistema, stansiya, generator, yuklama va h.k. lar orasidagi bog'liqlik va aloqalar). Shuning uchun ularni (6.1) rejim tenglamalari bilan ifodalashda va undan keyin juda yuqori darajali tenglamalarni yechishda katta muammolar yuzaga keladi [1].

Lekin shunga qaramasdan mutaxassis avvalo sistemani rejimi va undagi jarayonlarga sifat nuqtai nazardan baho berishi lozim. Bundan tashqari ushbu tenglamalarni to'la-to'kis yechish umuman mumkin emas. Shuning uchun masalalarni yechishni soddalashtirish va ularning zaruriy va konkret yechimlarini topish maqsadga muvofiqdir.

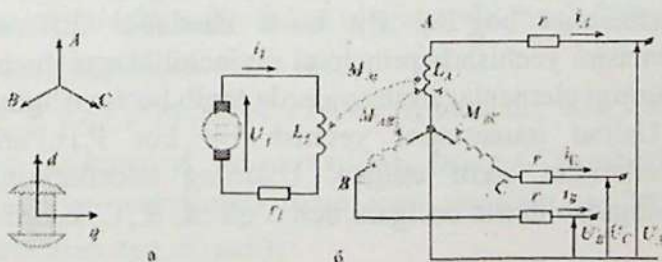
6.2. Sinxron mashina o'tkinchi jarayonlarining differensial tenglamalari

Sinxron mashinadagi o'tkinchi jarayonlarni differensial tenglamalar sistemasi bilan tasvirlash mumkin. Ushbu tenglamalarni chiqarish uchun qiyin hisobga olinadigan omil(faktor)larga nisbatan qator farazlarni kiritishga lozim bo'ladi, ya'ni:

- magnit sistemada isroflar mavjud emasligini;
- magnit sistema to'yinmagan va shu tufayli mashina induktivliklari toklarga bog'liq emasligini;
- havo oralig'ida induksiya va magnitlovchi kuchning faqat birinchi garmonikalari ta'sir etishini, bunda stator EYUK si asosiy chastotali sinusoidadir;
- o'zining bo'ylama va ko'ndalang o'qlariga nisbatan stator va rotor chulg'amlarining konstruktiv simmetriyaga egaligini.

6.1,a-rasmda dempfer (tinchlantiruvchi) chulg'amlari bo'lmagan ayon qutbli sinxron mashinaning prinsipial sxemasi keltirilgan, unda strelkalar bilan qabul qilingan kuchlanish va toklarning musbat yo'nalishlari ko'rsatilgan, 6.1,b-rasmda esa statorning (A, B, C) va rotorning (d, q) koordinat o'qlari ko'rsatilgan.

6.1-rasm. Sinxron mashina:
a) koordinat o'qlari;
b) prinsipial sxemasi.



Mazkur sinxron mashina to'rtta magnit ilashishgan konturlarga ega. Kirxgofning ikkinchi qonuniga ko'ra, differensial tenglamalarni yozamiz. Stator konturlarining tenglamalari A, B, C fazalarning qo'zg'almas koordinatalarida, qo'zg'atish chulg'amlarining esa rotorning harakatlanuvchi d, q koordinatalarida:

$$\begin{aligned} u_A &= -\frac{d\psi_A}{dt} - r i_A, \\ u_B &= -\frac{d\psi_B}{dt} - r i_B, \\ u_C &= -\frac{d\psi_C}{dt} - r i_C, \\ u_f &= \frac{d\psi_f}{dt} + r_f i_f, \end{aligned} \quad (6.2)$$

bu yerda

ψ hosilalari oldidagi "—" ishora Lens qoidasiga muvofiq qo'yilgan;

u_A, u_B, u_C — faza kuchlanishlarining oniy qiymatlari;

r, r_f — stator va qo'zg'atish chulg'amlarining aktiv qarshiliklari;

$\psi_A, \psi_B, \psi_C, \psi_f$ — stator va qo'zg'atish chulg'amlarining natijaviy magnit ilashishlari:

$$\begin{cases} \psi_A = L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C + M_{Af} i_f, \\ \psi_B = M_{BA} i_A + L_B i_B + M_{BC} i_C + M_{Bf} i_f, \\ \psi_C = M_{CA} i_A + M_{CB} i_B + L_C i_C + M_{Cf} i_f, \\ \psi_f = M_{fA} i_A + M_{fB} i_B + M_{fC} i_C + L_f i_f; \end{cases} \quad (6.3)$$

bunda $M_{AB} = M_{BA}, M_{fB} = M_{Bf}, \dots$

(6.2) dagi sistema o'zgaruvchi koeffitsientlarga ega bo'lgan chiziqli differensial tenglamalardan tashkil topgan, chunki doimiy qiymatga ega bo'lgan induktivlik L_f dan tashqari qolgan L va M lar barchasi o'zgaruvchan. Ular stator chulg'amlariga nisbatan rotorning joylashishiga bog'liq. Bu holat dastlabki differensial tenglamalar sistemasini yechishda prinsipial qiyinchiliklarga duch kelinish va uning yechimini elementar funksiyalarda topib bo'lmashligini bildiradi.

Ushbu muammoni yechish ilk bor P.H.Park va A.A.Gorev tomonlaridan taklif etilgan. Ularning takliflarining asosiy g'oyasi quyidagidan iborat bo'lgan: uch o'qli A, B, C koordinatalardagi o'zga-

ruvchilardan ikki o'qli d, q koordinatalardagi o'zgaruvchilarga o'tish sinxron mashina tenglamalarini o'zgarmas koeffitsientlarga ega bo'lgan tenglamalar bilan almashtirishga imkon beradi. Bunda ikki o'qli sistema rotor bilan birk bog'langan bo'lib, u bilan birga aylanadi. d, q o'qlarda joylashgan faza chulg'amlari rotor chulg'amiga nisbatan qo'zg'almas bo'lganligi uchun, bunday mashinaning induktivliklari o'zgarmas bo'ladi. O'zgarmas koeffitsientlarga ega bo'lgan differensial tenglamalarni yechish prinsipial qiyinchiliklarni tug'dirmaydi.

Ko'rsatilgan almashtirish uch fazali sistemaning umumlashgan vektori yordamida eng oson amalga oshiriladi.

Har qanday sinusoidal kattalikning oniy qiymatini o'zgarmas vaqt o'qiga aylanuvchi vektorining proyeksiyasi ko'rinishida ifodalash mumkin. Agar simmetrik uch fazali sistemasi to'g'risida gap ketsa, unda yagona vaqt o'qiga simmetrik yulduzning uchta vektorining proyeksiyalari fazaviy kattaliklarning oniy qiymatini beradi (6.2,a-rasm). Biroq xuddi shu oniy qiymatlarni yagona vektorni har bittasi mos fazaning magnit o'qi bilan ustma-ust tushadigan uchta vaqt o'qiga proyeksiyalash yo'li bilan olish mumkin (6.2,b-rasm). Bunday vektor **uch fazali sistemaning umumlashgan vektori** (yoki tasvirlovchi vektor) deb nomlanadi. Simmetrik turg'un rejimda umumlashgan vektor o'zgarmas sinxron tezlik bilan aylanadi va uning absolyut qiymati o'zgarmas bo'ladi. Umumlashgan vektor bilan har qanday faza o'zgaruvchilarini (U, I, Ψ) tavsiflash mumkin.

2.7, 6.3-rasmlarda qo'zg'almas va stator o'qlari bilan mos tushadigan uch fazali (A, B, C) hamda rotor tezligi ω bilan aylanuvchi (d, q) koordinat sistemalari o'rtasidagi munosabatlar ko'rsatilgan. Bunda:

d – rotor bo'yicha bo'ylama o'qi ;

q – rotor bo'yicha ko'ndalang o'qi;

$\gamma = \gamma_0 + \omega \cdot t$ – rotor aylanishi tezligi bilan o'zgaruvchi burchakdir;

$\vec{I}$ – tokning umumlashgan vektori;

$i_A - i$ ning A o'qiga proyeksiyasi bo'lib, qiymatlari faza tokiga teng (bu yerda va quyida faqat A faza ko'rilgan, B va C fazalardagi kattaliklar xuddi shunday aniqlanadi faqat mos ravishda -120° va $+120^\circ$ faza siljishlari inobatga olinadi);

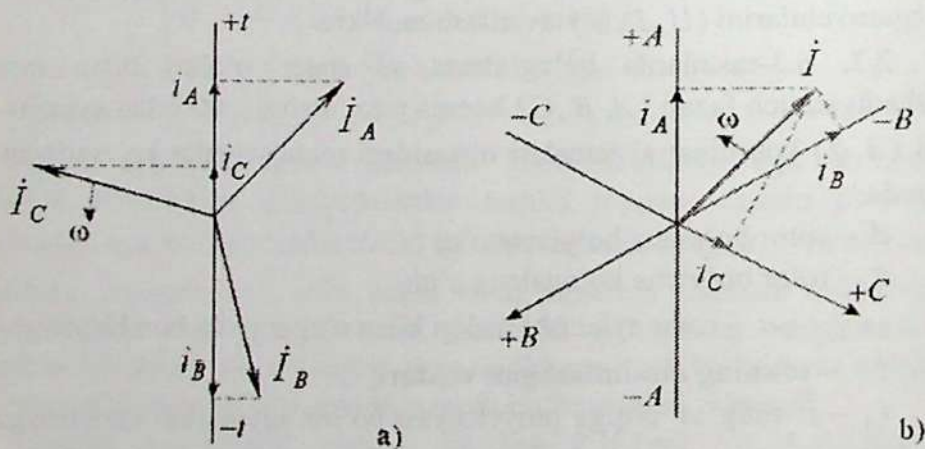
i_d va i_q — $\dot{I}$ ning mos ravishda d va q o'qlariga proyeksiyalari.

Matematik nuqtai nazardan bitta koordinatlar sistemasidan ikkinchisiga o'tish o'zgaruvchilarni almashtirishga mos keladi. 6.3-rasmdan ko'rinib turibdiki umumlashgan tok vektorining d, q o'qlardagi proyeksiyalari ushbu vektorning A, B, C o'qlardagi proyeksiyalari bilan chiziqli funksiyalar orqali bog'langan. Yuqoridagi $\dot{I}_A$ oniy faza tokini va ko'ndalang hamda bo'ylama o'qlaridagi tok qiymatlari orasidagi bog'liqlik quyidagi tenglamalar orqali aniqlanadi:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{dA} + \dot{I}_{qA} = \dot{I}_d \cos \gamma + \dot{I}_q \sin \gamma, \quad (6.4)$$

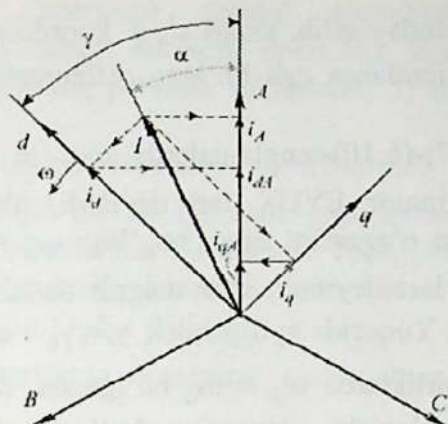
bu yerda $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ inobatga olingan.

Agar neytral nuqta yerlangan va uch fazali sistema nosimmetrik bo'lsa, unda qo'shimcha kattalik, yani $i_0 = (\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C)/3$ — nolinch ketma-ketlikning tokini kiritish lozim. Nolinch tashkil etuvchisi barcha fazalarda bir xil va u umumlashgan vektorga hamda uning d va q o'qlaridagi proyeksiyalariga ta'sir etmaydi. $\dot{I}_0$ ni (6.4) tenglamada hisobga olish kerak: $\dot{I}_A = \dot{I}_0 + \dot{I}_d \cos \gamma + \dot{I}_q \sin \gamma$. (6.5)



6.2-rasm. Vektorlarning oniy qiymatlarini aniqlash: a) uch fazali sistemada; b) umumlashgan vektor $\dot{I}$ yordamida.

6.3-rasm. A, B, C o'qlar
va d, q o'qlardagi
toklarning tashkil
etuvchilari orasidagi
bog'lanishlarni aniqlash.



$$u_d = -\frac{d\psi_d}{dt} - \psi_q \frac{d\gamma}{dt} - r i_d, \quad (6.7)$$

$$u_q = -\frac{d\psi_q}{dt} + \psi_d \frac{d\gamma}{dt} - r i_q, \quad (6.8)$$

$$u_0 = -\frac{d\psi_0}{dt} - r i_0. \quad (6.9)$$

(6.2)-sistemaning oxirgi u_f – qo'zg'atish chulg'aminin hamda dempfer konturlarning tenglamalari o'zgarimasdan qoladi:

$$u_f = \frac{d\psi_f}{dt} + r_f i_f. \quad (6.10)$$

Faza A o'rniga boshqa faza ko'rilsa o'zgartirishlar natijasi xuddi shunday bo'ladi. (6.7)-(6.9) – tenglamalar **Park-Gorev tenglamasi** deb nomlanadi.

Ushbu tenglamalarda nisbiy birliklar sistemasida magnit ilashishlar quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi:

$$\begin{cases} \psi_d = x_{ad} i_f + x_d i_d, \\ \psi_q = x_q i_q, \\ \psi_0 = x_0 i_0, \\ \psi_f = x_{ad} i_d + x_f i_f, \end{cases} \quad (6.11)$$

bu yerda $x_{ad}, x_d, x_q, x_f, x_0$ – sinxron mashinaning ma'lum reaktiv qarshiliklari, hamda nolinci ketma-ketlikning induktiv qarshiligidir.

Shunday qilib, yangi d, q koordinat sistemasiga o'tish o'zgarmas koeffitsientlarga ega bo'lgan differensial tenglamalarga o'tishga yo'l berdi.

(6.7)-(6.10)-tenglamalarda $d\psi_d/dt, d\psi_q/dt, d\psi_0/dt, d\psi_f/dt$ – transformator EYUK lari deyiladi, ular magnit ilashishlari qiymat bo'yicha o'zgarishi bilan bog'liq; $\psi_d d\gamma/dt, \psi_q d\gamma/dt$ – aylanish EYUK lari deyiladi, ular magnit ilashishlari siljishi (aylanishi) bilan bog'liq; Yuqorida aytilgandek $\gamma = \gamma_0 + \omega_0 \cdot t$, demak, $d\gamma/dt = \omega_0$ va nisbiy birliklarda $\omega_b = \omega_0$ bo'lganda, $d\gamma/dt = 1$ ga ega bo'lamiz.

Kuchlanishi o'zgarmas bo'lgan shinalarga ishlaydigan mashinaning o'tkinchi jarayonini yuqorida keltirilgan tenglamalar to'liq tavsiflaydi. Murakkab sistemalarda o'tkinchi jarayonlarini tahlillash uchun har bir element (generator, yuklama, tarmoq uchastkalari) uchun tenglamalar tuzilib o'zaro yechiladi.

Bir vaqtda elektromagnit va elektromexanik jarayonlar o'tishini va o'zaro ta'sirini aks etish uchun (6.7)-(6.10) tenglamalarni yechishda undan tashqari $\gamma = \gamma_0 + \omega \cdot t$ burchak funksiyasi bo'lgan va rotor harakatini xarakterlovchi quyidagi tenglamani inobatga olish lozim:

$$M_{mex} - M_{el} = J \cdot d\omega/dt, \quad (6.12)$$

bu yerda M_{mex} – mexanik kuchlarining tormozlovchi momenti;

$M_{el} = 1,5 \cdot p_n - (\psi_d i_q - \psi_q i_d)$ – d, q o'qlar sistemasida mashina rotoriga qo'yilgan elektromagnit momenti (p_n – qutblar juftliklari soni), $M_{el} = P/\omega$;

J – aylanuvchi qismlarning inersiyasi momenti.

(6.7)-(6.10) tenglamalarni nisbiy birliklar sistemasida va operator ko'rinishda ham yozish mumkin. Park-Gover tenglamalar sistemasini noma'lum bo'lgan toklar yoki boshqa qiymatlarga nisbatan yechilishi operator shaklda amalga oshiriladi.

Nisbiy birliklar sistemasida ($\omega = \omega_0 = 1$) **soddalashtirilgan Park-Gorev tenglamalari** sinxron mashina uchun quyidagicha ko'rinishga ega: $U_d = -\psi_q; U_q = \psi_d$. (6.13)

Ushbu tenglamalar qisqa tutashuv toklarini, turg'unliklarni va h.k. larni hisoblash uchun qo'llaniladi. Bunda quyidagilarning ta'siridan voz

kechiladi: 1) stator tokining aperiodik tashkil etuvchisidan (transformator EYUK sidan); 2) stator tokining aperiodik tashkil etuvchisi bilan bog'liq bo'lgan rotorning periodik toklaridan; 3) stator zanjiridagi aktiv qarshiligidan.

Shunga muvofiq ko'ndalang I_q va bo'ylama I_d toklarning ifodalari ham soddalashadi. Bunda quvvat va elektromagnit momenti ifodalari bir xil bo'ladi, chunki dastlabki shartlardan berilayotgan quvvat miqdori aylanuvchi momentga teng. Simmetrik rejim uchun:

$$P = M = U_d I_d + U_q I_q. \quad (6.14)$$

Qabul qilingan dastlabki shartlarda rotorning nisbiy harakati tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$T_j \frac{d\omega}{dt} = P_{\text{mex}} - P_{\text{el}}, \quad (6.15)$$

bunda T_j – mashinaning inertsia doimiysi; $d\omega/dt = d^2\delta/dt^2$.

Bu tenglamalar asosida odatda turg'unlikning loyiha va ekspluatatsion hisoblashlarni Longley yoki Lebedev-Jdanov tenglamalari deb ham atashadi.

6.3. O'tkinchi jarayonlarga va rejimlarga qo'yiladigan talablar

O'tkinchi rejimlarni va uni tashkil etuvchi jarayonlarni o'rganish masalasi asosan tok, quvvat va rotorlar ko'chishlarini vaqt bo'yicha o'zgarishini aniqlashga olib keladi.

Bu masalalar avvalo normal rejimlarning xarakteristikalarini olishni talab qiladi. Chunki, boshlang'ich va o'tkinchi jarayon tugagandan so'ng avariya dan keyingi bo'lgan turg'un rejimlarni bilmasdan sistemada bo'lib o'tadigan o'tkinchi jarayonlar, hamda sistema ishlashi to'g'risida to'liq tasavvurga ega bo'lish mumkin emas.

Elektr sistema rejimlari ham turg'un ham o'tkinchi rejimlarning ma'lum talablariga javob berishi kerak va hisoblarda ularni nazarda tutish lozim.

Shunday qilib, elektr sistema dastlabki rejimlarda (odatda uning normal ishchi rejimida) quyidagi ko'rsatkichlarni, ya'ni sifat, ishonchlilik, yashovchanlik va tejamkorlikni ta'minlash kerak.

Sifat – iste'molchilarni o'zining ko'rsatkichlari bo'yicha o'rnatilgan me'yorlarga mos keladigan energiya bilan ta'minlash.

Ishonchlilik – iste'molchilarni uzoq davom etadigan to'xtalishlarsiz va sifatini kamaytirmasdan energiya bilan ta'minlash.

Bunda to'xtashning davomiyligi yoki uni bo'lmashligi, berilgan sifatdan chetga chiqish miqdorlari, berilgan sistema va iste'molchilarga qarab me'yorlar bilan aniqlanadi. Ishonchli sistema ekspluatatsion ko'rsatkichlari (unumdorlik, foydalilik, rentabellik)ni uzoq vaqt saqlash kerak.

Yashovchanlik – tashqi kuchlar ta'siriga qarshilik ko'rsatish va uzoq vaqt ushbu rejimni saqlash. Elektr sistemaning yashovchanlik qobiliyati har qanday avariyalarni rivojlanib, katta global avariyalarga yo'l qo'ymaslik qobiliyatidir.

Tejamkorlik – energiyani ishlab chiqishga va uzatishga mumkin qadar kichik mablag' sarflab iste'molchilarni qoniqarli sifatga ega bo'lgan energiya bilan ta'minlash.

Elektr sistemalarning o'tkinchi jarayonlari amalda har doim qandaydir istalgan turg'un rejim bilan tugashi kerak. Hisoblashlarda qabul qilingan parametrlar uchun, rejim amalga oshiriladigan (mavjud) bo'lishi sharti muhimdir.

Undan keyin, rejim barqaror va ishonchli bo'lishi kerak. Bunda sistema turg'unligini buzmaydigan, katta bo'lmagan, tasodifiy o'zgarishlar(kichik turtkilar)dan qo'rqmasdan uzoq vaqt ishlaydi.

O'tkinchi jarayonlarni sifatini baholashda va uni yaxshilashda olib boriladigan chora-tadbirlar tejamkor bo'lishi kerak. Shunda rejim parametrlari o'zgarishi iste'molchilar energiya ta'minotining sifatini kamayishiga olib kelishi kerak emas.

O'tkinchi jarayon tugagandan keyin sistemada turg'unlikning kichik zaxirasi qolsa, unda o'tkinchi jarayonni qoniqarli deb hisoblash mumkin emas. Boshqacha aytganda o'tkinchi rejim tarkibiga kirgan o'tkinchi jarayonlar shunday bo'lishi kerakki, ular tugagandan keyin ma'lum talablarga mos keladigan rejim yuzaga kelishi kerak. Ya'ni o'tkinchi jarayon yetarli darajada ishonchli rejim bilan tugashi lozim. Demak, o'tkinchi jarayonni hisoblashda quyidagi shartlar bajarilishi zarur:

- o'tkinchi jarayon so'nishidan keyin bo'ladigan rejim amalga oshiriladigan rejim bo'lishi lozim;

- o'tkinchi jarayon so'nishidan keyin, bo'ladigan rejim bitta rejimdan ikkinchi rejimga o'tishi stabil bo'lishi, hamda rejim turg'unlikka ega bo'lishi kerak;

- o'tkinchi jarayonning sifati qoniqarli bo'lishi kerak;

- o'tkinchi jarayonga qo'yiladigan talablarni ta'minlash maqsadida o'tkaziladigan chora-tadbirlar tejamkor bo'lishi kerak.

6.4. O'tkinchi jarayonlar sifati

Sistema bir rejimdan boshqa rejimga o'tishda hosil bo'ladigan jarayonlarning sifati quyidagi ko'rsatkichlar bilan baholanishi mumkin:

- 1) jarayon o'tishining vaqt davomiyligi;
- 2) jarayon xarakteri (aperiodik, tebranma);
- 3) ko'rilayotgan jarayon sistema va uning nimsistemalaridagi rejimlarga ta'sir qilishi mumkinligi (sistemaga kiradigan boshqa mashinalarni chayqalishiga (tebranishiga), kuchlanish pasayishiga) va iste'molchining noturg'unligi;
- 4) sistema qurilmalari uchun o'tkinchi jarayonni xavfliligi (tarmoq simlari va elektr mashinalarning chulg'amlari o'ta qizishi);
- 5) o'tkinchi jarayon davomida quvvat (va energiya) ni isrof bo'lishi;
- 6) ushbu o'tkinchi jarayonni yaxshilash uchun qo'shimcha chora-tadbirlarning narxi.

O'tkinchi jarayonning o'tish vaqti va xarakteri bo'yicha baholash eng avvalo, uning parametri $X(t)$ o'zgarishi bo'yicha olib boriladi.

O'tkinchi jarayon yangi turg'un rejim bilan tez tugashi mumkin, yoki uzoq vaqtga cho'zilishi mumkin.

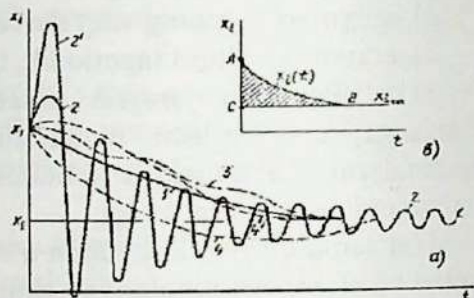
6.4,a-rasmdan ko'rinib turibdiki o'tkinchi jarayon o'zgarishi aperiodik (1), tebranma (2), monoton (3) (bir tekis) yoki tebranma va monoton chegarasida [$X_1 - X_2$ ishorasi o'zgarmaganda (4')] yoki faqat bir marta ishorasi o'zgarganda (4)] bo'lishi mumkin. Tebranma jarayon katta chetga chiqishga (2') yoki kichik o'zgarishga (2) ega; tebranma jarayonda tebranishlar soni ko'p yoki nisbatan kam bo'ladi. Tez so'nish, aperiodiklik, hech bo'lmasa monotonlik yaxshi sifat ko'rsatkichlaridir. Bularga erishish uchun avtomatik rostlash qo'llaniladi.

Ammo elektr sistemalarda sifatni aniqlash uchun bu ko'rsatkichlar yetarli emas. Elektr sistemalar uchun o'rnatilgan yagona uslub mavjud emas, shuning uchun boshqa sohalaridan misollar keltirish mumkin. Masalan, avtomatik boshqarish nazariyasida: aperiodik va tebranma o'tkinchi jarayonning sifatini baholash 6.1,b-rasmdagi ABC ning yuzasini aniqlash bilan bajariladi, yani:

$$I_1 = \int_0^t [X_i(t) - X_i(\infty)] dt \quad \text{va} \quad I_2 = \int_0^t [X_i(t) - X_i(\infty)]^2 dt \quad (6.16)$$

Qancha ushbu qiymatlar kichik bo'lsa, shuncha o'tkinchi jarayon yaxshi o'tadi.

6.4-rasm. O'tkinchi jarayonlar o'zgarishi: aperiodik (1), tebranma (2), monoton (3), tebranma va monoton chegarasida [$x_1 - x_2$ ishorasi o'zgarmaganda (4') yoki faqat bir marta ishorasi o'zgarganda (4)].



O'tkinchi jarayon sifatini bitta mezon bo'yicha xarakterlash emas, balki mezonlar kompleksi bilan baholash lozim ekan. Ular ta'sir etuvchi omillar guruhini aks ettiradi. Ushbu omillar nafaqat o'tkinchi jarayonga balki, o'tkinchi jarayondan keyingi bo'lgan rejimlarga ta'sir etishi ko'rsatilishi lozim. Umumiy ko'rinishda kompleks mezon:

$$K_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n k_i K_i + \sum_{j=1}^m k_j K_j, \quad (6.17)$$

bu yerda

K_{Σ} – o'tkinchi jarayonning summaviy sifat ko'rsatkichi;

k_i – umumiy jarayonda ushbu parametrlarning ulushini ko'rsatadigan koeffitsient;

K_i – qandaydir rejim parametri (U , f , burchak δ va h.k.) ning sifat ko'rsatkichi;

K_j – o'tkinchi jarayon tufayli oqibatda hosil bo'lgan parametrlarning sifat ko'rsatkichi;

k_s – oqibat ta'sirini yoki ehtimolligini hisobga oladigan koeffitsient.

O'tkinchi jarayon salbiy ta'siri nafaqat o'tkinchi jarayon paytida balki, undan keyin (oqibatda) yuzaga kelish mumkin:

- kuchlanish darajasi pasayishi;
- chastota darajasi pasayishi;
- qurilmalar issiqligi oshishi.

Bitta parametr uchun sifat ko'rsatkichi ixtiyoriy ko'rinishdagi funksional bilan ifodalanishi mumkin. Amalda ko'p ishlatiladigan ko'rsatkich va mezon:

$$K_i = \frac{1}{T} \int_0^T X_i^2 dt \quad (6.18)$$

Kompleks mezonlarni aniqlash uchun umumiy yondashish hali ham mavjud emas. Shuning bilan, qator elektr energetik sistema(asosan sodda strukturali)lar uchun ushbu mezonlarni qo'llash bo'yicha ko'pgina misollarni keltirish mumkin.

Murakkab strukturali elektr energetik sistemalar uchun optimal mezonlarni aniqlash katta hajmli va qiyin tadqiqotlarni talab etadi. Shuni ta'kidlash joizki, qator masalalarni yechishda o'tkinchi jarayonni tez o'tishi har doim ham afzal mezon deb hisoblanmaydi.

6.5. Sistema rejimining mavjudlik shartlari

O'tkinchi jarayondan oldin bo'lgan dastlabki rejim yoki o'tkinchi jarayonni keltirgan turtki va o'tkinchi jarayondan keyin o'rnatiladigan turg'un rejim mavjud bo'lishi uchun quvvatlar balansi bajarilishi lozim.

Generatordan P quvvatni uzatish imkoniyati faqat uning turbinasidagi quvvat $P_G = P$ bo'lsagina bajariladi:

$$P_G = P_H + \Delta P = P, \quad (6.18)$$

bu yerda P – elektr uzatishning elektr quvvati;

P_H – yuklama ist'emol qiladigan quvvat;

ΔP – sistema elementlarida isrof bo'ladigan quvvat.

O'zgaruvchan tok zanjirlarida analogik shart reaktiv quvvatlar uchun ham mavjud:

$$Q_G = Q_H + \Delta Q = Q. \quad (6.19)$$

Aktiv va reaktiv quvvatlar quyidagi ifoda bilan bog'liq:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (6.20)$$

bunda S – to'la quvvat.

Demak (6.18) va (6.19) tenglamalarni mustaqil deb ko'rish, hamda ular orasida bo'lgan bog'lanishlarni aks ettiruvchi qo'shimcha shartlarsiz qo'llash mumkin emas. Har bir alohida holda ushbu bog'lanishlarni tadqiq qilish kerak.

Biroq parametrlari ma'lum diapazonlarda o'zgaradigan zamonaviy elektr sistemalarining ishlash amaliyoti muhandislarga o'z ishida qo'llash mumkin yoki kerak bo'lgan qonuniyatlarni o'rnatishga imkon beradi.

Ma'lumki:

1) generator ishlab chiqaradigan aktiv quvvatning o'zgarishi asosan sistemadagi chastota o'zgarishiga ta'sir etadi, kuchlanishga esa nisbatan kam ta'sir ko'rsatadi.

Bundan quyidagi faraz kelib chiqadi: chastotani rostlash va uning berilgan qiymatini o'zgarimas holda ushlab turish generatorning aktiv quvvatini rostlash, ya'ni stansiya turbinasini boshqarish bilan ta'minlanadi. Qisqacha aytganda: **chastotaning darajasi (qiymati) aktiv quvvatning balansi bilan bog'liq**, yoki

$$\Delta f \approx \varphi(\Delta P). (6.21)$$

2) sistema stansiyalari tomonidan berilayotgan reaktiv quvvat iste'molchi shinalaridagi kuchlanish U_H va generator qo'zg'alishi $E \equiv i_{qozg}$ bilan bog'liq.

Bunda generator qo'zg'alishi boshqarilishi, ya'ni ishlab chiqarilayotgan reaktiv quvvatning o'zgarishi, iste'molchidagi kuchlanish U_H ning qiymati o'zgarishiga (yoki berilgan qiymatini o'zgarimasdan saqlanib turishiga) ta'sir ko'rsatadi. Qisqachasi: **tarmoq iste'molchilaridagi kuchlanish darajasi (qiymati) reaktiv quvvatning balansi bilan bog'liq**, yoki $\Delta U \approx \psi(\Delta Q)$. (6.22)

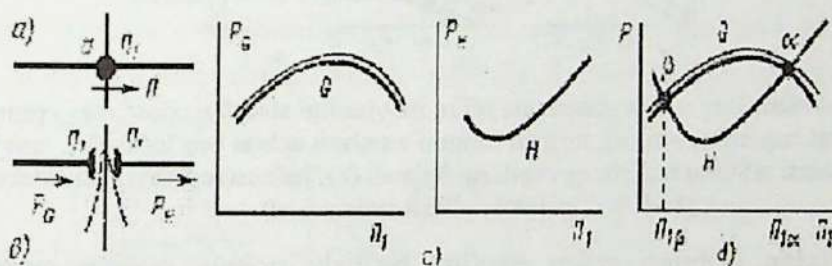
Demak, berilgan rejimni mavjudligini ta'minlash (yoki boshqacha aytganda, "rejimga kiritish") uchun, reaktiv (qo'zg'alishni boshqarish) hamda aktiv (stansiya turbinasini boshqarish) quvvatlarining balansiga ta'sir ko'rsatish lozim.

Aktiv va reaktiv quvvatlarning balansi zarurligi quyidagi qoidaga olib keladi: turg'un rejimda biror-bir rejim parametri Π bo'yicha olingan generator $P_G = \varphi_1(\Pi)$ va yuklama $P_H = \varphi_2(\Pi)$ xarakteristikalar har doim umumiy nuqtaga ega bo'ladi, ya'ni ular o'zaro kesishadi yoki $\Pi = \Pi_1$ bo'lganda bir-biriga urinadi. Bunda xuddi shu qiymat $\Pi = \Pi_1$ da $Q_G = \psi_1(\Pi)$ va $Q_H = \psi_2(\Pi)$ xarakteristikalar ham umumiy nuqtaga ega bo'lishlari kerak.

Turg'un rejim parametrlarini aniqlash uchun mazkur grafoanalitik usul amaliyotda keng qo'llaniladi. Bu usul **xarakteristikalarining kesishish usuli** deb nomlanadi. 6.5-rasmda uning qo'llash ketma-ketligi ko'rsatilgan.

Tarmoqning (6.5,a-rasm) ko'rilayotgan tugun nuqtasidagi Π_1 rejim parametriga har xil qiymatlar berib $\Pi = f(\Pi_1)$ xarakteristikasini qurish mumkin. Mazkur usulda berilgan tugun nuqtasi ikki alohida nuqtaga shartli bo'linib (6.5,b-rasm), $P_G = f(\Pi_1)$ va $P_H = f(\Pi_1)$ xarakteristikalar quriladi (6.5,c-rasm). Keyin ular birlashtirilib (6.5,d-rasm), kesishishgan nuqtalardan rejim mavjudligi to'g'risida fikr yuritiladi.

Bu yerda parametr $\Pi_1 \in \{U, I, P, Q, \delta, \dots\}$ bo'lishi mumkin. Manba tomonidan "oqib keladi"gan parametr P_G , α nuqtadan "oqib ketadi" gan parametr esa P_H bilan belgilanadi. Buni izohlash uchun bir necha misol keltiramiz.



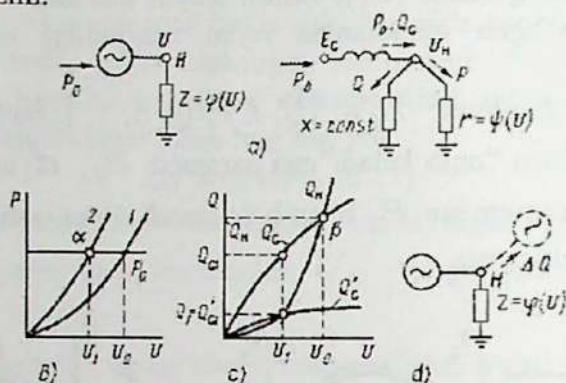
6.5-rasm. Xarakteristikalarining kesishish usulida rejimni hisoblash: ajratilgan α nuqtada (a) sistemani shartli ravishda bo'lib (b), parametr Π_1 ga bog'liq bo'lgan "generatsiya" (G) va "yuklama" (H), ya'ni $P_G = f(\Pi_1)$ va $P_H = f(\Pi_1)$ xarakteristikalarini alohida qurish (c). Keyin G va H xarakteristikalarini birlashtirish va rejim mavjud bo'lishi mumkin bo'lgan (ishchi) α, β nuqtalarni aniqlash (d).

MASALALAR

6.1-MISOL. Nochiziq yuklamali sistema berilgan va unda quvvatlar taqsimlanishi ko'rsatilgan (6.6,a-rasm).

Faraz qilamiz r qarshilikning qiymati r_0 dan r_1 gacha kamayadi. Agar (generatorning aktiv quvvati o'zgarmas) $P_0 = \text{const}$ va $X = \text{const}$ bo'lsa, yangi turg'un rejimning parametrlarini toping. Rejimni tafsiflovchi parametr Π_1 deb yuklama ulangan H nuqtadagi U_H kuchlanishni olamiz.

r_0 va r_1 qarshiliklar uchun $P=f(U)$ xarakteristikalarini quramiz (6.6,b-rasmda mos ravishda 1 va 2 egri chiziqlar). Genertorning $P_0=const$ va 2-xarakteristikalari o'zaro α nuqtada kesishshadi. Rejim mavjud bo'lsa, sistemada α nuqtaga mos keladigan U_1 kuchlanish o'rnatilishi lozim.

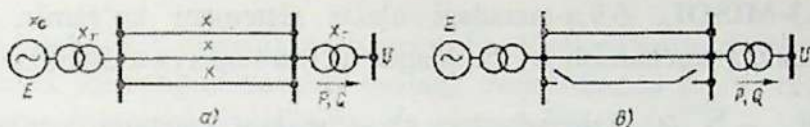


6.6-rasm. Eng sodda sistemada rejim mavjudligi shartlari: dastlabki sxema va quvvat taqsimlanishi (a); turg'un rejimni aniqlash uchun bog'liklik (b); mavjudlik sharti sifatida reaktiv quvvatlarni balansi (c); balans(rost)laydigan reaktiv manbani ulash sxemasi (d).

Undan tashqari rejim mavjud bo'lishi uchun, reaktiv quvvatlar balansi ham bajarilishi lozim. Kuchlanish U_0 bo'lganda (6.3,b-rasm) ushbu balans bajariladi, ya'ni generatordan keladigan quvvat Q_G hamda, iste'molchidagi reaktiv quvvat Q_H xarakteristikalari nuqtasida kesishadi. U_1 kuchlanishda generatordan yuklamaga yetkaziladigan Q_{G1} quvvat yuklamada iste'mol qilinadigan Q_1 quvvatdan kattaroq. Shuning uchun $P_0=const$ va $r=r_1$ bo'lganda rejim mavjud bo'la olmaydi.

Rejimni mavjud qilishni boshqa yo'l orqali ham bajarish mumkin: H nuqtaga $\Delta Q = Q_{G1} - Q_1$ quvvat ortig'ini jalb etadigan qo'shimcha reaktiv yuklama ulanadi (6.3,d-rasm).

6.2-MISOL. Shinasida o'zgarmas (amplituda va chastotasi bo'yicha) kuchlanishi bo'lgan uch zanjirli elektr uzatishni ko'ramiz (6.7,a-rasm). Odatda bunday shinalar cheksiz quvvatli shinalar deyiladi. Amalda sistema shinalarining quvvati uzatish quvvatidan 5 barobar katta bo'lsa, ularni cheksiz quvvatli shinalar deb hisoblash mumkin.

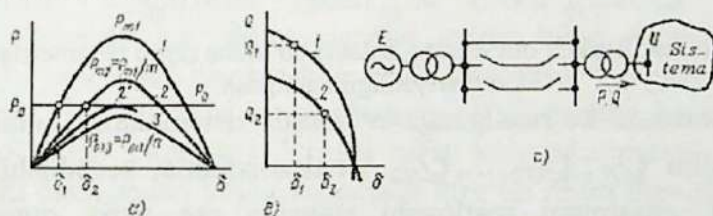


6.7-rasm. Sistemaning dastlabki sxemasi (a) va o'zgarishdan so'ng bo'lgan sxema (b).

Faraz qilamiz, uzatish liniyasining bitta zanjiri uziladi (6.7,b-rasm), unda E va U lar berilgan nuqtalar orasidagi zanjirning qarshiligi m marta oshadi:
$$m = \frac{X_G + 2X_T + X/2}{X_G + 2X_T + X/3}$$
.

Shunga mos ravishda aktiv quvvatning qiymati m marta kamayadi (chunki I tok kamayadi va quvvat esa $P = UI \cos \varphi$): $P = P_{m2} \sin \delta$ (δ – E va U vektorlar orasidagi burchak).

Agar generator tomonidan kelayotgan quvvat o'zgarmasa (6.8,a-rasm), unda tasniflovchi parametr sifatida ko'rilayotgan δ burchak δ_1 dan δ_2 gacha oshadi.



6.8-rasm. 6.4-rasmda keltirilgan sxema uchun: aktiv (a) va reaktiv (b) quvvatlarning xarakteristikalar; ikki zanjir uzilgan rejimi (c).

Reaktiv quvvatning Q_2 qiymati (ya'ni δ_2 dagi) oldingi Q_1 dan farq qiladi (6.8,b-rasm). Demak, agar sistema parametrlari o'zgargandan keyin (bu yerda qarshilik m marta oshadi) reaktiv quvvatni erkin o'zgarishiga imkon bo'lsa, unda rejim mavjud bo'lishi mumkin.

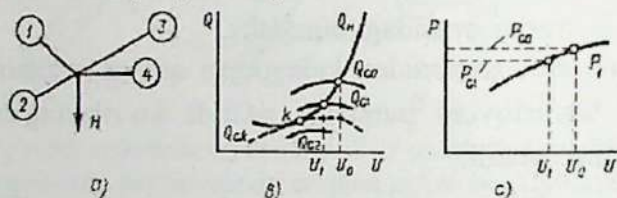
Agar 2'-xarakteristika $P_0 = \text{const}$ xarakteristikaga urilsa (6.8,a-rasm) shu nuqtaga mos keladigan rejim kritik (chegaraviy) bo'ladi. Agar sistemada elektr uzatish qarshiligi yanada oshsa, masalan ikkita zanjir uzilganda (6.8,c-rasm) o'zgarishlar tufayli aktiv quvvat xarakteristikasi (6.8,a-rasmda – 3) $P_G = P_0 = \text{const}$ xarakteristikasi bilan kesishmasa yoki urunmasa, unda rejim mavjud bo'lmaydi.

6.3-MISOL. 6.9,a-rasmdagi elektr sistemani ko'ramiz. Unda yuklama H kuchlanish U_0 bo'lganda to'rtta stansiya tomonidan unga

$$P_{G0} = \sum_{i=1}^4 P_i \text{ aktiv va } Q_{G0} = \sum_{i=1}^4 Q_i \text{ reaktiv quvvatlar yetkaziladi.}$$

6.9,b,c-rasmlarda rejimni tasvirlovchi grafiklar keltirilgan.

Faraz qilaylik bitta stansiya uzib qo'yildi, unda reaktiv quvvatning yangi xarakteristikasi $Q_{G1} = f(U)$ xarakteristika $Q_H = f(U)$ bilan U_1 kuchlanishda kesishadi. Agar uchta qolgan stansiyalarda aktiv quvvatni avtomatik ravishda rostlab $U = U_1$ kuchlanishda aktiv quvvatlarning balansi bajarilishiga erishilsa, unda avariya dan keyingi rejimda U_1 kuchlanish o'rnatiladi (6.6,c-rasm).



6.9-rasm. Reaktiv quvvatning balansi bo'yicha rejim parametrlarini va mavjudligini aniqlash.

6.6,a-rasmda ko'rsatilganga o'xshash sistemalarda amalda yangi turg'un rejim $Q_H, Q_{G0}, \dots, Q_{G2}$ xarakteristikalar kesishishi bo'yicha aniqlanadi, chastotani rostlovchi stansiya esa aktiv quvvatlarning balansini ta'minlab beradi.

Agar uzib qo'yiladigan stansiyaning quvvati juda ham katta bo'lsa, avariya dan keyingi rejimni mavjud bo'lmashligi ikkita sababga ko'ra bo'lishi mumkin: 1) reaktiv quvvat "yetishmaydi" — Q_{G2} xarakteristika Q_H xarakteristika bilan kesishmaydi; 2) aktiv quvvat "yetishmaydi" — chastotani rostlovchi stansiya aktiv quvvat balansini ta'minlab bermaydi.

$dQ_H / dU = dQ_{Gk} / dU$ bajarilganda, k nuqtasida sistemada kritik rejim mavjud bo'ladi.

Izoh: "Yetishmaydi" tushunchasi shartli olingan, chunki fizik jihatdan har bir onda generatorlarda ishlab chiqariladigan quvvat yuklamada ist'emol qilinadigan va elektromexanik elementlarda zaxira qilinadigan quvvatlarga teng. Mazkur tushunchalarni qo'llashda chas-

tota va kuchlanish qiymatlari muayyan berilgan me'yoriy diapazondan chiqmaslik lozimligini nazarda tutiladi. Faqat shunda shartli ravishda aktiv quvvatning nobalansligi haqida gapirish mumkin.

Tayanch so'zlar va iboralar:

Elektromexanik o'tkinchi jarayonlar, turtki ta'sirlar, rejim turtkilari, turtkilar, kichik turtki, katta turtki, elektr sistemaning statik va dinamik turg'unliklari, sifat, ishonchlilik, yashovchanlik, tejamkorlik, rejimining mavjudligi, aktiv quvvatning balansi, reaktiv quvvatning balansi, xarakteristikalarining kesishish usuli, ishchi nuqta, kritik rejim, Park-Gorev tenglamalar sistemasi, aylanuvchi moment, inertsia.

O'z-o'zini sinash savollari:

1. Qanday jarayonlar elektromexanik o'tkinchi jarayonlar deyiladi?
2. Turtki ta'sirlar deganda elektr sistemada nima tushuniladi? Ularni izohlang.
3. Elektromexanik o'tkinchi jarayonlar shartli ravishda necha xil bo'lishi mumkin? Ularning farqi nimada?
4. Sifat, ishonchlilik, yashovchanlik, tejamkorlik nima?
5. Elektr sistema o'tkinchi jarayonlari amalda har doim qanday rejim bilan tugashi kerak?
6. O'tkinchi jarayonni hisoblashda bajarilishi zarur bo'lgan shartlarni sanab ayting.
7. O'tkinchi jarayonlarning sifati qanday ko'rsatkichlar bilan baholanishi mumkin? Yaxshi sifat ko'rsatkichlarini izohlang.
8. O'tkinchi jarayondan keyin sistemada turg'un rejim mavjud bo'lishi uchun, nima bajarilishi lozim?
9. Aktiv, reaktiv, va to'la quvvatlar formulalarini, o'lcham birliklarini hamda ular o'zaro bog'lanish ifodasini yozing.
10. Quvvatlar balansi deganda nimani tushunasiz?
11. Aktiv (reaktiv) quvvatni rostdash nimani rostdash bilan bajariladi?
12. Turg'un rejim parametrlarini aniqlash uchun amaliyotda keng qo'llaniladigan grafoanalitik usulni nomi va mohiyati?
13. Qaysi sabablarga ko'ra rejim mavjud bo'lmasligi mumkin?
14. Elektromexanik o'tish jarayonlarni shartli ravishda necha ko'rinishga ega bo'lishi mumkin?
15. Sistemaning simmetrik rejim holatida nolinchi ketma-ketlikdagi toklar bo'ladimi?
16. Sinxron mashina uchun operator formada Park-Gorev tenglamasini yozing?

Mustaqil ish mavzulari:

1. Elektromexanik o'tkinchi jarayonlarning xususiyatlari, elektr ta'minot sistemasiga ta'siri va ularni matematik ifodalash.
2. Park-Gorev tenglamalari. [1,2]. Referat.

Test savollari:

1. Sistemaning normal ish rejimida nima ta'minlanishi kerak?

- A) ishonchlilik, sifat
- B) tejamkorlik, ishochlilik
- C) sifat, tejamkorlik, ishonchlilik
- D) sifat, tejamkorlik

2. Sifat – bu ...

A) iste'molchilarni qoniqarli sifatdagi elektr energiya bilan ta'minlash va bu energiyani ishlab chiqarish va uzatishga eng kam xarajat qilish

B) iste'molchilarni o'rnatilgan me'yoriy ko'rsatkichlari bo'yicha javob bera oladigan, elektr energiya bilan ta'minlash

C) iste'molchilarni elektr energiya bilan uzluksiz va sifatini pasaytirmagan holda ta'minlash

D) berilgan rejimni turg'un holda ushlab turish

3. Ishonchlilik – bu ...

A) iste'molchilarni qoniqarli sifatdagi elektr energiya bilan ta'minlash va bu energiyani ishlab chiqarish va uzatishga eng kam xarajat qilish

B) iste'molchilarni o'rnatilgan me'yoriy ko'rsatkichlari bo'yicha javob

bera oladigan elektr energiya bilan ta'minlash

C) berilgan rejimni turg'un holda ushlab turish

D) iste'molchilarni elektr energiya bilan uzluksiz va sifatini pasaytirmagan holda ta'minlash

4. Tejamkorlik – bu ...

A) iste'molchilarni elektr energiya bilan uzluksiz va sifatini pasaytirmagan holda ta'minlash

B) iste'molchilarni o'rnatilgan me'yoriy ko'rsatkichlari bo'yicha javob bera oladigan, elektr energiya bilan ta'minlash

C) iste'molchilarni qoniqarli sifatdagi elektr energiya bilan ta'minlash va bu energiyani ishlab chiqarish va uzatishga eng kam xarajat qilish

D) berilgan rejimni turg'un holda ushlab turish

5. Elektr sistemaining ishonchli ishlash sharti – bu ...

A) turg'unlik B) tejamkorlik
C) o'ta yuklanganlik D) salt ishlash

6. O'tkinchi jarayon yetarli darajada ... rejim bilan tugallashi lozim.

A) turg'unlikning kichik zaxirali

B) turg'un bo'lmagan

C) ishonchlilik D)
nostatsionar

**7. O'tkinchi
jarayonlarning sifat
ko'rsatkichi yaxshiligini ...
ko'rsatadi.**

A) kuchlanishi va chastota
qiymatlari

B) tok va kuchlanish
qiymatlari

C) aktiv va reaktiv
quvvatlar qiymatlari

D) o'tkinchi jarayonlarning
tez so'nishi va aperiodikligi

**8. O'tkinchi jarayon sifati
... bilan xarakterlanadi.**

A) transformatsiya
koeffitsienti

B) bir qancha ta'sir etuvchi
omillar guruhini ifodalovchi
me'zonlar majmuasi

C) turg'unlik zahirasi

D) kuchaytirish koeffitsienti

**9. Sanab o'tilgan
o'tkinchi jarayonlardan
qaysinisi eng past sifat
ko'rsatkichga ega?**

A) katta og'ishlarga ega va
uzoq davom etadigan tebranma
jarayon

B) tez so'nuvchi aperiodik
jarayon aperiodiklik jarayon

C) tez so'nuvchi tebranma
jarayon

**10. Sanab o'tilgan
o'tkinchi jarayonlardan
qaysinisi eng yuqori sifat
ko'rsatkichga ega?**

A) tebranma jarayon

B) tez so'nuvchi aperiodik
jarayon

C) aperiodiklik jarayon

D) monoton jarayon

**11. Yaxshi sifat
ko'rsatkichlarga erishish
uchun nima qo'llaniladi?**

A) seksiyalash B) teskari
ulanish

B) avtomatik kuzatish

C) avtomatik rostdash

**12. Xarakteristikalarining
kesishish usuli – bu qanday
usul?**

A) grafoanalitik usul

B) analitik usul

C) iteratsiya usuli

D) approksimatsiya usuli

**13. Berilgan rejimni
mavjudligini ta'minlash
uchun nimaga ta'sir
ko'rsatish lozim?**

A) reaktiv quvvatlarining
balansiga

B) reaktiv quvvatlarining
balansiga hamda aktiv
quvvatlarining balansiga

C) aktiv quvvatlarining
balansiga

D) quvvatlar oqimiga

14. O'tkinchi jarayondan oldin bo'lgan dastlabki rejim yoki o'tkinchi jarayonni keltirgan turtki va o'tkinchi jarayondan keyin o'rnatiladigan turg'un rejim mavjud bo'lishi uchun nima bajarishi lozim?

- A) garmonikalar balansi
- B) kuchlanishlar balansi
- C) quvvatlar balansi
- D) kommutatsiya qonunlari

15. «Chastotaning darajasi (qiymati) aktiv quvvatning balansi bilan bog'liq». Shu gapga mos formulani toping.

- A) $\Delta f \approx \varphi(\Delta P)$
- B) $\Delta U \approx \psi(\Delta Q)$
- E) $P_G = P_{yuk} + \Delta P = P$
- F) $Q_G = Q_{yuk} + \Delta Q = Q$

16. «Tarmoq istemolchilardagi kuchlanish darajasi reaktiv quvvatning balansi bilan bog'liq». Shu gapga mos formulani toping.

- A) $\Delta f \approx \varphi(\Delta P)$
- B) $Q_G = Q_{yuk} + \Delta Q = Q$
- C) $\Delta U \approx \psi(\Delta Q)$
- D) $P_G = P_{yuk} + \Delta P = P$

17. Chastotani rostlash va uning berilgan qiymatini o'zgarimas holda ushlab turish nima bilan ta'minlanadi? ... rostlash bilan

- A) generator aktiv quvvatini
- B) turbina reaktiv quvvatini
- C) generator reaktiv quvvatini
- D) generator to'la quvvatini

18. Sistema stantsiyalari tomonidan berilayotgan reaktiv quvvat nima bilan bog'liq? ... bilan.

- A) ist'emolchi shinasidagi kuchlanish
- B) generator qo'zg'alishi
- C) ist'emolchi soni bilan
- D) ist'emolchi shinalaridagi kuchlanish va generator qo'zg'alishi

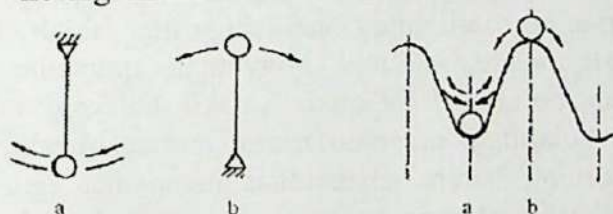
19. Stansiyadagi generator quvvatining o'zgarishi nimaga bog'liq?

- A) rotor aylanish burchagi va chastotasiga, yuklama kuchlanishiga
- B) yuklamadagi kuchlanishga
- C) rotorning aylanish chastotasiga
- D) rotorning aylanish burchagiga

7-BOB. Elektr sistemada turg'unlik va uni tadqiq qilishning sodda usullari

7.1. Elektr sistemalarning statik, dinamik va natijaviy turg'unliklari haqida tushunchalar

Eng sodda mexanik sistemalar misollaridan (7.1-rasm) ko'rinib turibdiki sistemaning qismlarida bir qanday muvozanat holati mavjudki, unga tasodifiy turtkidan keyin sistemaning qismlari har doim qaytishga, yani dastlabki rejimni tiklashga harakat qiladi yoki shunday muvozanat holatlar borki ularga sistema har qanday turtkidan keyin qaytmaydi. Birinchi holatda sistemaning muvozanat holati turg'un, ikkinchisida – noturg'unidir.



7.1-rasm. Mexanik sistemalarning muvozanat holatlari: turgun (a), noturgun (b).

Energetik jihatdan qaraganda turg'unlik mezoni quyidagi shartdan kelib chiqadi

$$\frac{\Delta W}{\Delta \Pi} > \frac{\Delta W_G}{\Delta \Pi}, \quad (7.6)$$

ya'ni agar rejimni aniqlovchi parametr bo'yicha ortiqcha energiya hosilasi manfiy bo'lsa, unda rejim turg'unlikka ega deyiladi va quyidagi differensial shakldagi tengsizlik bilan ifodalanadi:

$$\frac{d\Delta W_{\Sigma G}}{d\Pi} < 0, \quad (7.7)$$

bu yerda: Π – rejimni aniqlovchi parametr bo'lib, qandaydir turtkilarda $\Delta \Pi$ ga o'zgaradi;

W_G , ΔW_G – turg'un rejimda sistemaga tashqaridan kelayotgan energiya va uni turtkidan keyingi o'zgarishi;

W , ΔW – turg'un rejimda sistemada sarflanadigan energiya va uni turtkidan keyingi o'zgarishi;

$W_G - W = \Delta W_{\Sigma G}$ – ortiqcha energiya, agar turtki tufayli hosil bo'lgan qo'shimcha energiya sistema yuklamasiga qaraganda jadalroq oshsa, unda ushbu energiya musbat bo'ladi.

Ma'lumki, elektr energetikasining asosiy vazifasi iste'molchilarni sifatli elektr energiya bilan ishonchli, ya'ni uzluksiz va turg'un ta'minlashdir. Qanday sharoitlarda generatorlarning turg'un ishlashini ta'minlash va elektr uzatish liniya orqali qanday miqdordagi quvvatni uzatish mumkinligini, turg'unlikni ta'minlash qanday omillarga bog'liqligini, normal ishlayotgan sinxron generatorlarning turg'un, parallel ishlashi nima sababdan buzilishini aniqlash lozim.

Elektr energiyasining mahsulot sifatidagi noyoblighi shundaki, u ishlab chiqarish jarayonida iste'mol qilinadi, chunki elektr energiyasini katta miqdorda uzoq muddat saqlashning imkoniyati yo'q.

Generatorlar turg'unligining buzilishiga ular ishlab chiqarayotgan quvvat va iste'molchi iste'mol qilayotgan quvvatlar balansining buzilishi sabab bo'ladi. Rostlagich kerakli balansni ta'minlagunga qadar avariya holatidagi parametrlarning tebranishi tabiiydir, chunki elektr sistemasining barcha elementlari inersiyaga ega, ya'ni ishni bajarish, signallarni uzatish va boshqalarda kechikish bo'ladi.

Demak, agar generatorning quvvatini o'zgartirib turbinaning quvvatini o'zgartirish kechiktirilmasdan amalga oshirilganda edi, u holda mashina validagi nobalanslik minimumga tushirilgan va turg'unlik buzilmas edi.

Kichik turtkilar sistema turg'un ishlashining izdan chiqarishiga sabab bo'lmasliklari kerak. Shuning uchun sistema kichik turtkida turg'un bo'lishi shart yoki boshqacha ifodalaganda statik turg'un bo'lishi shart

Statik turg'unlik – sistemada sodir bo'ladigan kichik turtkilar ta'sirida sistemaning o'z-o'zidan o'zining dastlabki yoki unga yaqin bo'lgan rejimga qaytib kelish xususiyatidir. Sistema katta turtkilarga turg'un, ya'ni dinamik turg'unlikka ega bo'lishi shart.

Dinamik turg'unlik – sistemada sodir bo'ladigan katta turtkilar ta'sirida sistemaning o'z-o'zidan dastlabki va unga yaqin bo'lgan holatga qaytib kelish xususiyatidir.

Natijaviy turg'unlik – bu elektr sistemasi holatining o'ziga xos xususiyati bo'lib, dastlabki rejimning turg'unligi buzilgandan keyin, sinxron ishlashning tiklanishi va sistemaning mustaqil sinxron holatda

bo'lishidir. «Mustaqil tiklanish» ifodasi generatorlarning rejim xususiyatlari natijasida va rostlovchi qurilmalar (QAR – qo'zg'atishni avtomatik rostlagichi) ta'sirida dastlabki yoki unga yaqin bo'lgan holatga qaytishini anglatadi.

Turg'unlik muammosining ma'nosi

Asosiy muammo bu kichik og'ishlar noturg'unlikka olib keli-shining oldini olish va, eng asosiysi, parallel ishlayotgan generatorlar yoki butun elektr sistemasining turg'unligi buzilishi ehtimolining haqiqiy sabablarini aniqlash va tegishli choralarni ko'rishdan iboratdir.

Bu masalaning eng umumiy va shu bilan bir qatorda qat'iy yechimini kichik tebranishlar usulini qo'llash orqali topish mumkin.

Quyida biz ushbu usul asosida ko'rilayotgan masala – elektr sistemasining kichik og'ishlar (turtkilar) mavjud bo'lgan holdagi turg'unligi yoki statik turg'unligi masalasini o'rganamiz.

7.2. Eng sodda elektr sistemaning statik turg'unligi va statik turg'unligining zaxira koeffitsienti

Normal rejimda har bir generatorning turbinasida aktiv quvvat balansi $P_T = P_G$ ta'minlanadi va shu sababli barcha generatorlar o'zgarmas aylanish chastotasi bilan ishlaydi. Bunda mashinalarning EYUK lari orasidagi δ burchaklar o'zgarmasdan qoladi.

Ammo, elektr sistemaning yuklamasi katta va kichik og'ishlarga ega bo'ladi. Bu yerda kichik og'ishlar ta'sirini o'rganamiz. Ular elektromexanik o'tkinchi jarayonlarning (turtkilarning) vujudga kelishiga va δ larning o'zgarishiga olib keladi.

Boshqacha aytganda, rejim parametrlari ularning normal qiy-matlariga nisbatan katta bo'lmagan miqdorlarga og'adi:

$$P = P_0 \pm \Delta P, \quad U = U_0 \pm \Delta U, \quad \delta = \delta_0 \pm \Delta \delta \quad \text{va h.k.}$$

Shunday qilib, elektr sistemada nisbiy turg'un rejim bo'ladi (elektr sistemasi «nafas oladi»).

Quvvatning burchak xarakteristikalari.

Eng sodda elektr uzatish sxemasini (7.2-rasm) ko'ramiz [1].

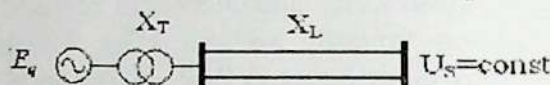
Aktiv quvvatining δ burchakka bog'liq ifodasi **burchak xarakteristikasi** deyiladi:

$$P = \varphi(\delta); \quad \delta = \angle(E_q; U) . \quad (7.1)$$

Berilgan sxema uchun:

$$P_G = \frac{E_q U_s}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta = P_m \cdot \sin \delta \quad (7.2)$$

E_q , U_s , $X_{d\Sigma}$ larning qiymatlari berilgan holda generatorning quvvati P_G δ ni funksiyasi bo'lib, bu bog'lanish egri chiziqli - sinusoida shaklidir (7.2-rasm), P_m - maksimal quvvat.

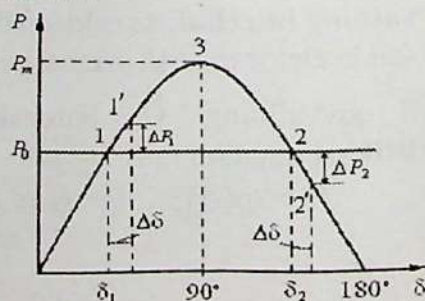


7.2-rasm. Eng sodda elektr uzatish sxemasi.

Turbina quvvati $P_T = P_0$ ning xarakteristikasi δ burchakka bog'liq emas, shu sababli to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'ladi (7.3-rasm).

Turg'un rejimda generatorning o'qida quvvatlar balansi $P_G = P_T$ saqlangandi, ya'ni turbinaning aylantiruvchi mexanik quvvati (momenti) va generatorning tormozlovchi elektromagnit quvvati (momenti) teng bo'lganda sinxron ishlash (turg'unlik) ta'minlanadi. Bunda $P_G = P_T$ sharti δ_1 va δ_2 burchaklarga mos keluvchi ikkita 1- va 2-nuqtalarda bajariladi. Biroq faqat 1-nuqtada generator turg'un ishlaydi. Buni muvozanat nuqtalaridan kichik og'ishlarni ko'rib oson ko'rsatish mumkin.

1) faraz qilaylik, qandaydir kichik ta'sir natijasida **1-nuqtada burchak** miqdori $\Delta\delta$ ga oshib **og'di**. Bunda burchak xarakteristikada ishchi nuqta 1-nuqtadan 1'-nuqtaga ko'chadi va generatorning elektromagnit quvvati ΔP_1 ga ortib, turbinaning mexanik quvvati inersiya tufayli o'zgarishsiz qoladi. $P_{G1} + \Delta P_1 > P_T$ bo'lib qolganligi sababli generatorning o'qida quvvatlar (momentlar) balansi buziladi va unda **tormozlovchi moment** hosil bo'ladi.



7.3-rasm. Eng sodda elektr uzatish sxemasining burchak xarakteristikasi.

Tormozlovchi moment ta'sirida generatorning rotori tormozlanishni boshlaydi va natijada burchak kamayib boradi, ya'ni $\Delta\delta \rightarrow 0$, va rotor momentlar muvozanati ta'minlanuvchi **1-nuqtaga qaytadi**. Bu nuqtada burchak $\Delta\delta$ ga kamaygan holda ham, shu kabi jarayon – 1-nuqtaga qaytish yuz beradi.

2) agar burchakning $\Delta\delta$ miqdorga ortishi **2-nuqtada** yuz bersa, u holda $P_{G2} - \Delta P_2 < P_T$ bo'lganligi sababli generatorning o'qida **ortiqcha tezlashtiruvchi moment** hosil bo'ladi.

Natijada rotorning aylanish tezligi ortib, u δ ning yanada ortishiga olib keladi. Bu esa o'z navbatida valdagi ortiqcha tezlashtiruvchi momentni yanada oshiradi va h.k.

Shunday qilib, **rotor va mos ravishda rejim 2-nuqtaga qaytmaydi**.

Burchak δ **kamayganda** ham shu kabi jarayon kuzatiladi va u **rotorning 1-nuqtaga qaytishi** bilan tugaydi.

3) turbina quvvati va mos ravishda liniya orqali uzatiluvchi quvvatning ortib (grafikka muvofiq) borishi bilan δ burchak ham ortib, rejim **3-nuqtaga** yaqinlashadi. Bu nuqta, bir tomondan, sinxron generator uchun $\delta_m = 90^\circ$ bo'lgan holda berishi mumkin bo'lgan, **maksimal aktiv quvvat** P_m ni ko'rsatadi.

Boshqa tomondan sinxron generatorning **turg'un va noturg'un ish sohalarini chegarasi** hisoblanadi. Boshlang'ich yoki unga yaqin bo'lgan holatning qayta tiklanishi, sinxron generator (SG) va mos elektr sistemani turg'un ishlashining asosiy ko'rsatkichiligini yodda tutish lozim.

Burchakning:

$\delta_m = 0 \div 90^\circ$ – oralig'i SG ning **turg'un ishlash sohasi**;

$\delta_m > 90^\circ$ – bo'lgan qiymatlari SG ning **noturg'un ishlash sohasi**.

Maksimal quvvat U kuchlanishning o'zgarmas qiymatiga mos kelib, uzatiluvchi **quvvatning ideal statik chegarasi** deb yuritiladi.

$$P_m = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} \quad (7.3)$$

Amaliy hisoblashlarda statik turg'unlik darajasini miqdoriy jihatdan baholash maqsadida **statik turg'unlikning zaxira koeffitsienti** tushunchasi kiritiladi:

$$K_s = \frac{P_m - P_0}{P_0} \cdot 100\% \quad (7.4)$$

K_s ning qiymati normal holatlarda 20%; avariya dan keyingi holatlarda 8% belgilanadi.

Shunday qilib, $P_T = \text{const}$ uchun statik turg'unlik quyidagi shart bajarilgan holda ta'minlanadi

$$\frac{dP}{d\delta} > 0 \quad (7.5)$$

Bu shart sinxron mashina **statik turg'unligining matematik mezon** hisoblanadi. Kichik turtkilarda turg'unlik muammosi va ma'nosi ushbu shartni bajarish uchun choralar ko'rishga keltiriladi.

7.3. Maydonlar usuli yordamida dinamik turg'unlikni tahlil qilish

Elektr sistemasi iste'molchilarni elektr energiya bilan nafaqat rejim parametrlarining kichik o'zgarishida, balki uning keskin o'zgarishlarida ham uzluksiz va turg'un ta'minlashi shart. Bular orasida eng og'iri generatorlar shinasiga yaqin joyda sodir bo'ladigan QT lar hisoblanadi. U generatorlar va yuklamalarning elektromexanik tebranishlariga sabab bo'ladi. Masalan, yuklama shinasida sodir bo'ladigan uch fazali QT ta'sirida yuklama elektr energiyasiz qolishidan tashqari, generator rotorining tezlanishi tufayli, uning tezligi o'sishi va sinxronizmdan chiqishi natijasida uning tebranishi butun sistemaga uzatilishi mumkin.

Rotorda tebranish sodir bo'lishiga asosiy sabab – turbinaning aylantiruvchi $P_0 = P_T$ va generatorning elektromagnit tormozlovchi P_G momentlari orasidagi muvozanatning buzilishidir. Sinxron generator rotorining nisbiy harakat differensial tenglamasidan ko'rinadiki, **turbinaning butun energiyasi**

$$T_J \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_0 - P_G = P_0 - \frac{E_q \cdot U}{X_{d\Sigma}} \sin \delta \quad (7.8)$$

generator rotorining tezlanishiga sarflanadi, chunki $P_G = 0$. Bu ichki EYUK E_q bilan sistema kuchlanishi U orasidagi burchak δ ning vaqt bo'yicha uzuksiz o'sishini bildiradi.

Rejim parametrlarining keskin va katta o'zgarishlarida sistema rejimini tekshirishning asosiy vazifasi – bu burchak va boshqa rejim parametr ($\delta = f(t)$, $U = f(t)$, $I = f(t)$ va boshqa) larining vaqt bo'yicha o'zgarish xarakterini aniqlash, hamda generator va butun sistemaning dinamik turg'unligini ta'minlash tadbirlarini qo'llashdir. Dinamik turg'unlikni hisoblashda qabul qilinadigan asosiy farazlar mavjud [1].

Maydonlar usulini o'rganish uchun yana eng sodda elektr sistemani ko'ramiz (7.1-rasm), ya'ni parallel zanjirli EUL ning boshida QT sodir bo'lganda rejimning dinamik buzilishi qanday sodir bo'lishini ko'rib o'tamiz [1]. QAR mavjud bo'lmagan rejimda.

Agar P_0 , Q_0 , U_s aniq bo'lsa, u holda E_q va u bilan U_s orasidagi

burchak δ_0 :

$$E_q = \sqrt{(U_s + \frac{Q_0 \cdot X_{d\Sigma}}{U_s})^2 + (\frac{P_0 \cdot X_{d\Sigma}}{U_s})^2}, \quad \delta_0 = \arctg \frac{P_0 \cdot X_{d\Sigma}}{U_s^2 + Q_0 \cdot X_{d\Sigma}}.$$

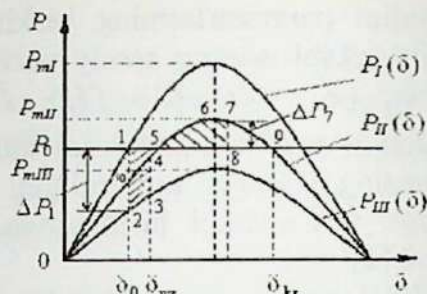
Normal rejimda sistemaning boshlang'ich rejimiga mos keluvchi burchak xarakteristikasi (7.8) munosabatdan aniqlaniladi va undagi qarshilik: $X_{d\Sigma 1} = X_d + X_T + X_L / 2$.

Faraz qilamiz, EUL ning bitta zanjiri QTni uzish bilan bir paytda o'chirildi. Bu rejimda quvvat formulasining (7.3) maxraji quyidagiga teng bo'ladi: $X_{d\Sigma 2} = X_d + X_T + X_L$, avariya dan keyingi rejim xarakteristikasining maksimumi esa:

$$P_{mII} = \frac{E_q \cdot U_0}{X_{d\Sigma II}} \quad (7.9)$$

Normal rejim $P_I(\delta)$ xarakteristikasidan avariya rejimi $P_{III}(\delta)$ xarakteristikasiga o'tish (7.4-rasm) burchakning normal rejimdagi qiymati δ_0 da sodir bo'ladi (1-nuqtadan 2-nuqtaga). Generatorning valida paydo bo'ladigan balanslashmagan moment $\Delta P_1 = P_T - P_G$ tezlashtiruvchi bo'ladi, chunki bunda turbinaning quvvati inersionligi tufayli o'zgarmasdan qolib, generatorning tormozlovchi quvvati kamayadi. Natijada rotor tezlashadi va uning tezligi sinxron tezlikka nisbatan kattalashib boradi.

7.4- rasm. Maydonlar usulini tushuntirishga doir. Sistemaning normal $P_I(\delta)$, avariya dan keyingi $P_{II}(\delta)$ va avariya paytidagi $P_{III}(\delta)$ ishlash rejimlari uchun quvvatning burchakli xarakteristikallari.



Burchak uzluksiz kattalashib boradi va 3-nuqtada QT uzilib sistemaning rejimi avariya dan keyingi rejim $P_{II}(\delta)$ xarakteristikasining 4-nuqtasiga o'tadi.

4-nuqtada $\Delta P > 0$, ya'ni $P_T > P_G$ bo'lganligi sababli rotorning tezlashishi davom etib, generatorning rejimi II-xarakteristika bilan aniqlaniladi. Tezlashtiruvchi moment ta'sirida rejim ketma-ket tarzda 5, 6, 7-nuqtalardan o'tib boradi.

5-nuqtadan boshlab generator o'qida ortiqcha tormozlovchi moment paydo bo'ladi, chunki bu nuqtadan keyin $\Delta P < 0$, ya'ni $P_T < P_G$ va 7-nuqtada rotorning nisbiy harakati tugaydi va uning tezligi yana sinxron tezlikka tenglashadi. Bu nuqtada rejim noturg'un, chunki $\Delta P < 0$ ($P_T < P_G$) bo'lganligi sababli generator valida tormozlovchi xarakterga ega bo'lgan ortiqcha quvvat ustunlik qiladi va uning ta'sirida burchak kamaya boshlaydi, generatorning rejimi ketma-ket tarzda 7, 6, 5, 4, 10-nuqtalar bilan aniqlanilib, avariya dan keyingi II-xarakteristika bo'ylab pastga yo'naladi.

Shunday qilib, jarayon tebranuvchan bo'ladi va doimo so'nib boradi.

Rotor 2-nuqtadan 3-nuqttagacha bo'lgan oraliqda tezlashadi va 5-nuqtadan 7-nuqttagacha bo'lgan oraliqda tormozlanadi. Shuning uchun 1-2-3-4-5 maydon **tezlanish maydoni**, 5-6-7-8 maydon esa **tormozlanish maydoni** deyiladi. 5-6-7-9-8-5 maydon **mumkin bo'lgan tormozlanish maydoni** deyiladi. Rotor bir nechta tebranishlardan so'ng 5-nuqtaga qaytadi. Bunday rejim **dinamik turg'un rejim** deyiladi.

Agar 1-2-3-4-5 maydon chegarasida rotor olgan energiyasini 5-6-7-9-8-5 maydon chegarasida qisman sarflasa, qolgan energiya hisobiga u 9-nuqtadan o'tib ketadi va tezlanishini davom ettiradi.

Burchak hamma vaqt o'sib boradi. Bunday rejim noturg'un rejim deyiladi.

Dinamik o'tkinchi jarayon turg'un bo'lishi uchun tezlanish maydoni mumkin bo'lgan tormozlanish maydonidan kichik bo'lishi shart. Ya'ni rotorning tezlanishda olgan qo'shimcha kinetik energiyasi tormozlanish davrida to'laligicha sarflanishi lozim. Shunday qilib, **dinamik turg'unlik saqlanishi** uchun quyidagi **shart** bajarilishi lozim

$$S_{TORM} > S_{TEZ} \quad (7.10)$$

bu yerda,

S_{TORM} – **mumkin bo'lgan tormozlanish maydoni**, chunki bu maydon chegarasida ortiqcha energiya tormozlanishga sarflanadi;

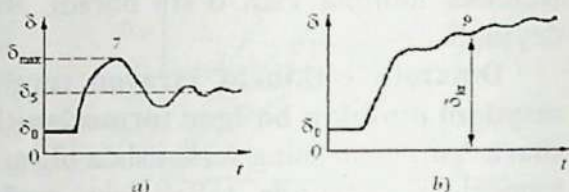
S_{TEZ} – **tezlanish maydoni**.

(7.10) shartdagi maydonlar rotorning tormozlanish va tezlanishga sarflanadigan energiyalar $A_{TORM} > A_{TEZ}$ ga mos bo'lganligi uchun, ko'rib chiqilgan jarayon energetik hisoblanadi. Turg'unlikni aniqlashning bu usuli **maydonlar usuli** yoki **maydonlar prinsipi** deb yuritiladi.

Nosimmetrik yoki uzoqlashgan QT uchun dinamik turg'unlikning buzulish jarayonini yana bir bor ko'rib o'tamiz va shu misolda burchakning vaqt bo'yicha o'zgarish xarakteristikasi $\delta = f(t)$ ni quramiz.

Liniyaning boshlanishida nosimmetrik qisqa tutashuv sodir bo'ldi deb faraz qilaylik. Paydo bo'lgan $\Delta P_1 = P_T - P_G$ quvvat orttirmasi ta'sirida rotor tezlashadi (7.4-rasm). 3-nuqtada qisqa tutashuv uzilgandan keyin rejim avariya dan keyingi 4-nuqtaga o'tadi va inertsiya tufayli rotor tezligining ortib borishi olingan kinetik energiya tormozlanish hisobiga to'liq sarflanib bo'lgan 7-nuqttagacha davom etadi. Biroq 7-nuqtada $\Delta P_7 = P_T - P_G < 0$ va rotor validagi tormozlovchi moment ortiqcha bo'lganligi sababli rejim noturg'un bo'ladi. 7-nuqtada rotorning nisbiy tezligi nolga teng, ya'ni uning absolyut tezligi yana sinxron tezlikka tenglashadi. Ortiqcha tormozlovchi moment ta'sirida burchak kamaya boshlaydi va generatorning rejimi avariya dan keyingi II-rejim xarakteristikasi bo'ylab ketma-ket 7-6-5-4-10 va undan pastki nuqtalarga mos keluvchi rejimlar bilan aniqlanadi.

7.5- rasm. $\delta=f(t)$
bog'lanishlar: sistemaning
turgun (a) va noturgun (b)
ishlashida.



Agar rotorning 1-2-3-4-5-1 nuqtalar bilan chegaralangan maydon bilan belgilanuvchi tezlanishida olgan qo'shimcha energiyasi 5-6-7-9-8-5 maydonda tormozlanishga sarflanuvchi energiyadan kichik bo'lsa, dinamik jarayon turg'un bo'ladi. Aks holda generator turg'unligini yo'qotadi.

Bu tebranuvchan «tezlanish-tormozlanish» jarayoni davom etadi va turg'unlik saqlangan rejimda burchakning vaqt bo'yicha o'zgarish amplitudasi davrdan-davrga kichiklashib borib, 5-nuqtada yangi normal rejim o'rnatiladi. Bunda burchakning vaqtga bog'liq holda o'zgarish jarayoni $\delta = f(t)$ 7.5,a-rasmda tasvirlanganidek ko'rinishda bo'ladi. Bu rasmdagi nuqtalar 7.4-rasmdagiga mos keladi, chunki burchak δ rotor bilan chambarchas bog'langan bo'lib, uning tebranishini burchak xarakteristikasidan aniqlash va $\delta = f(t)$ bog'lanishni o'rnatish mumkin, ya'ni dinamik turtki natijasida turg'unlikning saqlanishini, yoki uning yo'qolishini aniqlash mumkin.

9-nuqta – **kritik nuqta** deyilib, unga **chegaraviy burchak** δ_{kr} mos keladi. 9-nuqtaning noturg'unligi shu bilan aniqlanadiki, rotorning kichkina og'ishi ham rotorning tormozlanishiga yoki δ burchakning uzluksiz o'sishiga olib keladi (7.5,b-rasm).

Shunday qilib, **maydonlar usuli** katta turtkilarda turg'unlikni aniqlaydigan **energetik usul** bo'lib, u rotorning tezlanishida to'plovchi va tormozlanishida sarflovchi energiyalarni aniqlashga asoslangan.

7.4. Natijaviy turg'unlikni hisoblash tartibi

Jarayonlarning matematik ifodalanishi o'zgaruvchilarning oniy qiymatlarini bog'lovchi differensial tenglamalar (Park-Gorev tenglamasi) yoki ko'riladigan o'zaruvchilarning oniy qiymatlarini bog'lovchi differensial va algebraik tenglamalarni ishlatishga asoslangan. Bu holatlarning har birida hisobiy sxema parametrlari chastotaga bog'liq bo'lib o'zgaras yoki o'zgaruvchan bo'ladi.

Tenglamalar sistemasini yechishning birinchi bosqichida sistemaning biron bir nuqtasi kuchlanishiga keltirilgan asinxron ishlovchi generatorlar sirpanishi va tok taqsimlanishi aniqlanadi.

Ikkinchi bosqichda esa asinxron ishlovchi sistema qismlarini resinxronlashtirish imkoniyatlari aniqlanadi.

Hisoblashlarning ikkala bosqichi ham ketma-ket yaxlitlash usuli orqali amalga oshiriladi.

Natijaviy turg'unlik hisoblari qiyin, shuning uchun EHM ni qo'llash talab etiladi.

7.5. Yuklamalarni sistema turg'unligiga ta'siri

Elektr energiyasi iste'molchilari o'z tarkibi va xarakteriga ko'ra turlichadir: sanoat korxonalari, transport, qishloq xo'jaligi iste'molchilari, kommunal-maishiy yuklama va boshqalar [1].

Iste'molchilarning eng ko'p tarqalgan turi aktiv va reaktiv quvvat iste'mol qiluvchi asinxron motor(dvigatel)lardir. Maishiy-kommunal yuklamasi asosan aktiv quvvatni iste'mol qiladi.

Yuklamalar 1) tarmoqqa ulanganda, 2) ularning ish sharoitlari o'zgarganda yoki 3) sistema rejimining buzilishlarida o'tkinchi jarayonlar yuz beradi. Bu o'tkinchi jarayonlarda yuklamaning 1) reaksiyasini yoki 2) o'zini tutishini va 3) ushbu sharoitlarda elektr sistema rejimlariga ta'sirini o'rganish zarur.

Bunda, nafaqat alohida yuklamalar, balki yirik podstantsiyaga, yuqori kuchlanish halqasiga, elektr uzatish liniyasiga va h.k.larga ulangan yuklamalar tuguni, ya'ni yuklamalar guruhi ko'riladi.

Statistik ma'lumotlarga ko'ra iste'molchilarning nisbati:

- kichik asinxron motorlar - 34% ;
- yirik asinxron motorlar - 14% ;
- sinxron motorlar - 10% ;
- yoritish - 25% ;
- to'g'rilagichlar, pechlar - 10% ;
- tarmoqlardagi isroflar - 7%.

Bundan ko'rinib turibdiki, sanoat yuklamasining ko'p qismi asinxron bo'lib, uning o'tkinchi jarayonlarda o'zini tutishi sistema rejimlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Elektr energiyasi yuklamalari rejim parametrlari (U va f) ning o'zgarishida o'zlarini turlicha tutadi. Ularning o'zgarishidagi

yuklamaning rejimini miqdor jihatdan baholash uchun iste'molchi xarakteristikasi degan tushuncha kiritilgan.

Iste'molchi xarakteristikalari deb, ular iste'mol qiluvchi aktiv va reaktiv quvvatlarni, aylantiruvchi moment yoki tokni kuchlanish yoki chastotaga bog'liqligi tushuniladi:

$$P, Q, M = f(U) \text{ yoki } P, Q, M = \varphi(f) \quad (7.12)$$

Xarakteristikalar ikki turga – statik va dinamik xarakteristikalariga bo'linadi.

Statik xarakteristika deb, quvvat (moment, tok)ni turg'un rejimga tegishli deb hisoblasa bo'ladigan, sekin o'zgarishlarida olingan kuchlanish (yoki chastota)ga bog'lanishga aytiladi, ya'ni:

$$P = f(U), \quad Q = f(U), \quad P = \varphi(f), \quad Q = \varphi(f) \text{ va h.k.}$$

Dinamik xarakteristika deb, xuddi shunday, faqat rejimni tez o'zgarishlarda parametrlarni vaqt bo'yicha o'zgarish tezligini hisobga olgan holda olingan bog'lanishga aytiladi:

$$P = \varphi(U, f, \dots) \text{ va h.k.} \quad (7.13)$$

Asinxron yuklama va uning turg'un ishlash me'zoni

Asinxron motor yuklama sifatida aktiv va reaktiv quvvatlarni iste'mol qiladi. Shartli ravishda aktiv quvvat aylantiruvchi momentni hosil qilishga, reaktiv quvvat esa mashinaning magnit maydonini hosil qilishga sarf bo'ladi deb hisoblash mumkin.

Aylanuvchan qism (rotor) ning mavjudligi motordagi elektromagnit va mexanik jarayonlarni birgalikda o'rganishni talab etadi. Shu sababli, asinxron motorning **sirpanishi** mashinaning kompleks parametri bo'lib, uni ham statik, ham dinamik rejimlarda xarakterlaydi. Asinxron motorning statik va dinamik xarakteristikalari turlicha. Bu farq motorning sirpanishi tez o'zgarganda, erkin toklarning hosil bo'lishi bilan shartlanadi.

Asinxron motorning statik xarakteristikalari

Asinxron motorning soddalashtirilgan Γ -simon almashlash sxemasi (2.4-rasm) va sirpanishining (2.5) formulasidan foydalanamiz. Bunda statordagi isroflarni tarmoqqa tegishli deb olamiz. Shuningdek, po'latning magnitlanishi bilan bog'liq aktiv quvvat isrofini ham e'tiborga olmaymiz.

Odatda kichik va o'rta quvvatli asinxron motorlar uchun $S=0,03 \div 0,05$, katta quvvatli motorlar uchun $S=0,01$.

Almashlash sxemasi bo'yicha asinxron motor iste'mol qiluvchi aktiv quvvat aniqlanadi:

$$P = I^2 \cdot \frac{R}{S} = \frac{U^2 \cdot R \cdot S}{(X_s \cdot S)^2 + R^2} \quad (7.14)$$

$P = f(S)$ xarakteristikasi 7.6-rasmda keltirilgan ko'rinishda bo'ladi. Odatda, bu xarakteristika ishchi mexanizmning tormozlash xarakteristikasi P_{Tor} bilan to'ldiriladi. Ma'lumki, asinxron motorning differensial tenglamasi:

$$T_D \frac{dS}{dt} = P - P_{Tor}, \quad (7.15)$$

bu yerda T_D – motorning ishchi mexanizm bilan birgalikdagi inertsiya doimiysi,

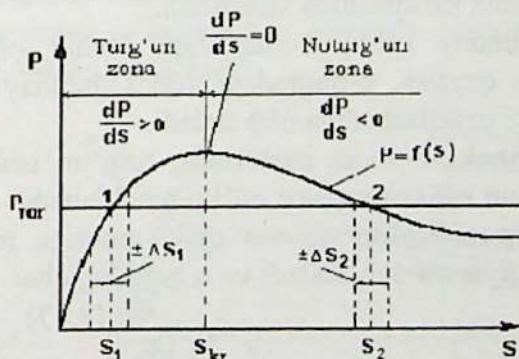
P, P_{Tor} – motorning aylantiruvchi va ishchi mexanizmning tormozlovchi momentlari.

Motor validagi aylantiruvchi moment va ishchi mexanizmdagi tormozlovchi momentlar teng, ya'ni $P = P_{Tor}$ bo'lishi, **asinxron motorning turg'un rejimning asosiy shartidir**. U holda

$$\frac{dS}{dt} = \frac{P - P_{Tor}}{T_D} = 0. \quad (7.16)$$

$P = P_{Tor}$ bo'lishi, $S = const$, ya'ni sirpanish o'zgarmas bo'lgan turg'un ish rejimini xarakterlaydi. Bu rejim 1- va 2-nuqtalarda (7.6-rasm) bo'lishi mumkin.

7.6- rasm. Asinxron motorning elektr magnit aylantiruvchi momenti.



1) faraz qilaylik, 1-nuqtada sirpanish S_1 (7.6-rasm). Sirpanishning musbat orttirmasida asinxron motorning aylantiruvchi momenti P ishchi mexanizmning tormozlovchi moment P_{Tor} dan katta, ya'ni $\Delta P = P - P_{Tor} > 0$ bo'lib, valdagi ortiqcha momenti aylantiruvchi xarak-

terga ega bo'ladi. Uning ta'sirida rotor tezlashadi, sirpanish kamayadi va rejim 1-nuqtaga qaytadi.

2) agar ushbu 1-nuqtada sirpanishning orttirmasi manfiy $-\Delta S_1$ bo'lsa, u holda asinxron motorning aylantiruvchi momenti P ishchi mexanizmning tormozlovchi momenti P_{Tor} dan kichik, ya'ni $\Delta P = P - P_{Tor} < 0$ bo'lib, valdagi ortiqcha moment tormozlovchi xarakterga ega bo'ladi. Uning ta'sirida rotor sekinlashadi, sirpanish o'sib boradi va motorning rejimi 1-nuqtaga qaytadi.

3) endi faraz qilaylik, dastlabki rejim 2-nuqtada bo'lib, sirpanish musbat orttirma olsa, motorning aylantiruvchi momenti P ishchi mexanizmning tormozlovchi momenti P_{Tor} dan kichik, ya'ni $\Delta P = P - P_{Tor} < 0$ bo'lib qoladi va uning ta'sirida rotor tormozlanib, sirpanish ortib boradi. Bu esa, o'z navbatida, motorning aylantiruvchi momenti P ni yanada kamayishiga olib keladi va h.k. shu tariqa 2-nuqtadan uzluksiz uzoqlashish kuzatiladi.

4) agar orttirma manfiy bo'lsa, motorning aylantiruvchi momenti P tormozlovchi moment P_{Tor} dan katta, ya'ni $\Delta P = P - P_{Tor} > 0$ bo'lib qoladi va uning ta'sirida rotor tezlashib, sirpanish kamayib boradi. Bu esa, o'z navbatida, motorning elektr magnit quvvati P ni yanada ortishiga olib keladi va rejim 1-nuqta tomon yo'nalishida ketadi. Boshqacha qilib aytganimizda, bu vaziyatda ham turg'un rejim nuqtasidan uzoqlashish kuzatiladi.

Shunday qilib, 1-nuqtadagi kichik orttirmada rejim dastlabki nuqtaga qaytadi, 2-nuqtadagi xuddi shunday orttirma esa bu nuqtadan uzluksiz uzoqlashishga olib keladi.

Demak, 1-nuqta motorning turg'un ishlash nuqtasi, 2-nuqta esa noturg'un ishlash nuqtasi bo'lib hisoblanadi.

Sirpanishning quvvat maksimumiga mos keluvchi qiymatining **kritik qiymati** deb ataladi va u quyidagicha:

$$S_{cr} = \frac{R}{X_s} \cdot (7.17)$$

Motor quvvatining (moment) maksimumi quyidagicha aniqlanadi: $P_m = \frac{U^2}{2X_s} \cdot (7.18)$

Sirpanishning $S < S_{kr}$ o'zgarish intervali **turg'un ishlash intervali**, $S > S_{kr}$ bo'lgan interval esa, **noturg'un ishlash intervali** hisoblanadi.

$P = f(S)$ xarakteristkaning maksimumi S_{kr} sirpanish bilan aniqlanadi.

Shunday qilib, **asinxron motorning turg'un ishlash mezon**

$$\frac{dP}{dS} > 0. \quad (7.19)$$

Shuni qayd etish lozimki, **kritik sirpanish kuchlanishga bog'liq bo'lmasdan, faqat mashinaning parametrlariga bog'liqdir.**

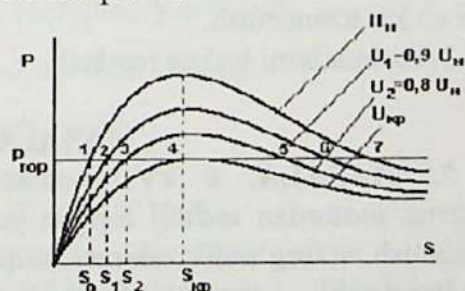
Motorning $P = f(S)$ **elektr magnit xarakteristikasiga** asosan,

kuchlanish pasayganda uning maksimumi kuchlanishning kvadratiga proporsional ravishda, bir xil kritik sirpanishda, kamayadi (7.7-rasm). Bunda motorning ishchi sirpanishi o'sib boradi va aylanish tezligi mos ravishda kamayadi.

Motor elektr magnit quvvatining maksimumi ishchi mexanizmning tormozlovchi quvvatiga teng bo'lish rejimiga mos keluvchi kuchlanish U_k **kritik kuchlanish** deb ataladi. Ushbu nuqtaga $P = f(S)$ grafikda (7.7-rasm) 4-nuqta mos keladi va $S = f(U)$ bog'lanishda $U_4 = U_{kr}$.

Kuchlanishni yanada pasayishi motorni to'xtab qolishiga olib keladi, chunki motor erishayotgan aylantiruvchi moment, motorning tormozlovchi momentidan kichik bo'lib qoladi.

7.7-rasm. Mashina shinalarida kuchlanish o'zgarganda motorning aylantiruvchi momenti o'zgarishi.



7.6. Elektr sistemadagi o'tkinchi jarayonlarining sifati va turg'unligini oshirish chora tadbirlari

Elektr sistemadagi o'tkinchi jarayonlarining sifati va turg'unligini oshirish chora tadbirlari ikkiga: asosiy va qo'shimcha tadbirlarga bo'linadi. Bundan tashqari turg'unlikni oshiruvchi, me'yorsiz rejim davomiyligini kamaytirish yoki ishonchlilikni oshiruvchi bir qancha

rejim tadbirlari ham mavjud. Rejim tadbirlari shaxs yoki avtomatik ishlovchi qo'shimcha qurilmalarini qo'llash talab etadi.

Asosiy tadbirlar sistemaning asosiy elementlarini parametrlarini yaxshilash va turg'unlikni oshirish uchun qo'llaniladi.

1. Generatorning reaktiv qarshiligini (X_d) kamaytirish. Bu tadbir rostlanmaydigan generatorlar sistemalarda statik turg'unlikni oshiradi.

2. Qarshilik X'_d ni kamaytirish. Dinamik xarakteristika amplitudasini oshishiga olib keladi.

3. Kuchlanishni tez o'sishi va uyg'otishning yuqori cho'qqisi. Sistemaning dinamik turg'unligini oshishiga olib keladi.

4. Generatorlarning doimiy inersiyasini oshirish. Shikastlanishni o'chirish vaqtini kamaytirishga olib keladi.

5. Sinxron kompensatorlar va gidrogeneratorlarda dempfer g'altak qo'llash. Bu sinxronlashtirish va resinxronlashtirishda tebranishlarning so'nishiga olib keladi.

Qo'shimcha tadbirlar

1. Transformatorlar neytrallarini aktiv qarshilik orqali yerga ulash. Turg'unlikni oshirish uchun aktiv qarshiliklar parallel yoki ketma-ket ulanadi. Transformator neytraliga ulanadigan qarshilikning qiymatini to'g'ri tanlash shikastlanish rejimi xarakteristikasining amplitudasi oshishiga olib keladi (nosimmetrik qisqa tutashuvlarda), bu tormozlanish maydonining kengayishiga olib keladi, ya'ni turg'unlik shartini oshiradi.

2. Shikastlanish paytida va uni o'chirishdan keyingina generatorlarni elektr tormozlash.

3. Turbinalarni tezkor rostlash.

MASALALAR

7.1-MASALA. 6 kV kuchlanishdan oziqlanuvchi va to'rtta asinxron motordan tashkil topgan yuklama (7.8,a-rasm) uchun kritik kuchlanish va turg'unlik zahirasi aniqlansin.

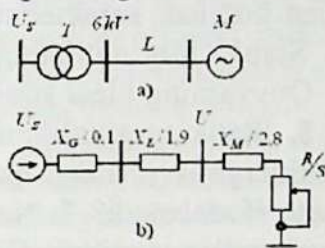
Dastlabki ma'lumotlar: sistema (S); motor (M): $P_n = 4 \times 0,8 \text{ MVt}$; $U_{nom} = 6,3 \text{ kV}$; $M_{max} = 2,2$; $M_{0*} = 0,75$; $\cos \varphi = 0,9$; transformator (T): $S_n = 40 \text{ MVA}$; $U_{n.N} = 6 \text{ kV}$; $u_k = 10,5 \%$; liniya (L): $\ell = 6 \text{ km}$; $X_0 = 0,319 \text{ Om/km}$

Yechish: Motorli yuklama va transformatorning $6,3 \text{ kV}$ kuchlanish pog'onasiga keltirilgan qarshiliklarini dastlabki hisobini bajarimiz:

$$X_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{6,3^2}{40} = 0,1 \text{ Om}, \quad X_L = X_0 \cdot \ell = 0,319 \cdot 6 = 1,9 \text{ Om}.$$

Motor sochilishining (S) induktiv qarshiligi:

7.8-rasm. Tadqiq qilinayotgan elektr sistema: a) elektr sxemasi; b) almashlash sxemasi.



$$X_M = \frac{U_n^2}{2 \cdot P_{\max}} = \frac{U_n^2}{2 \cdot P_n \cdot M_{\max}} = \frac{6,3^2}{2 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 2,2} = 2,8 \text{ Om}.$$

Motorlar dastlabki rejimda iste'mol qiladigan aktiv quvvat:

$$P = M_{0*} \cdot P_n = 0,75 \cdot 4 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ MVt}.$$

Motor rotorining dastlabki rejimdagi aktiv qarshiligini aniqlaymiz:

$$P = \frac{U_n^2 \cdot R/S}{X_M^2 \cdot (R/S)^2}, \rightarrow 2,4(R/S)^2 - 39,69 \cdot (R/S) + 18,8 = 0; \quad R/S = 16,0 \text{ Om}.$$

Motorlar to'xtashi boshlanishi paytidagi sistemaning (kritik) kuchlanishi:

$$U_{kr} = \sqrt{2P(X_M + X_T + X_L)} = \sqrt{2 \cdot 2,4(2,8 + 0,1 + 1,9)} = 4,8 \text{ kV}.$$

Motorlar dastlabki rejimda iste'mol qiladigan reaktiv quvvat:

$$Q = I^2 \cdot X_M = \frac{P}{R/S} \cdot X_M = \frac{2,4}{16} \cdot 2,8 = 0,42 \text{ MVAR}.$$

Dastlabki rejimdagi sistema kuchlanishi:

$$\begin{aligned} U_{s0} &= \sqrt{\left(U_n + \frac{Q \cdot (X_T + X_L)}{U_n} \right)^2 + \left(\frac{P \cdot (X_T + X_L)}{U_n} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(6,3 + \frac{0,42(0,1 + 1,9)}{6,3} \right)^2 + \left(\frac{2,4(0,1 + 1,9)}{6,3} \right)^2} = 6,48 \text{ kV}. \end{aligned}$$

Kuchlanish bo'yicha turg'unlik zahirasi:

$$k_U = \frac{(U_{s0} - U_{kr}) \cdot 100\%}{U_{s0}} = \frac{(6,48 - 4,8) \cdot 100\%}{6,48} = 25,9\%.$$

Tayanch so'zlar va iboralar:

Turg'unlik, statik turg'unlik, dinamik turg'unlik, natijaviy turg'unlik, kritik nuqta, statik turg'unlik zaxirasi, maydonlar usuli, chegaraviy burchak, tormozlanish va tezlanish maydonlari, iste'molchi xarakteristikalar, statik va dinamik xarakteristikalar.

O'z-o'zini sinash savollari:

1. Turg'unlik, statik turg'unlik, dinamik turg'unlik, natijaviy turg'unliklarning ta'riflarini ayting. 2. Eng sodda elektr uzatish sxemasi uchun burchak xarakteristikasi ifodasini yozing va grafigini chizing. 3. Statik turg'unlikning zaxira koeffitsienti formulasini keltiring? 4. Quvvatning ideal statik chegarasi nimaga teng? Qayerda joylashgan? 5. Statik turg'unlikning matematik mezoni formulasini keltiring? 6. Energetik jihatdan qaraganda turg'unlik mezoni qanday tengsizlik bilan ifodalanadi? 7. Normal rejim (I), avariya keyingi rejim (II) va avariya rejimi (III) xarakteristikalarini quring va izohlang. 8. Maydonlar usulini tushuntiring. 9. Maydonlar usuli nimalarni aniqlashga asoslangan? 10. 7.4 va 7.5-rasmdagi xarakteristikalarda tezlanish, tormozlanish, mumkin bo'lgan tormozlanish maydonlarini va kritik nuqtasini ko'rsating. 11. Turg'un va noturg'un ish sohalari hamda ularning chegarasini ko'rsating. 12. Dinamik turg'unlik saqlanishi uchun qanday shart bajariladi? 13. Iste'molchi xarakteristikalar qanday bo'ladi? 14. Motor sirpanishining turg'un va noturg'un ishlash intervallarini ayting va xarakteristikada ko'rsating.

Mustaqil ish mavzulari:

1. Statik turg'unlikning amaliy me'zonlari.
2. Dinamik turg'unlik.
3. Motorli yuklamalarning ishlash turg'unligi. [1, 2]. Referat.

Test savollari:

1. Turg'unlik (barqarorlik) – bu ...

A) sistemaning biror – bir rejimi buzilgandan o'tkinchi holatini saqlash qobiliyati

B) sistemaning biror – bir rejimi buzilgandan o'zgarish holatini ushlash qobiliyati

C) sistemaning biror – bir rejimi buzilgandan so'ng yangi holatga o'tish qobiliyati

D) sistemaning biror – bir rejimi buzilgandan so'ng o'zining dastlabki holatini tiklay olish qobiliyati

2. Turg'unlikning qanday turlari mavjud?

A) sifat, tejamlilik, ishonchlilik

B) statik, dinamik, natijaviy

C) kuchaytirish, transformatsiya, o'zgartirish

D) qabul qilish, uzatish va qayta ishlash

3. Statik va dinamik turg'unlikni tadqiq qilishning tub farqi nimada?

A) o'tkinchi jarayonlarni yuzaga keltiruvchi turtki ta'sirlar diapazonida

B) elektr sistema quvvatini tanlashda

C) rejimning umumlashgan parametrlarini tanlashda

D) hisoblash aniqligini tanlashda

4. Natijaviy turg'unlik ... hollarda qoraladi.

A) rejim parametrlarining ko'p hollarda elektr sistema konfiguratsiyasini va sistema parametrlari qiymatlarining o'zgarishi bilan sodir bo'luvchi katta og'ishi

B) rejim parametrlarining dastlabki holatidan kichik og'ishi

C) dastlabki holatdan rejim parametrlari og'ishining yo'qligi

D) dastlabki rejimning qisqa vaqtli buzilishi, lekin keyin normal sinxron ishlashining tiklanishi

5. Statik turg'unlik nima?

A) kichik turtkilardan so'ng sistemaning o'zining dastlabki holatini yoki amalda unga yaqin holatini tiklash qobiliyati

B) katta turtkilardan so'ng sistemaning o'zining dastlabki holatini yoki amalda unga yaqin holatini tiklash qobiliyati

C) sistemaning katta turtkilar ta'siridan so'ng sinxron ishlashi buzilishi va keyin asinxron ishlashni tiklay olish qobiliyati

D) sistemaning o'zidan maksimal quvvatni o'tkaza olish qobiliyati

6. Dinamik turg'unlik nima?

A) kichik turtkilardan so'ng sistemaning o'zining dastlabki holatini yoki amalda unga yaqin holatini tiklash qobiliyati

B) sistemaning o'zidan maksimal quvvatni o'tkaza olish qobiliyati

C) katta turtkilardan so'ng sistemaning o'zining dastlabki holatini yoki amalda unga yaqin holatini tiklash qobiliyati

D) sistemaning kichik turtkilardan so'ng sinxron ishlashi buzilishi va keyin asinxron ishlashni tiklay olish qobiliyati

7. Natijaviy turg'unlik nima?

A) kichik turtkilardan so'ng sistemaning o'zining dastlabki

holatini yoki amalda unga yaqin holatini tiklash qobiliyati

B) katta turtkilardan so'ng sistemaning o'zining dastlabki holatini yoki amalda unga yaqin holatini tiklash qobiliyati

C) sistemaning katta turtkilar ta'siridan so'ng sinxron ishlashi buzilishi va ba'zi ruxsat etilgan shartlarga ko'ra, asinxron ishlashni tiklay olish qobiliyati

D) sistemaning o'zidan maksimal quvvatni o'tkaza olish qobiliyati

8. Rejim qachon turg'un bo'ladi? Agar ...

A) kinetik energiyadan aniqlovchi parametr bo'yicha olingan hosila manfiy bo'lsa

B) ortiqcha energiyadan aniqlovchi parametr bo'yicha olingan hosila manfiy bo'lsa

C) potensial energiyadan aniqlovchi parametr bo'yicha olingan hosila manfiy bo'lsa

D) potensial energiyadan aniqlovchi parametr bo'yicha olingan hosila musbat bo'lsa

9. Statik turg'unlik qaysi hollarda qaraladi?

A) rejim parametrlarining elektr sistema konfiguratsiyasini o'zgarishi bilan sodir bo'luvchi katta og'ishida

B) rejim parametrlarining dastlabki holatidan kichik og'ishida

C) dastlabki rejimning qisqa vaqtli buzilishi, lekin keyin normal sinxron ishlashining tiklanishida

D) dastlabki holatdan rejim parametrlari og'ishining yo'qligida

10. Statik turg'unlik masalasi nimadan iborat?

A) bir nechta noma'lumli masalani Yechishdan

B) elektr va mexanik momentlar orasidagi munosabatni aniqlashdan

C) sistema holatini differensial tenglamalar sistemai yordamida aniqlashdan

D) sistema rejimi parametrlarining tasodifan, nisbatan sekin joriy o'zgarishi paytidagi sistema holatini tahlil qilishdan

11. Statik xarakteristikalar nimani ifodalaydi?

A) turg'un va rejim parametrlari o'zgarishiga bog'liq bo'lmagan holatni

B) tez o'zgaradigan holatni

C) vaqt doimiysi o'zgarishini

D) momentlar o'zgarishini

12. Statik turg'unlikning amaliy me'zonlari qanday shartlarda bajariladi?

A) qabul qilingan cheklashlar shartida va universal bo'ladi

B) har qanday shartlarda va universal bo'ladi

C) qabul qilingan cheklashlar shartida va universal emas

D) laboratoriya shartlarida va universal bo'ladi

13. Turg'unlik zahirasi ... bilan xarakterlanadi.

A) sistema turg'unligini saqlagan holda o'zgarishlarning eng katta qiymati

B) sistema elementlarining eng ko'p soni

C) sistema quvvatining eng katta qiymati

D) sistemaning eng katta tejamlliligi

14. Statik turg'unlikning aniqlash shartlarini ko'rsating.

A) aylantiruvchi va tormozlovchi momentlar

B) rejim parametrlari tezligi va tezlanishi

C) parametrlarning katta va kichik og'ishlari

D) energetik me'zon va amaliy me'zonlar

15. Tormozlash energiyasi bilan tezlanish energiyasi o'zaro barobar bo'lgan nuqta nima deb ataladi?

A) kritik nuqta

B) boshlang'ich nuqta

C) nol inchi nuqta D) asosiy nuqta

16. Kritik nuqtaga yetganda sinxron harakatdan chiqishi ... deb ataladi.

A) turg'unlikning uzoq muddat buzilishi

B) turg'unlikning periodik buzilishi

C) turg'unlikning aperiodik buzilishi

D) turg'unlikning tebranma buzilishi

17. Sistemaning turg'unligi sharti burchak chastota va tugun kuchlanishi o'zgarmas bo'lib, quvvatdan aylanish burchagi bo'yicha olingan hosilaning... chog'ida bajariladi.

A) manfiy qiymatida

B) musbat qiymatida

C) nol qiymatida

D) cheksiz qiymatida

18. Sistemaning turg'unligi sharti quvvati o'zgarmas bo'lib, EYUK dan aylanish burchagi bo'yicha olingan hosilaning ... chog'ida bajariladi.

A) musbat qiymatida

B) manfiy qiymatida

C) cheksiz qiymatida

D) nol qiymatida

19. Og'irlashgan rejimda statik turg'unlik zahirasi qanday aniqlanadi?

A) generatorning tormozlovchi va tezlantiruvchi momentlari taqqoslanadi

B) turg'un va noturg'un rejimlar quvvatlari taqqoslanadi

C) mavjud turg'un rejim parametrlari (P_0) bilan og'irlashgan noturg'un rejim parametri (P_{kr}) taqqoslanadi

D) elektromagnit va mexanik quvvatlar qiymatlari taqqoslanadi

20. Dinamik turg'unlik ... hollarda qaraladi.

A) rejim parametrlarining dastlabki holatidan kichik og'ishi

B) dastlabki rejimning qisqa vaqtli buzilishi, lekin keyin normal sinxron ishlashining tiklanishi

C) rejim parametrlarining elektr sistema konfiguratsiyasini va sistema parametrlari qiymatlarining o'zgarishi bilan sodir bo'luvchi katta og'ishi

D) dastlabki holatdan rejim parametrlari og'ishining yo'qligi

21. Dinamik turg'unlik masalasi qachon qaraladi? ... yuzaga kelganda

A) sistemada katta turtki (rejimning keskin o'zgarishi)

B) rejim parametrlari katta bo'lmagan og'ishlari

C) vaqtga bog'liq bo'lmagan holda rejim parametrlarining o'zgarishi

D) kuchaytirish va transformatsiya koeffitsientlari o'zgarishi

22. Dinamik turg'unlik masalasini yechishda nimalar inobatga olinadi?

A) kuchaytirish va transformatsiya koeffitsientlari o'zgarishi

B) momentlar o'zgarishi

C) vaqt doimiysining o'zgarishi

D) asosiy xarakteristikalar noxiziqiligi va rejim parametrlari o'zgarish tezligi

23. Dinamik turg'unlikni baholash nimaga ko'ra amalga oshiriladi?

A) tezlanish maydoniga

B) maydonlar usuliga

C) tormozlanish maydoniga

D) burchak xarakteristikasiga

24. Dinamik turg'unlikning me'zoni ... bilan xarakterlanadi

A) rejimi keskin o'zgarganda sistemaning dastlabki rejimini tiklash qobiliyati

B) rejim kichik o'zgarishlarda sistemaning dastlabki rejimini tiklash qobiliyati

C) tashqi ta'sirlar bo'lmaganda sistemaning sinxron ishlashini saqlash qobiliyati

D) uncha katta bo'lmagan og'ishlarga sistemaning qarshi turish qobiliyati

25. Eng sodda elektr sistema (generator shinas) uchun ixtiyoriy o'zgaruvchi kattalik?

A) shina kuchlanishi (U)

B) generator rotorining aylanish

burchagi (δ)

C) generator EYUK i (E)

D) generator quvvati (P)

26. Rejim parametrlarining keskin va katta o'zgarishlarida sistema rejimini tekshirishning asosiy vazifasi qaysi bog'lanishlar xarakterini aniqlashdan iborat?

A) $\delta = f(t)$

B) $U = f(t)$ C) $I = f(t)$

D) $\delta = f(t)$, $U = f(t)$, $I = f(t)$

27. Quvvati nisbatan katta bo'lmagan yuklamani EUL orqali ta'minlovchi stansiyaning turg'unligini tekshirish paytida, quyidagi shaklda yozilgan me'zondan foydalaniladi

A) reaktiv quvvatdan kuchlanish bo'yicha olingan hosila noldan kichik

B) quvvatdan aylanish burchagi bo'yicha olingan hosila noldan katta

C) aylanish burchagidan kuchlanish bo'yicha olingan hosila nolga intiladi

D) EYUK dan kuchlanish bo'yicha olingan hosila noldan katta

28. Statik xarakteristika (SX) nima?

A) parametrlarning o'zaro bog'lanishi ana shu parametrlar yoki ularning bir qismini vaqtga bog'liq holda olinishi

B) sistema holatining ko'rsatilishi

C) biror – bir rejim
parametrlarining uning boshqa
parametrlari va sistema parametrlari
bilan bog‘lanishi grafik yoki analitik
ko‘rsatilishi

D) sistema holatini ko‘rsatuvchi
differensial tenglamalarning yechimi

**29. Dinamik xarakteristika (DX)
nima?**

A) parametrlarning o‘zaro
bog‘lanishi ana shu parametrlar yoki
ularning bir qismini vaqtga bog‘liq
holda olinishi

B) biror bir rejim parametrlarining
uning boshqa parametrlari va sistema
parametrlari bilan bog‘lanishi analitik
ko‘rsatilishi

C) sistema holatining ko‘rsatilishi

D) sistema holatini ko‘rsatuvchi
differensial tenglamalarning yechimi

**30. Asinxron motor turg‘unligi
mezoni qanday teshiriladi?**

A) mexanik (tormozlovchi)
quvvat (R_{mex}) bo‘yicha

B) parametr S va mexanik va
elektr quvvatlar orasidagi
munosabatlar bo‘yicha

C) elektr (aylantiruvchi) quvvat
(R_{el}) bo‘yicha

D) parametr S (motor sirpanishi)
bo‘yicha

Test javoblari:

1- bob

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1
									0	1	2	3	4	5
B	D	A	D	C	A	C	B	B	D	A	C	A	A	D
1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2				
6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6				
B	C	B	C	A	C	D	B	A	D	B				

2- bob

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1
									0	1	2	3	4	5
B	A	D	D	A	C	C	B	D	A	B	C	A	D	A
1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
B	B	C	D	C	C	A	B	A	B	D	A	C	B	A
3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5
D	D	C	D	A	D	C	B	D	A	D	C	B	A	C
4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5				
6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6				
D	A	B	A	C	D	A	B	C	D	B				

3- bob

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1
									0	1	2	3	4	5
D	A	C	A	D	B	B	B	C	A	D	C	D	A	A
1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2			
6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7			
B	A	C	B	D	C	A	B	D	A	C	A			

4- bob

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1
									0	1	2	3	4	5
A	D	B	A	C	D	B	C	A	D	A	C	B	A	D
1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
C	C	B	A	D	A	C	B	A	B	A	B	A	C	B

5- bob

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1			
									0	1	2			
D	A	C	A	A	D	C	B	B	B	D	A			

6- bob

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1
									0	1	2	3	4	5
C	B	D	C	A	C	D	B	A	B	D	A	B	C	A
1	1	1	1											
6	7	8	9											
C	A	D	A											

7- bob

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1
									0	1	2	3	4	5
D	B	A	D	A	C	C	B	B	D	A	C	A	D	A
1	1	1	1	2-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
C	B	B	C	C	A	D	B	A	B	D	D	C	A	B

Adabiyotlar ro'yxati

1. Аллаев К.Р. Электромеханик ўткинчи жараёнлар. – Т.: “Молия”, 2007. – 270 б.
2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.-Л.: Энергия, 1990. – 536 с.
3. Usmonxo'jaev N., Yoqubov B., Qodirov A., Sog'atov G'. Elektr ta'minoti. – Т.: Fan va texnologiya, 2007. – 430 б.
4. Amirov S.F., Yoqubov M.S., Jabborov N.G'. Elektrotexnikaning nazariy asoslari. 1,2-qism. – Т.: O'zbekiston, 2007. – 151 б., 125 б.
5. Мелешкин Г.А. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. Моногр. – СПб.: НОУ “Центр подготовки кадров энергетики”, 2005. – 376 с.
6. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. Метод. пособие /сост.Т.Я.Окуловская, Т.Ю.Паниковская, В.А.Смирнов. – Екатеринбург: УГТУ, 1997. – 84 с.
7. Бей Ю.М., Мамошин Р.Р. и др. Тяговые подстанции. Учебник. – М.: Транспорт, 1986. – 319 с.
8. Почаевец В.С. Электрические подстанции. Учебник. – М.: Желдориздат, 2001. – 512 с.
9. Правила устройства электроустановок. – Издательство Форт, 2009. – 690 с.
10. Nazirova Z.G. O'tkinchi jarayonlar. / Kurs ishini bajarishga oid uslubiy ko'rsatma. – Т.: ТТУМИ, 2012. – 56 б.
11. Назирова З.Г. Переходные процессы. / Метод. пособие по курсовой работе. – Т.: ТаШИИТ, 2012. – 51 с.
12. Nazirova Z.G. O'tkinchi jarayonlar. / O'quv-uslubiy qo'llanma. – Т.: ТТУМИ, 2014. – 120 б.

MUNDARIJA

Kirish	3
--------------	---

1-bob. Elektr sistema, uning rejim va jarayonlari

1.1. Elektr sistema, uning elementlari va parametrlari to'g'risida umumiy tushunchalar	5
1.2. Elektr sistema rejimlari	7
1.3. Elektr sistemada o'tkinchi jarayonlar turlari, paydo bo'lishining sabablari va oqibatlari	10
Tayanch so'zlar va iboralar; o'z-o'zini sinash savollari; mustaqil ish mavzulari; test savollari	13-15

2-bob. Elektromagnit o'tkinchi jarayonlar va ularni tadqiq qilishning asosiy qoidalari

2.1. Temir yo'l transporti elektr ta'minoti sistemasida elektro-magnit o'tkinchi jarayonlar to'g'risida umumiy ma'lumotlar	19
2.2. Qisqa tutashuv turlari, ularni paydo bo'lish sabablari va oqibatlari	20
2.3. Qisqa tutashuvlarni hisoblashning vazifa va maqsadlari	22
2.4. Qisqa tutashuvlarni hisoblashdagi asosiy farazlar va hisobiy shartlar	23
2.5. Elektr sistema almashlash sxemasini qurish va uning elementlari parametrlarini hisoblash	25
2.6. Qisqa tutashuv zanjirining elementlari parametrlarini bazis shartlariga keltirish	34
2.6.1. Nomli birliklar sistemasi	35
2.6.2. Nisbiy birliklar sistemasi	37
2.7. Elektr sistema almashlash sxemasini ekvivalent o'zgartirib, eng sodda ko'rinishga keltirish	40
2.8. Ustma-ustlash va boshqa usullarni qo'llash	43
Masalalar	46
Tayanch so'zlar va iboralar; o'z-o'zini sinash savollari; mustaqil ish mavzulari; test savollari	63-64

3-bob. Simmetrik qisqa tutashuvlar va ularni hisoblash usullari

3.1. Cheksiz quvvatli shinalarga ulangan eng sodda zanjirda uch fazali qisqa tutashuv	73
---	----

3.1.1. Qisqa tutashuv tokining periodik va aperiodik tashkil etuvchilari	74
3.1.2. Aperiodik tashkil etuvchining boshlang'ich qiymati va so'nishning vaqt doimiysi	75
3.1.3. Qisqa tutashuvning zarbaviy toki	75
3.1.4. Tok va kuchlanishlarning to'liqiniy va vektor diagrammalari	78
3.1.5. Qisqa tutashuv tokining ta'sir etuvchi qiymati	79
3.2. Shikastlangan shaxobchada uch fazali qisqa tutashuv tokini boshlang'ich qiymatini hisoblash tartibi	81
3.3. Uch fazali qisqa tutashuvlarni hisoblashning amaliy usullari	81
3.4. Tortuvchi nimstansiya zanjirlaridagi qisqa tutashuv toklarini hisoblash	86
Masalalar	94
Tayanch so'zlar va iboralar; o'z-o'zini sinash savollari; mustaqil ish mavzulari; test savollari	101-102

4-bob. Nosimmetrik qisqa tutashuvlar va ularni hisoblash usullari

4.1. Simmetrik tashkil etuvchilar usulini nosimmetrik rejimlarni hisoblashda qo'llash	106
4.2. Qisqa tutashuvli zanjirlar elementlarining to'g'ri, teskari va nolinchi simmetrik ketma-ketliklar qarshiliklari	107
4.3. To'g'ri, teskari va nolinchi ketma-ketliklar uchun almashlash sxemalari	108
4.4. To'g'ri ketma-ketlikning ekvivalentligi qoidasi	114
4.5. Kompleks almashlash sxemalari	119
4.6. Ikki, bir va ikki fazali yerga qisqa tutashuvlarni amaliy usullarda hisoblash va vektor diagrammalarini qurish	120
4.7. Ochiq uchburchak sxema bo'yicha yig'ilgan transformatorlardan keyingi va tortuvchi chulg'am tomonidagi uch fazali QT	123
Masalalar	125
Tayanch so'zlar va iboralar; o'z-o'zini sinash savollari; mustaqil ish mavzulari; test savollari	129-131

5-bob. Qisqa tutashuv tokining ta'sirlari

5.1. Qisqa tutashuv tokining elektrodinamik ta'siri	136
5.2. Qisqa tutashuv tokining termik ta'siri	140
5.3. Qisqa tutashuv tokini cheklash usullari	143

Masalalar	148
Tayanch so'zlar va iboralar; o'z-o'zini sinash savollari; mustaqil ish mavzulari; test savollari	149-150

6-bob. Elektromexanik o'tkinchi jarayonlar

6.1. Elektromexanik o'tkinchi jarayonlar to'g'risida umumiy ma'lumotlar	152
6.2. Sinxron mashina o'tkinchi jarayonlarining differensial tenglamalari	155
6.3. O'tkinchi jarayonlarga va rejimlarga qo'yiladigan talablar	161
6.4. O'tkinchi jarayonlar sifati	163
6.5. Sistema rejimining mavjudlik shartlari	165
Masalalar	167
Tayanch so'zlar va iboralar; o'z-o'zini sinash savollari; mustaqil ish mavzulari; test savollari	171-172

7-bob. Elektr sistemada turg'unlik va uni tadqiq qilishning sodda usullari

7.1. Elektr sistemalarning statik, dinamik va natijaviy turg'unligi haqida tushunchalar	175
7.2. Eng sodda elektr sistemaning statik turg'unligi va statik turg'unligining zaxira koeffitsienti	177
7.3. Maydonlar usuli yordamida dinamik turg'unlikni tahlil qilish	180
7.4. Natijaviy turg'unlikni hisoblash tartibi	184
7.5. Yuklamalarni sistema turg'unligiga ta'siri	185
7.6. Elektr sistemadagi o'tkinchi jarayonlarining sifati va turg'unligini oshirish chora tadbirlari	189
Masalalar	190
Tayanch so'zlar va iboralar; o'z-o'zini sinash savollari; mustaqil ish mavzulari; test savollari	192-193
Test javoblari	198
Adabiyotlar ro'yxati	200

Nazirova Zamira Gafirovna

O'TKINCHI JARAYONLAR

Muharrirlar: A.Tilavov

A.Abdujalilov

Texnik muharrir: Y.O'rinov

Badiiy muharrir: I.Zaxidova

Musahhiha: N.Muxamedova

Dizayner: Y.O'rinov

Nash.lits. № AI 245. 02.10.2013.

Terishga 13.09.2017-yilda berildi. Bosishga 20.12.2017-yilda ruxsat etildi.

Bichimi: 60x84 1/16. Ofset bosma. «Times» garniturası. Shartli b.t. 12,75.

Nashr b.t. 11,85. Adadi 300 nusxa. Buyurtma №142.

Bahosi shartnoma asosida.

«Sano-standart» nashriyoti, 100190, Toshkent shahri,
Yunusobod-9, 13-54. e-mail: sano-standart@mail.ru

«Sano-standart» MCHJ bosmaxonasida bosildi.

Toshkent shahri, Shiroq ko'chasi, 100-uy.

Telefon: (371) 228-07-96, faks: (371) 228-07-95.



0709



«Sano-standart»
nashriyoti

ISBN 978-9943-5001-3-6



9 789943 500136