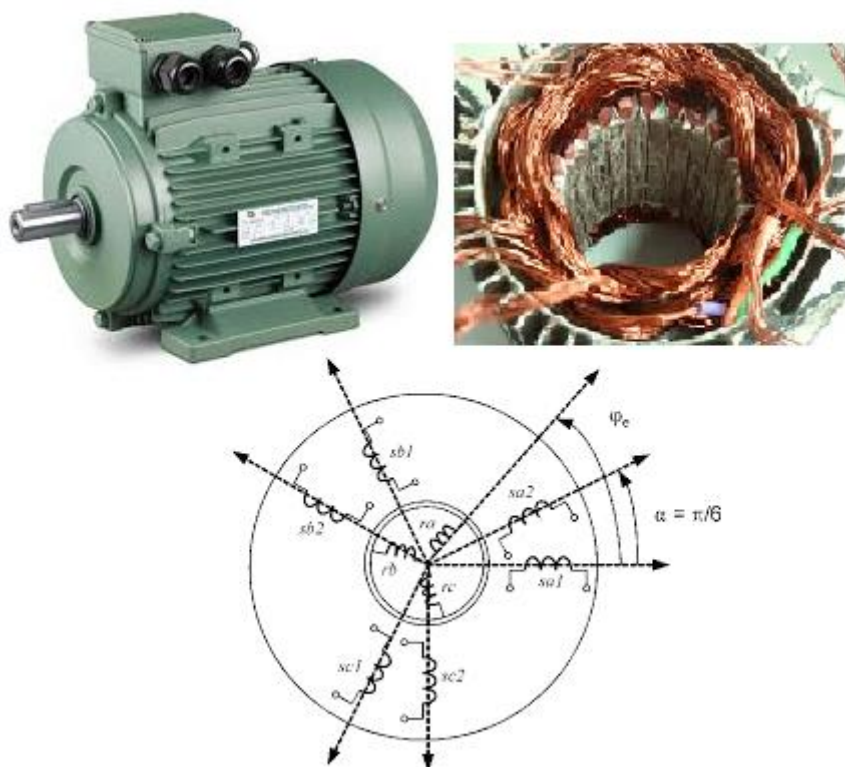


**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA‘LIM, FAN VA  
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI  
ANDIJON MASHINASOZLIK INSTITUTI**

**SIDDIKOV ILHOMJON XAKIMOVICH  
BOIXANOV ZAILOBIDDIN URAZALI O‘G‘LI**

**ASINXRON MOTOR REAKTIV QUVVAT ISTE‘MOLINI NAZORAT VA  
BOSHQARISH UCHUN BOSHQARILUVCHAN CHIQISH KUCHLANISHLI  
TOK O‘ZGARTKICHLARI**

**MONOGRAFIYA**



Andijon – 2023 yil

UDK 621.314

Ushbu monografiyada bugungi kundagi mukammal texnikalar yaratib borilishi va iqtisodning o'sishi energiya iste'molining ortib borishiga uzviy bog'liqligi, Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattalik va parametrlarini baholashda raqamli texnologiyalardan foydalanish talab etilmoqda. Ishlab chiqarishda keng qo'llanilayotgan asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini baholashda qo'llanilayotgan tok o'zgartirish qurilmalarining yuqori aniqligi, ishonchliligi, ixcham shaklga keltirilganligi, kontaktsiz o'lchash jarayonini amalga oshirish, me'yorlangan va boshqariluvchan chiqish axborotini ta'minlay olish imkoniyatlarini kengaytirish muhim vazifalardan hisoblanadi. Asinxron motor reaktiv quvvatini nosimmetrik kattaliklarini baholashda turli hil modellashtirish usullarini amalga oshirish va ular asosida birlamchi signal o'zgartirish qurilmalarining yangi, ixcham, yagona shaklli tuzilmalarini ishlab chiqish va amaliyotga tatbiq etish dolzarbdir.

Taqrizchilar:

1.A.Shukuraliyev -Andijon mashinasozlik instituti "Elektrotexnika, elektromexanika va elektrotexnologiyalar" kafedrasini mudiri

2.D.Qodirov-TIQXMMI va Milliy tadqiqotlar universiteti professori

Monografiya Andijon mashinasozlik instituti Kengashining 2023- yil

14 iyul № 11-sonli yig'ilishida ko'rib chiqilib tasdiqlangan va chop etishga ruxsat etilgan.

## KIRISH

Jahonda elektromagnit induksiya qonuniga asosan ishlovchi asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini nazorat qilish va baholashda texnik vosita va zamonaviy texnologiyalarni ishlab chiqish yetakchi o'rinni egallamoqda. Ishlab chiqarishda keng qo'llanilayotgan asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini baholashda qo'llanilayotgan tok o'zgartirish qurilmalarining yuqori aniqligi, ishonchliligi, ixcham shaklga keltirilganligi, kontaktsiz o'lchash jarayonini amalga oshirish, me'yorlangan va boshqariluvchan chiqish axborotini ta'minlay olish imkoniyatlarini kengaytirish muhim vazifalardan hisoblanadi.

Jahonda asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini nazorat va o'lchash tizimi elementlari va qurilmalarini takomillashtirish bo'yicha qator ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Shuning uchun, asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini baholash va nazort qilish, ishlab chiqilayotgan hamda iste'mol qilinayotgan reaktiv quvvat iste'molida qo'llanilayotgan turli tok o'zgartkichlari va ularning signal o'zgartirish jarayonlarini maqbul algoritmlar asosida modellashtirish muxim ahamiyat kasb etadi. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattalik va parametrlarini baholashda raqamli texnologiyalardan foydalanish talab etilmoqda. Asinxron motor reaktiv quvvatini nosimmetrik kattaliklarini baholashda turli hil modellashtirish usullarini amalga oshirish va ular asosida birlamchi signal o'zgartirish qurilmalarining yangi, ixcham, yagona shaklli tuzilmalarini ishlab chiqish va amaliyotga tatbiq etish dolzarbdir.

Respublikamizda asinxron motorlarni nazorat qilish va boshqarishda keng qo'llanilayotgan tok o'zgartkichlari murakkab magnit o'zgartirish qismiga ega, og'ir va katta o'lchamli ko'rsatkichlari bilan xarakterlanadi, boshqarish tizimi uchun murakkablik va qiyinchiliklar tug'diradi. Mikroprotsessor va elektron qayta ishlash texnikalarini me'yorlangan signal kattaliklar bilan ta'minlay olmaydilar hamda, kattaliklar bo'yicha tadqiqotlar umumiylikga ega emas, faqat asinxron motorning elektr kattaliklarinigina qamrab olish bilan chegaralangan.

Respublikamizda asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatini nazorat va boshqarish tizimlari elementlari va qurilmalarini rivojlantirish hamda amaliyotga joriy qilishga yo'naltirilgan maqsadli chora-tadbirlar keng miqyosda amalga oshirilmoqda. 2022 — 2026-yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida, jumladan « ... sanoat tarmoqlarida yo'qotishlarni kamaytirish va resurslarni ishlatish samaradorligini oshirish., ... “yashil iqtisodiyot”ga o'tish va energiya tejamkorligini ta'minlash dasturi» vazifalari belgilangan<sup>1</sup>.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son “2022 – 2026 yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida” gi Farmoni, 2017 yil 23 avgustdagi PQ-3238-son “Zamonaviy energiya samarador va energiya tejaydigan texnologiyalarni yanada joriy etish chora-tadbirlari to'g'risida” gi, 2019 yil 22 avgustdagi PQ-4422-son “Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejoychi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to'g'risida” gi Qarorlarda belgilangan vazifalarni bajarishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada hizmat qiladi.

---

<sup>1</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son «2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi Farmoni.

## **I-BOB. ASINXRON MOTOR REAKTIV QUVVATI NAZORATIDAGI TOK O'ZGARTKICHLARINI XUSUSIYATLARI**

### **1.1-§. Asinxron motor reaktiv quvvatining kattaliklarini tok o'zgartkichlari tahlili**

Elektr ta'minoti tizimida elektr energiyasini yetkazib beruvchi va iste'molchi birgalikda elektr energiyaning sifatiga juda kata ta'sir ko'rsatadi. Bilamizki, elektr energiya IES, GES, AES va turli hil muqobil (quyosh, shamol, biogaz va boshqa) manbalardan hosil qilinib iste'molchilarga uzatiladi. Elektr energiyaning asosiy iste'molchilaridan biri bu asinxron motorlar hisoblanib, u 55–60% ishlab chiqilgan elektr energiyani iste'mol qiladi. Iste'mol qilingan elektr energiyaning 25-40% ni reaktiv, qolgan qismi 60-75% ni aktiv quvvat tashkil etadi.

Agar tarmoq kuchlanish sifatisiz, uning miqdori me'yorlariy bo'lmasa asinxron motorlarning ishlash samaradorligi pasayadi. Elektr energiya sifatining yaxshilanishi energiya samaradorligini va energiya tejamkorligini oshirishga imkon beradi, shuning uchun asinxron motorlarning nosimmetrik rejimini aniqlash, uni nazorat va boshqarish fan va texnika taraqqiyotining rivojlanishining ustuvor yo'nalishlaridan biri hisoblanmoqda.

Hozirda elektr energiyasining katta qismini ishlab chiqarish korxonalaridagi kuch transformatorlari va asinxron motorlari iste'mol qiladi. Ularning ishlash tamoyillari o'zgaruvchan tok magnit maydoniga asoslangan. Bu esa o'z navbatida kuchlanishlarning sifatli bo'lishini talab qiladi. Asinxron motorning stator chulg'amidan nosimmetrik tok oqishi natijasida nosimmetrik magnit oqimlar paydo bo'lib, ular asinxron motorning ishlashiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Xozirda asinxron motorning stator chulg'amidagi nosimmetrik reaktiv quvvat iste'molini nazorat va boshqarish uchun ilg'or texnik yechimlarni ishlab chiqish zarur bo'lmoqda. Ushbu ishda tadqiq etayotgan nosimmetrik ish rejimli asinxron motorlarni reaktiv quvvat iste'molini nazorati elementlari tuzilmasi, ularning modellari va tadfqiqot algoritmi hamda dasturiy ta'minoti ishlab chiqilgan bo'lib, ulardan maqsad, asinxron motorlarni ish samaradorligini oshirish, nosimmetriklik miqdorini aniqlash, motorni himoya qilish tizimi modelini ishlab chiqish, energetik ko'rsatkichlarning nominal

qiymatlarini ta'minlash nazorati, ularning muntazam ravishda masofali va lokal nazorat qilish algoritmi va dasturiy ta'minotlari, ularni zamonaviy texnika va texnologiyalar asosida takomillashtirish tizimini yaratishdan iboratdir.

Taxlillar ko'rsatadiki, uch fazali asinxron motorning iste'mol qilayotgan reaktiv quvvati quyidagi formula orqali aniqlanadi.

$$Q_A = 3I_1^2 X_1 + 3I_0^2 X_0 + 3(I_2')^2 X_2' \quad (\text{VAr})$$

Bu yerda,  $I_0$ - salt yurish holatdagi tok.

Asinxron motorning nominal kuchlanishda iste'mol qilayotgan reaktiv quvvati quyidagi ifodadan aniqlanadi [14-17-b]:

$$Q_M = Q_0 + \beta^2 Q_c \quad (\text{VAr})$$

bu yerda,  $\beta = R/R_{nom}$  – asinxron motorning yuklanish koeffitsienti,

$Q_0$  va  $Q_c$  – salt ishlash va qisqa tutashish rejimlaridagi reaktiv quvvatlar bo'lib,  $Q_c$  ning qiymati motorning yuklama tokiga bog'liq.

Asinxron motorning pasport ma'lumotlari asosida nominal reaktiv quvvati quyidagicha topiladi:

$$Q_{nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} \operatorname{tg} \varphi_{nom} \quad (\text{VAr}) \quad (1.3)$$

bu yerda,  $\eta_{nom}$  – motorning nominal FIK;  $\operatorname{tg} \varphi_{nom} = \frac{\sin \varphi_{nom}}{\cos \varphi_{nom}}$  ga mos qiymat;  $P_{nom}$  – nominal kuchlanishdali motorning nominal aktiv quvvati.

Asinxron motorlarning salt yurish rejimida  $\cos \varphi_0 = 0,1 - 0,2$  va unga mos  $\sin \varphi_0 = 0,99 - 0,97$ . Salt yurishda po'lat o'zakdagi va mexanik isroflarni kichikligini hisobga olib,  $\sin \varphi_0 = 1$  deb olsa bo'ladi. Bunda uch fazali reaktiv quvvatni aniqlash quyidagicha amalga oshiriladi.

$$Q_0 \approx \sqrt{3} I_0 U_{nom} \quad (\text{VAr})$$

yoki (1.3) ga mos ravishda

$$Q_0 \approx \sqrt{3} I_0 U_{nom} = \sqrt{3} I_{nom} U_{nom} \cos \varphi_{nom} \frac{I_0}{I_{nom} \cos \varphi_{nom}} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} \cdot \frac{I_0}{I_{nom} \cos \varphi_{nom}}$$

Asinxron motorning reaktiv quvvatini sochilishi yuklamaga bog'liq holda quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$Q_c = (Q_{nom} - Q_o) \cdot \beta^2 = \beta^2 \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} \left( \operatorname{tg} \varphi_{nom} - \frac{I_0}{I_{nom} \cos \varphi_{nom}} \right) \quad (\text{VAr})$$

Topilgan  $Q_o$  va  $Q_c$  kattaliklarni (1.2) ga qo'yib, asinxron motorning reaktiv quvvatining quyidagi ifodasi hosil qilinadi:

$$Q_M = \frac{P \operatorname{tg} \varphi}{\eta} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} \left( \frac{I_0}{I_{nom} \cos \varphi_{nom}} + \beta^2 \cdot \left( \operatorname{tg} \varphi_{nom} - \frac{I_0}{I_{nom} \cos \varphi_{nom}} \right) \right) \quad (\text{VAr}) \quad (1.7)$$

bu yerda  $P$ ,  $\operatorname{tg} \varphi$  va  $\eta$  – asinxron motorning ma'lum yuklamasiga mos istemol qilayotgan aktiv quvvati, reaktiv quvvat va foydali ish koeffitsientlari.

Asinxron motorlarning reaktiv quvvat iste'moli ish holatida uning yuklanishiga bog'liqligi (1.7) ifodada ko'rsatilgan. Yuklanish koeffitsientini

$$\beta = \frac{P}{P_{nom}} \approx \frac{I_1}{I_{nom}} \quad (\%)$$

ekanligini hisobga olib, asinxron motorlarning reaktiv quvvati iste'molini o'zgarishi stator toki (yuklama toki) o'zgarishiga bog'liqligini ko'rish mumkin.

### 1.2-§. Asinxron motor reaktiv quvvat kompensatsiyalash usullari

Asinxron motorlarning reaktiv quvvatini kompensatsiyalash uchun reaktiv quvvat manbalaridan foydalanish elektr ta'minoti uchun samarador tadbirlardan biri hisoblanadi. Reaktiv quvvatni elektr stansiyasi generatorlaridan elektr uzatish tarmoqlari bo'ylab yetkazish hoziri kunda iqtisodiy muammolarni hamda elektr enerdiyaning sifat ko'rsatkichlarini yomonlashuviga, shunindek, yana elektr energiyasining asosiy sifat ko'rsatkichlaridan biri bo'lgan kuchlanish qiymatini nominaldan og'ishiga olib keladi. Agar  $R$  aktiv qarshilikga ega bo'lgan elektr uzatish tarmoqlari orqali  $P$  va  $Q$  quvvatlari uzatilsa, aktiv quvvat isrofi quyidagicha aniqlanadi.

$$\Delta P = I^2 R = \left( \frac{S}{U} \right)^2 R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_r \quad (\text{Vt})$$

Demak, reaktiv quvvatni elektr uzatish tarmoqlaridan uzatilishi natijasida qo'shimcha aktiv quvvat isrofi ( $\Delta P_a = \frac{Q^2}{U^2} R$ ) sodir bo'lib, uning qiymati  $Q$  ning kvadratiga to'g'ri proporsionaldir.

Aktiv va reaktiv qarshiliklari  $R$  va  $X$  bo'lgan energetik tizimi tarmoqlaridan  $P$  va  $Q$  quvvatli energiya uzatilganda kuchlanishning nominaldan og'ishi

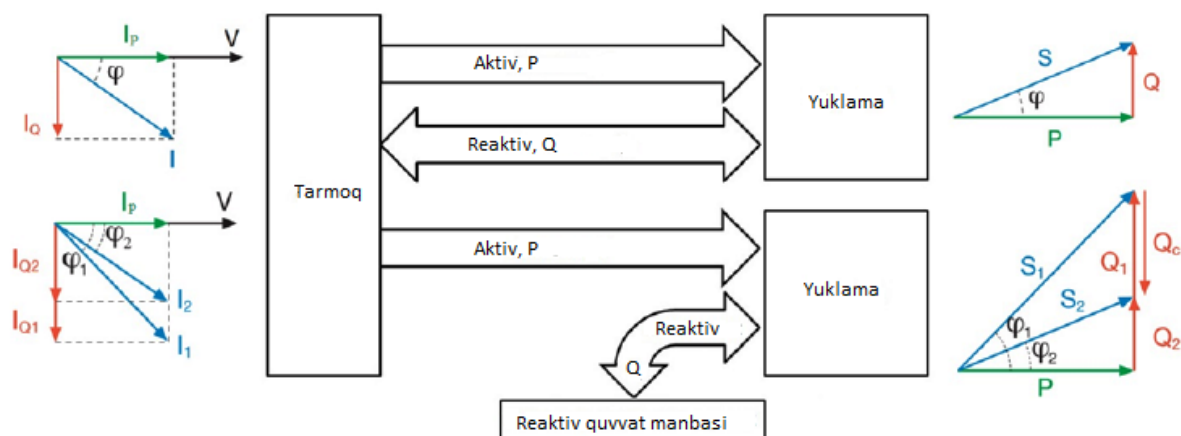
quyidagicha topiladi.

$$\Delta U = IR\cos\varphi + IX\sin\varphi = \frac{UI\cos\varphi}{U}R + \frac{UI\sin\varphi}{U}X = \frac{P}{U}R + \frac{Q}{U}X = \Delta U_a + \Delta U_r \quad (\text{V}) \quad (1.10)$$

(1.10) fo‘rmuladan ko‘rinadiki,  $\Delta U_a$  – kuchlanish tushuvi aktiv quvvat uzatilayotgan holatda;  $\Delta U_r$  – kuchlanish tushuvi reaktiv quvvat uzatilayotgan holatda.

Bundan hulosa qilish mumkinki, elektr ta‘minoti tizmi orqali reaktiv quvvatni ta‘minlash ortiqcha reaktiv ( $\Delta U_r = \frac{QX}{U}$ ) isroflarni keltirib chiqaradi.

Reaktiv quvvatni korxonada elektr iste‘molchilari yaqinida ishlab chiqarish eng samarali tadbir bo‘lib, bu natijaga reaktiv quvvatni kompensatsiyalash orqali erishish mumkin.



1.1-rasm. Asinxron motor reaktiv quvvat kompensatsiyasi va vektor diagrammasi.

Bu yerda, S, P, Q- to‘la, aktiv, reaktiv quvvat tashkil etuvchilari.

I, I<sub>a</sub>, I<sub>r</sub> – tokning to‘la, aktiv, reaktiv tashkil etuvchilari.

$S' < S$  bo‘lgani uchun reaktiv quvvatni kompensatsiyalash manbalaridan foydalanish elektr energiya ta‘minoti tizimidagi (ETT) transformatorlar soni yoki o‘rnatma quvvatini kamaytirish mumkin;  $\Gamma < I$  bo‘lgani uchun elektr energiya uzatish tarmoq simining ko‘ndalang kesim yuzasi kamayadi ya‘ni tarmoqning o‘tkazish qobiliyati ortadi, tarmoqda reaktiv quvvat uzatishdan hosil bo‘ladigan qo‘shimcha aktiv va reaktiv quvvat yo‘qolishlari sezilarli kamayadi.

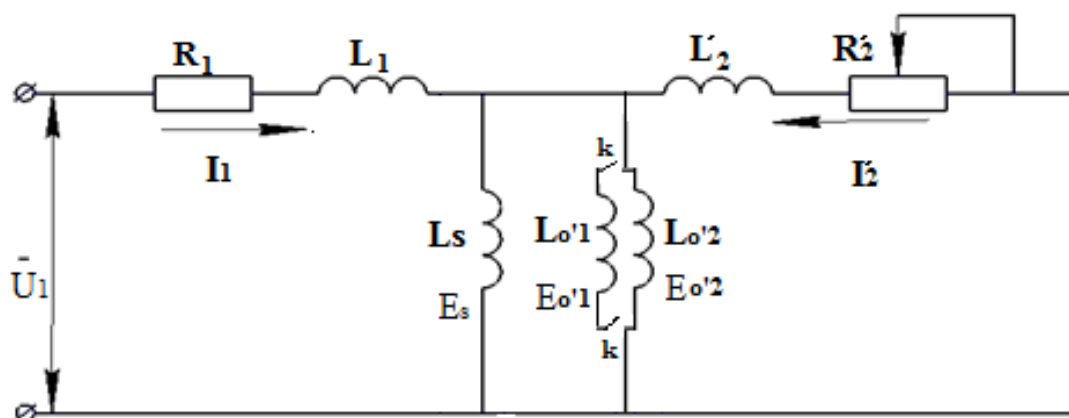
Elektr ta‘minoti tizimidan elektr energiyani qabul qiluvchilar (energiya iste‘molchilari) tomonidan iste‘mol qilinadigan aktiv quvvat foydali ishni bajaradi, elektr ta‘minoti tizimidan, shuningdek reaktiv quvvat ham iste‘mol qiladi, bu esa



magnit maydonlarni hosil qilish uchun zarur. Shuning uchun hozirgi kunda reaktiv quvvat manbalari statik kondensator baterayalari alohida o'rnatilmoqda. Tarmoq orqali uzatiladigan reaktiv quvvat o'zining reaktiv tashkil etuvchisi hisobiga tokning kuchayishiga olib keladi va tarmoqdagi quvvat isroflarini oshishiga olib keladi. Reaktiv quvvat magnit konturni (asosiy magnit oqimi) magnitlanishiga va aylanuvchi maydonlarni hosil qilishga sarflanadi.

Asinxron motorlarda sifatli elektr energiya bilan ishlash eng muhim ko'rsatkich hisoblanadi.

Asinxron motor stator chulg'ami chiqishlari  $U_1$  kuchlanishli elektr manbaiga ulansa, chulg'amdan  $I_1$  tok o'tib,  $\Phi_1$  asosiy va  $\Phi_{\sigma 1}$  sochilish magnit oqimlari hosil bo'ladi. O'lchash chulg'amli asinxron motorning T – simon almashtirish sxemasi 1.3 – rasmda keltirilgan bo'lib, almashtirish sxema asosida o'lchash chulg'amida hosil bo'ladigan EYuK topiladi.



1.2-rasm. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichli asinxron motorning T – simon almashtirish sxemasi.

T – simon almashtirish sxemaga asosan stator zanjiri uchun Kirxgofning 2 – qonuni asosida quyidagi tenglamani hosil qilamiz.

$$u_1 = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + L_\mu \frac{di_\mu}{dt} = \bar{I}_1 R_1 + \frac{d\psi_\sigma}{dt} + \frac{d\psi_1}{dt} \quad (\text{V}) \quad (1.11)$$

bu yerda,  $L_1$ ,  $L_\mu$  – mos ravishda stator chulg'ami va magnitlovchi shoxobchaniy induktivliklari;  $u_1$  – stator chulg'ami ulangan tarmoq kuchlanishi;  $i_1$ ,  $i_{1\mu}$  – stator chulg'ami va magnitlovchi shoxobchalari toklari;  $\psi_\sigma, \psi_1$  – statorning mos ravishda sochilish va asosiy ilashish oqimlari hisoblanadi.

Almashtirish sxemasiga asosan (1.11) tenglamani quyidagicha ifodalaymiz.

$$\bar{U}_1 = \bar{I}_1 R_1 + j\omega \bar{I}_1 L_1 + j\omega \bar{I}_\mu L_\mu = \bar{I}_1 L_1 + j\omega \bar{\psi}_\sigma + j\omega w_1 \bar{\Phi}_1 \quad (\text{V})$$

(1.12) tenglamadan  $\bar{\Phi}_1$  asosiy magnit oqimni topamiz:

$$\bar{\Phi}_1 = -j \frac{1}{2\pi f w_1} (\bar{U}_1 - R_1 \bar{I}_1 - j\omega L_1 \bar{I}_1) \quad (\text{Vb})$$

Asosiy magnit oqimni  $\bar{\Phi}_1$  vektor ko‘rinishidan ta’sir etuvchi  $\Phi_1$  qiymatiga o‘tamiz:

$$\Phi_1 = \frac{1}{4,44 f w_1} (U_1 - R_1 I_1 - jX_1 I_1) = \frac{1}{4,44 f w_1} (U_1 - Z_1 I_1) \quad (\text{Vb})$$

bu yerda  $Z_1 = R_1 + jX_1$  – stator chulg‘aming to‘la qarshiligi.

O‘lchash chulg‘ami stator chulg‘amiga nisbatan xuddi transformatorga o‘xshash ikkilamchi chulg‘am hisoblanib, bu chulg‘amdan  $\Phi_1$  asosiy magnit oqimi o‘tishi natijasida EYuK hosil bo‘ladi. Bu EYuK ni ta’sir etuvchi qiymati quyidagicha ifodalanadi.

$$E_{o1} = 4,44 f w_2 \Phi_1 \quad (\text{V})$$

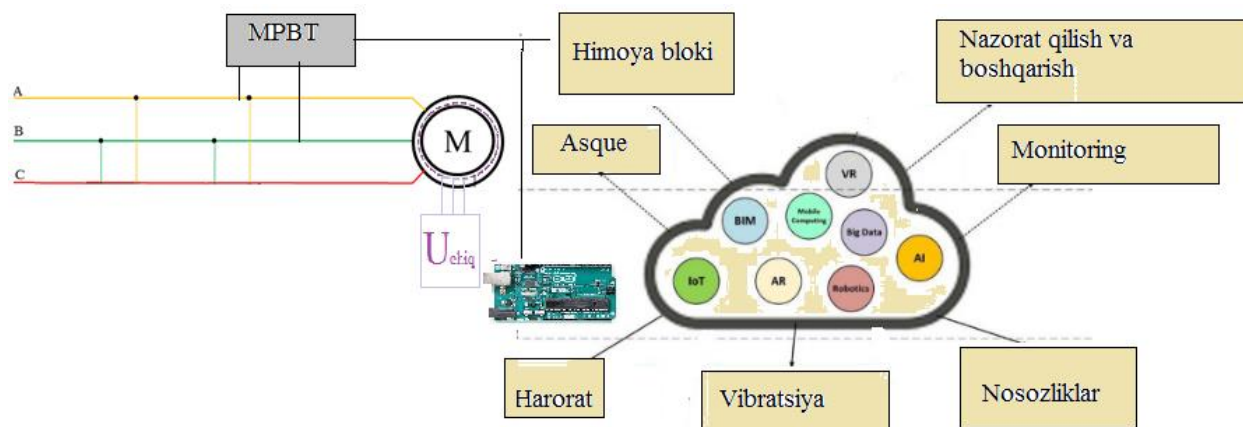
bu yerda  $w_2$  – o‘lchash chulg‘aming o‘ramlar soni.

Tok o‘zgartkichlari asosan, asinxron motor elektr ta’minoti tiziminining normal barqaror ish rejimi davrida ishlaydi. Bu rejimda ba’zi shartli chegaralar bilan tok o‘zgartkichlarini tadqiq etishda kirish tokining minimal va maksimal qiymatlari qabul qilinadi, buning uchun aniqlik sinfi  $(0,1-1,2) \cdot I_{nom}$  me’yorlanadi. Elektr jihozlar va tarmoqlardagi shikastlanishlar asinxron motor elektr ta’minoti tiziminining avariya ish rejimiga olib keladi, bu holda tok o‘zgartkichlari dinamik rejimda ishlaydi.

Asinxron motorda qisqa tutashuvlar elektromagnit tok o‘zgartkichlarini dinamik rejimlarda ishlashiga olib keluvchi asosiy sababdir. Elektromagnitli tok o‘zgartkichlarining bunday rejimlarda ishlash shartlari boshqaruv tizimi sxemalaridagi ishlash shartlaridan sezilarli farq qiladi. Agar elektromagnitli tok o‘zgartkichlarining o‘lchash maqsadida ishlatilsa odatda nominaldan oshmagan birlamchi tokda ishlashi talab etiladi, bunda asinxron motorning boshqaruv

tizimlarida qo‘llaniluvchi elektromagnitli tok o‘zgartkichlarining nominaldan ancha katta toklarda, o‘tish rejimi sharoitlarida, masalan qisqa tutashuv va shikastlanish hollarida o‘z funksiyalarini bajarishlari shart.

Asinxron motor elektr ta‘minoti tizimini normal va avariya barqaror ish rejimlari tok o‘zgartkichlarini statik ish rejimida ishlashini belgilaydi.



1.3-rasm. Asinxron motor reaktiv quvvati boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichining “Bulut texnologiya”si.

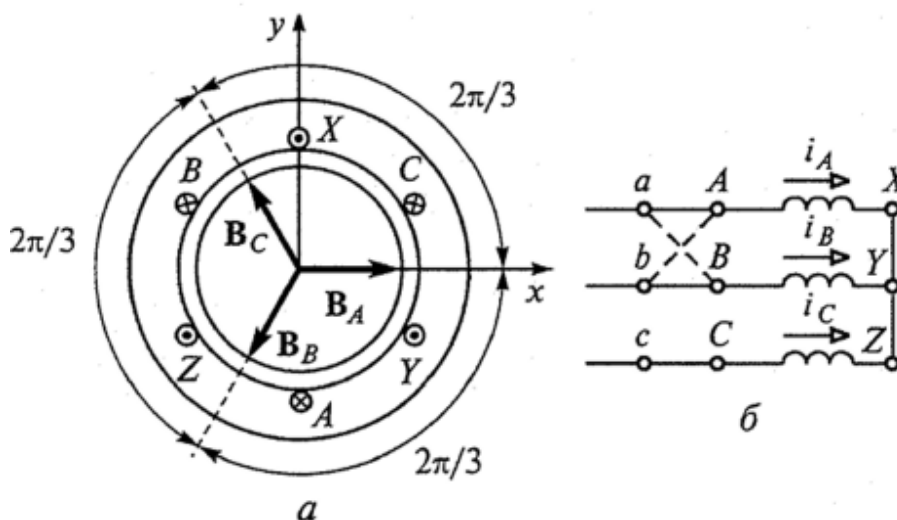
Asinxron motorlar uchun reaktiv quvvat manbalarini quvvatini tok kattaligi bo‘yicha avtomatik boshqarish bir pog‘onali yoki ko‘p pog‘onali bo‘lishi mumkin. Bir pog‘onali boshqaruvda sutkaning aniq bir vaqtida bir nechta reaktiv quvvat manbalari ulanadi yoki o‘chiriladi. Ko‘p pog‘onali boshqaruvda navbati bilan avtomatik ravishda bir nechta reaktiv quvvat manbalari bir pog‘onali boshqariluvchan yoxud belgilangan dastur bo‘yicha ma‘lum bir topshiriq asosida ulanishi yoki o‘chirilishi mumkin.

Umuman olganda magnit o‘zgartirish zanjirlari va tizimlarining an‘anaviy tadqiqot usullari uch fazali tok nosimmetriyasini e‘tiborga olmaganligi sababli belgilangan o‘zgartirish aniqligini ta‘minlay olmaydi, kattaliklar bo‘yicha tadqiqotlar umumiylikga ega emas, faqat elektr va magnit tabiatli zanjirlarning kattaliklarinigina qamrab olish bilan chegaralangan. Tadqiqotlarda nochiziqli parametrli magnit o‘zgartirish tizimlari yig‘ilgan parametrli ob‘ekt sifatida ko‘rilmoqda.

Tahil qilingan ma'lumotlardan xulosa qilish mumkinki, uch fazali asinxron motorlar iste'mol qilayotgan elektr energiya tarmoqlaridagi yuklamalarning kattalik va faza bo'yicha farq qiluvchi toklarini turliligi natijasida ularning nosimmetriyasi hosil bo'lishini o'zgartgichlarning bir va uch fazali birlamchi toklarini ikkilamchi boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi (1.3 - rasm), ishonchliligi, chiqishida me'yorlangan kattalik va yuqori aniqlikni ta'minlovchi birlamchi elementlarini yaratish va amalda qo'llashning lozimligi ushbu yo'nalishda tadqiqotlar olib borish nihoyatda zarur ahamiyat kasb etmoqda.

### 1.3-§. Reaktiv quvvat uch fazali toklarining nosimmetrik kattaliklarini asinxron motor ish rejimiga ta'sirlari

Asinxron motor statoriga berilayotgan uch fazali tok ta'siri natijasida hosil bo'lgan magnit maydonni paydo bo'lishi va uning faza hamda vaqt jihatidan o'zgarishini ko'rib chiqamiz.



1.4-rasm. Uch fazali asinxron motorning stator chulg'amini fazoviy joylashish sxemasi.

Asinxron motor statorining ichki aylanasi bo'ylab o'qlari bir – biridan fazoviy  $120^\circ$  burchakka siljigan uchta simmetrik A-X, B-Y, C-Z faza chulg'amlari joylashtirilgan. Simmetrik uch fazali kuchlanish manbaiga ulansa, toklarning simmetrik tizimi hosil bo'ladi.

$$i_A = I_m \sin \omega t \quad (A)$$

$$i_B = I_m \sin (\omega t - 120^\circ) \quad (A)$$

$$i_C = I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \quad (\text{A})$$

Bu toklar o'z navbatida magnit induksiyasining qonuni bo'yicha quyidagi ko'rinishni oladi.

$$b_A = B_m \cos \omega t \quad (\text{vb/m}^2)$$

$$b_B = B_m \cos(\omega t - 120^\circ) \quad (\text{vb/m}^2)$$

$$b_C = b_m \cos(\omega t - 240^\circ) \quad (\text{vb/m}^2)$$

Amalda, asinxron motorlar simmetrik emas, shuning uchun bu E.Yu.K kuchlanish va toklar vektorlari sistemasini fazalarining ketma-ketlik tartibi oldindan belgilanan tartibda almashinadigan simmetrik tizmlar yig'indisi bilan almashtirish mumkin.

Simmetrik tashkil etuvchilar usulidan foydalanib uch fazali o'zgaruvchan tok tarmog'ining kuchlanishini yozamiz:

$$U_A = U_{Am} e^{j\sigma A} = U_m \cdot e^{j0} + k_o U_m \cdot e^{jv} + k_p U_m \cdot e^{jk} \quad (\text{V})$$

$$U_B = U_{Bm} e^{j(\sigma B - \frac{2\pi}{3})} = U_m \cdot e^{j(-\frac{2\pi}{3})} + k_o U_m \cdot e^{j(v - \frac{4\pi}{3})} + k_p U_m \cdot e^{jk} \quad (\text{V})$$

$$U_C = U_{Cm} e^{j(\sigma C - \frac{4\pi}{3})} = U_m \cdot e^{j(-\frac{4\pi}{3})} + k_o U_m \cdot e^{j(v - \frac{2\pi}{3})} + k_p U_m \cdot e^{jk} \quad (\text{V})$$

bu yerda,  $j = \sqrt{-1}$ ,  $v \in 0 \div 2\pi$ ,  $k \in 0 \div 2\pi$

$U_A$ ,  $\sigma_A$ ,  $U_B$ ,  $\sigma_B$ ,  $U_C$ ,  $\sigma_C$  - tarmoq kuchlanish parametrlari,

$k_o$ ,  $k_p$ ,  $\kappa$  - tarmoq parametrlarining ehtimollik funksiyalari hisoblanadi.

Simmetrik holatda  $\cos \varphi = 1$  ni ta'minlash uchun, boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi tarmoq kuchlanishi fazasiga mos tushishi kerak bo'ladi.

$$U_{iA} = k_i U_m e^{-j\psi} \quad (\text{V})$$

$$U_{iB} = k_i U_m e^{j(-\psi - \frac{2\pi}{3})} \quad (\text{V})$$

$$U_{iS} = k_i U_m e^{j(-\psi - \frac{4\pi}{3})} \quad (\text{V})$$

Bu yerda,  $k_i > 1$  koeffitsienti boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi orqali aktiv quvvatni, reaktiv quvvatni va fazalar siljish burchagini aniqlaydi.

$$\psi = \pi - \arccos\left(\frac{1}{k_1}\right)$$

Trivial usulidan foydalanib faza toklarini topib olamiz.

$$I_A = I_{Am} e^{j\xi_A} \quad (\text{A})$$

$$I_B = I_{Bm} e^{j(\xi_B - \frac{2\pi}{3})} \quad (\text{A})$$

$$I_C = I_{Cm} e^{j(\xi_C - \frac{4\pi}{3})} \quad (\text{A})$$

Tarmoq kuchlanishlaridan faza toklarini burchak siljishini topamiz.

$$\varphi_A = \sigma_A - \xi_A$$

$$\varphi_B = \sigma_B - \xi_B$$

$$\varphi_C = \sigma_C - \xi_C$$

To'la quvvatni qiyidagicha aniqlab olamiz:

$$S = S_A + S_B + S_C = \sum_{D=A,B,C} \frac{U_{Dm} \cdot I_{Dm}}{2} \quad (\text{VA})$$

To'la quvvat quyidagi tashkil etuvchilarni o'z ichiga oladi.

Aktiv quvvat:

$$P = P_A + P_B + P_C = \sum_{D=A,B,C} \frac{U_{Dm} \cdot I_{Dm} \cdot \cos\varphi_D}{2} \quad (\text{Vt})$$

Reaktiv quvvat:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = \sum_{D=A,B,C} \frac{U_{Dm} \cdot I_{Dm} \cdot \sin\varphi_D}{2} \quad (\text{VAr})$$

Nosimmetrik quvvat quyidagicha aniqlanadi.

$$N = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

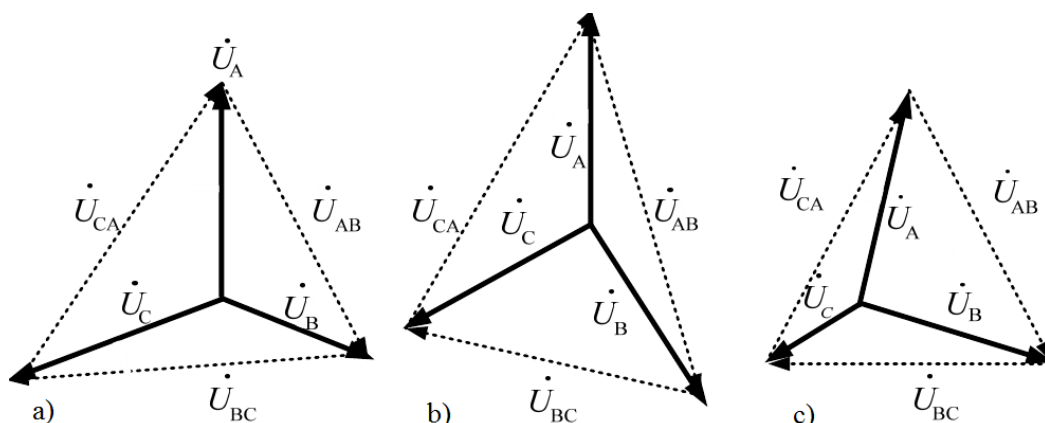
Faza toki simmetriyasini ta'minlash uchun, yuklama ulangan iste'molchining kuchlanishi pasayishini kompensatsiya qilish kerak bo'ladi, shunda boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining qiymati boshqaruv tizimidagi kuchlanishga teng bo'ladi.

$$U_{iA} = k_i U_m e^{-j\psi} - w \cdot U_m \frac{\Delta L_A}{L_{op}} \cdot e^{\frac{j\pi}{2}} \quad (\text{V})$$

$$U_{iB} = k_i U_m e^{-j(\psi - \frac{2\pi}{3})} - w \cdot U_m \frac{\Delta L_B}{L_{op}} \cdot e^{j(\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi}{3})} \quad (\text{V})$$

$$U_{iB} = k_i U_m e^{-j(\psi - \frac{2\pi}{3})} - w \cdot U_m \frac{\Delta L_B}{L_{op}} \cdot e^{j(\frac{\pi}{2} - \frac{4\pi}{3})} \quad (V)$$

Bir fazali va uch fazali muvozanatsiz yuklarni elektr tarmog‘iga ulash natijasida yuzaga keladigan nosimmetriya ko‘ndalang nosimmetriyani keltirib chiqaradi. Bu esa shu tarmoqdan iste‘molchisi asinxron motorga salbiy ta‘sir etadi, liniya yoki faza kuchlanishlarning amplitudalari va burchak fazalarining tengsizligi kelib chiqadi. Ushbu vektorlarda asinxron motorning statoriga nosimmetrik reaktiv quvvat berilganda, kuchlanish yoki tokning kompleks ampilutuda qiymatlari quyida ko‘rinishda ifodalangan.



1.5-rasm. Uch fazali asinxron motor statoriga nosimmetrik reaktiv quvvat ta‘siri natijasidagi kompleks kuchlanish vektorlari.

Asinxron motorlarda yuzaga keladigan nosimmetrik holatga bo‘ylama nosimmetriya havo liniyalarning to‘liq bo‘lmagan rejimlarida tarmoq elementlarining teng bolmagan nosimmetrik qarshiliklarida, simlarning turli xil ko‘ndalang kesim yuzasi natijasidan nosimmetrik toklarning paydo bo‘lishiga, bu asosiy quvvat iste‘molini oshishiga olib keladi. Asinxron motorning statorida hosil bo‘lgan nosimmetrik kuchlanishni to‘g‘ri, teskari va nol ketma-ketlikka ajratish mumkin. Teskari va nol ketma - ketlik, tashkil etuvchilarining qiymati to‘g‘ri (asosiy) ketma – ketlikning qiymatidan ancha past bo‘ladi. Shuni alohida takidlab ayta olamizki, uch fazali kuchlanish tizimining nosimmetriyasi to‘g‘ri ketamketlik tizimiga, teskari va nol ketma – ketlik tizimi kuchlanishi ta‘siri natijasida paydo bo‘ladi. To‘g‘ridan to‘g‘ri ketma– ketlik tizimi (1.1.3 a rasmda) qiymati teng

va bir –biriga nisbatan  $120^\circ$  ga farq qiladigan uchta vektor  $\dot{A}$ ,  $\dot{B}$ ,  $\dot{C}$  dan iborat bo‘lib, vektor  $\dot{B}$  vector  $\dot{A}$  dan orqada qoladi.

Bundan xulosa qilib, uch fazali tizimda  $a = e^{j120^\circ}$  va  $a^2 = e^{(j120^\circ)^2}$  qiymatlardan foydalanib quyidagi fo‘mulani yoza olamiz.

$$\dot{B}_1 = a^2 \dot{A}_1; \quad \dot{C}_1 = a \dot{A}_1$$

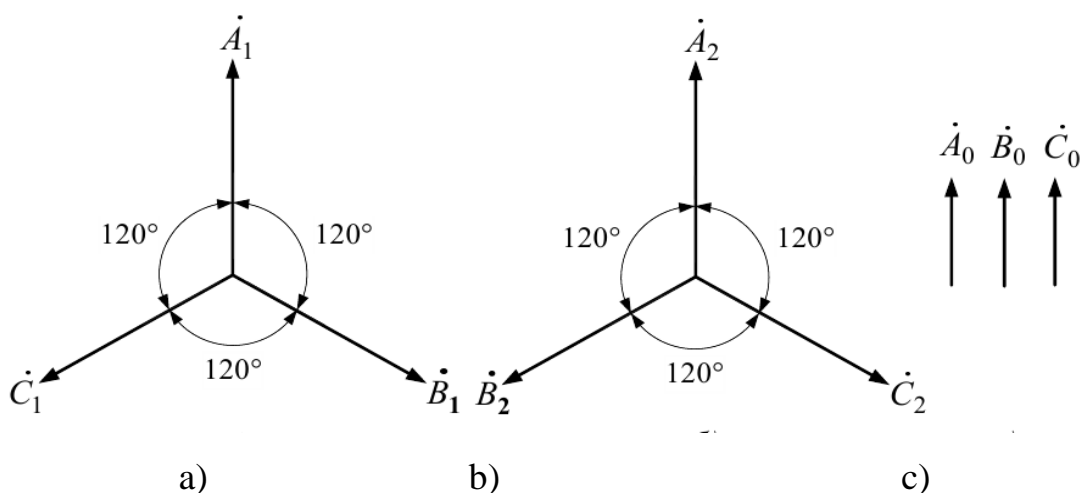
Teskari ketma-ketlik tizimi (1.1.3-b rasmda) qiymati bir-biri bilan teng hamda bir - biria nisbatan  $120^\circ$  ga farq qiladigan uchta  $\dot{A}_2$ ,  $\dot{B}_2$ ,  $\dot{C}_2$  vektordan iborat bo‘lib,  $\dot{B}_2$  vektori  $\dot{A}_2$  vektoridan orqada qoladi.

$$\dot{B}_2 = a \dot{A}_2; \quad \dot{C}_2 = a^2 \dot{A}_2$$

Nol ketma-ketlik tizimi fazoda uchala vektorni bir hilda bo‘lishi natijasida hosil bo‘ladi.

$$\dot{A}_0 = \dot{B}_0 = \dot{C}_0$$

Ushbu uchala  $\dot{A}$ ,  $\dot{B}$ ,  $\dot{C}$  ni simmetrik vektorlari hisobidan quyidagicha ifodalaymiz [5; 3-67-b.].



1.6-rasm. Uch fazali asinxron motorning statoriga berilayotgan kuchlanish vektorlari, a- to‘g‘ri, b-teskari, c-nol ketma-ketliklar.

$$\dot{A}_1, \dot{B}_1, \dot{C}_1; \quad \dot{A}_2, \dot{B}_2, \dot{C}_2; \quad \dot{A}_0, \dot{B}_0, \dot{C}_0$$

$$\dot{B} = \dot{B}_0 + \dot{B}_1 + \dot{B}_2$$

$$\dot{C} = \dot{C}_0 + \dot{C}_1 + \dot{C}_2$$

Bundan, xulosa qilib yuqoridagi kompleks tenglamalardan uch fazali tizimning  $\alpha$  qiymatini qo‘llanilishini hisobga olib, qayta yozib chiqamiz.



$$\dot{A} = \dot{A}_0 + \dot{A}_1 + \dot{A}_2$$

$$\dot{B} = \dot{A}_0 + a^2 \dot{A}_1 + a \dot{A}_2$$

$$\dot{C} = \dot{A}_0 + a \dot{A}_1 + a^2 \dot{A}_2$$

Bu sistemada berilgan  $\dot{A}$ ,  $\dot{B}$ ,  $\dot{C}$  vektorlar orqali  $\dot{A}_0$ ,  $\dot{A}_1$ ,  $\dot{A}_2$  qiymatlarni topish kerak bo'ladi.

$$\dot{A}_0 = \frac{\dot{A} + \dot{B} + \dot{C}}{3}$$

Shunday qilib,  $\dot{A}_0$  ni topish uchun berilgan uchta vektorni geometrik shaklda qo'shib hosil bo'lgan yig'indini uchdan bir qismini olish kerak.

$$\dot{A}_1 = \left( \dot{A} + \frac{a\dot{B} + a^2\dot{C}}{3} \right)$$

$$\dot{A}_2 = \left( \dot{A} + \frac{a^2\dot{B} + a\dot{C}}{3} \right)$$

Demak,  $\dot{A}$ ,  $\dot{B}$ ,  $\dot{C}$  vektorlari yig'indisining uchdan biri  $\dot{A}_1$  vektoriga teng bo'ladi.  $\dot{A}_2$  vektroi ham shu yo'nalish orqali aniqlanadi.

Asinxron motor stator chulg'amida fazalararo kuchlanishlar nosimmetriyasi teskari ketma-ketlik tashkil etuvchilar va fazaviy kuchlanishning nol ketma-ketlik tashkil etuvchilarining mavjudligi tufayli yuzaga keladi. Nol ketma-ketlik tashkil etuvchining mavjudligi vektor diagrammasida neytral(yerlash)ning siljishiga olib keladi. Neytral yoki yerlash simining o'rtasidagi kuchlanish, kuchlanishning siljishi deb qaraladi.

Asinxron motorning nosimmetrik kuchlanishi quyidagi asosiy ko'rsatkichlar bilan tavsiflanadi.

- Teskari ketma-ketlikda kuchlanish nosimmetriyasining koeffitsienti  $K_{2U}$
- Nol ketma-ketlikda kuchlanish nosimmetriyasining koeffitsienti  $K_{0U}$

Kuchlanishning teskari ketma-ketlikdagi nosimmetrik koeffitsienti ko'p fazali elektr ta'minoti tizimidagi teskari ketma-ketlikdagi kuchlanishning qiymatini to'g'ri ketma- ketlikdagi kuchlanish qiymati nisbati orqali topib olamiz.

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_1} * 100 \%$$

bu yerda,  $U_{2(1)}$  – uch fazali kuchlanish tizimining asosiy chastotasining teskari ketma-ketlik kuchlanishining samarali qiymati.

Teskari ketma-ketlik faktorini aniqlashda nominal kuchlanish nisbatini olisha ruhsat etilganidan foydalanib quyidagini yoza olamiz.

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_n} * 100 \quad \%$$

Teskari ketma-ketlik kuchlanishi orqali  $U_{2(1)}$  aniqlash imkonini beradi.

- Simmetrik tashkil etuvchilar orqali aniqlash;
- Hisoblashlar orqali aniqlash;

Teskari ketma-ketlik tashkil etuvchilarni hisoblashni taxminiy fo‘rmulasi bo‘yicha topamiz.

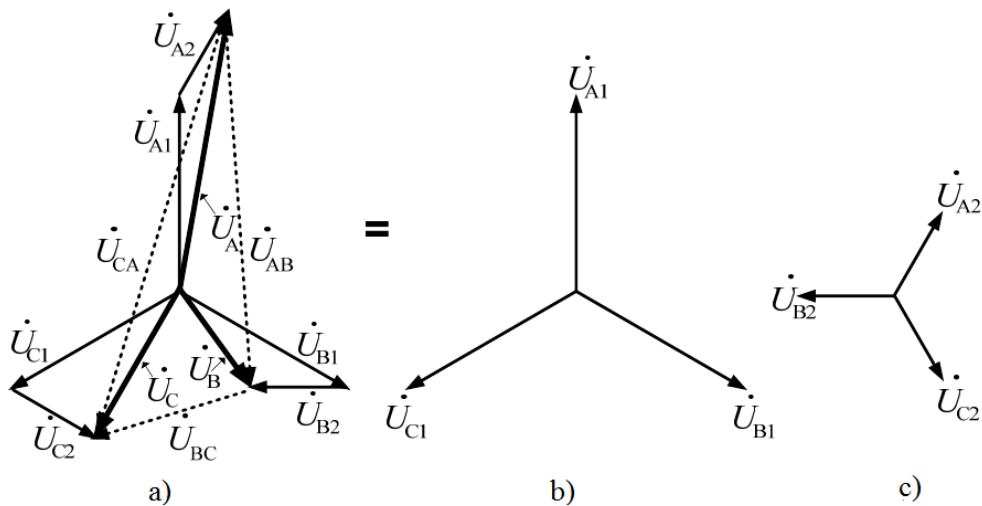
$$U_{2(1)} = 0,62(U_{ekat(1)} - U_{ekich(1)}) \quad (V)$$

bu yerda,  $U_{ekat(1)}$ ,  $U_{ekich(1)}$  uchta fazalararo kuchlanishni eng katta va eng kichik qiymati.

Asinxron motorning nosimmetrik kuchlanish ta’sirini 3 sekund vaqt oralig‘ida  $U_{2(U)}$  ning o‘rtacha N ta kuzatuvlari natijasida  $K_{2U}$  teskari ketma-ketlikdagi kuchlanish nosimmetriyasi koefitsienti qiymatini quyidagi fo‘rmula bo‘yicha hisoblash mumkin.

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{2Ui}^2}{N}}$$

Elektr ta’minot tizimiga asinxron motorlarning ulanish nuqtalarida teskari ketma-ketlikda kuchlanishning nosimmetrik koefitsientining ruxsat etilgan qiymati 2-4% ni tashkil etadi. Asinxron motorlarda nosimmetrik nol ketma –ketlik uchun nosimmetriya koefitsientining qiymati iste’mol qilinayotan tarmoq ya’ni uch fazali tarmoqni to‘g‘ri ketma - ketlikning faza kuchlanishining qiymati nol ketma-ketlik kuchlanishning nisbati sifatida 1.7 rasmdagi vektorlar orqali aniqlab olish mumkin.



1.7-rasm. Asinxron motorga yuklama ulanganda nosimmetrik kuchlanishning a) vektorli tizimi, b) to'g'ri, c) teskari tashkil etuvchilar.

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)}}{U_1} * 100\%$$

bu yerda,  $U_{0(1)}$  – uch fazali kuchlanish tizimining asosiy chastotasining nol ketma-ketlik kuchlanishning qiymati.

$$\begin{aligned} & \dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C; \dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}; \\ & \dot{U}_{A1}, \dot{U}_{B1}, \dot{U}_{C1} - \dot{U}_{A2}, \dot{U}_{B2}, \dot{U}_{C2} \end{aligned}$$

Asinxron motorning nolinchil ketma-ketlik koeffitsientini aniqlashda faza nominal kuchlanish (tok) dan foydalanib topamiz.

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)}}{U_{fk}} * 100\% = \frac{\sqrt{3}U_{0(1)}}{U_n} * 100$$

Nominal kuchlanish  $U_n = 380 [V]$  ni tashkil etadi.

### Birinchi bob bo'yicha xulosalar

1. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklari va ularni nazorat va boshqaruv tizimida qo'llanilgan birlamchi tok o'zgartkichlarini to'g'ri tanlash, loyihalash masalalari bilan bog'liq muammolarni yechish kerak bo'ladi; Asinxron motorning reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini nazorat va boshqarish elementlari va qurilmalari hamda usullari tahlillaridan kelib chiqib, o'zgaruvchan tokni doimiy yetkazishda sifat ko'rsatkichlarini ta'minlash zarur bo'ladi. Hozirgi davrga kelib o'zgaruvchan tok o'zgartkichlarining bir qancha turlari mavjud bo'lsada, lekin asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini

nazorat va boshqaruv tizimlarida tok o'zgartkichlarning maqbul turini tanlash, ularning afzallik va kamchiliklarini ko'rib chiqish, ularni yangi turlarini ishlab chiqish va boshqaruv tizimida qo'llanish istiqbollari baholash talab etiladi.

2. Tok o'zgartkichlarida sodir bo'luvchi signal o'zgartirish jarayonlari va o'zgartkich elementlarining tuzilish asoslari tahlil qilinishi natijasida, uch fazali birlamchi stator toklarini boshqariluvchan ikkilamchi kuchlanish ko'rinishidagi signalga o'zgartirish aniqlilik, tezkorlik, chiziqlilik kabi asosiy talablarini bajarilishi aniqlandi.

3. Asinxron motor reaktiv quvvatinin nosimmetik kattaliklarini nazorat va boshqaruv tizimida tok o'zgartkichlarining asosiy tasniflari va tuzilmalari dissertatsiya maqsadi va vazifasidan kelib chiqib tahlil qilindi.

4. Uch fazali asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi yordamida aniqlash zamonaviy tadqiqotlarning ilmiy va amaliy ahamiyatini belgilaydi.

## **II-BOB. ASINXRON MOTOR REAKTIV TOKLARIGA TA'SIR QILUVCHI TASHQI OMILLAR**

### **2.1-§. Asinxron motor reaktiv toklariga ta'sir qiluvchi tashqi omillar**

Asinxron motorlarning umumiy ulanish nuqtasida teskari va nol ketma-ketlikdagi kuchlanish nosimmetriyasi koeffitsienti bo'yicha elektr energiya sifati, agar quyidagi shartlar bajarilgan bo'lsa, quyidagi standart talablariga muvofiq deb hisoblash zarur bo'ladi.

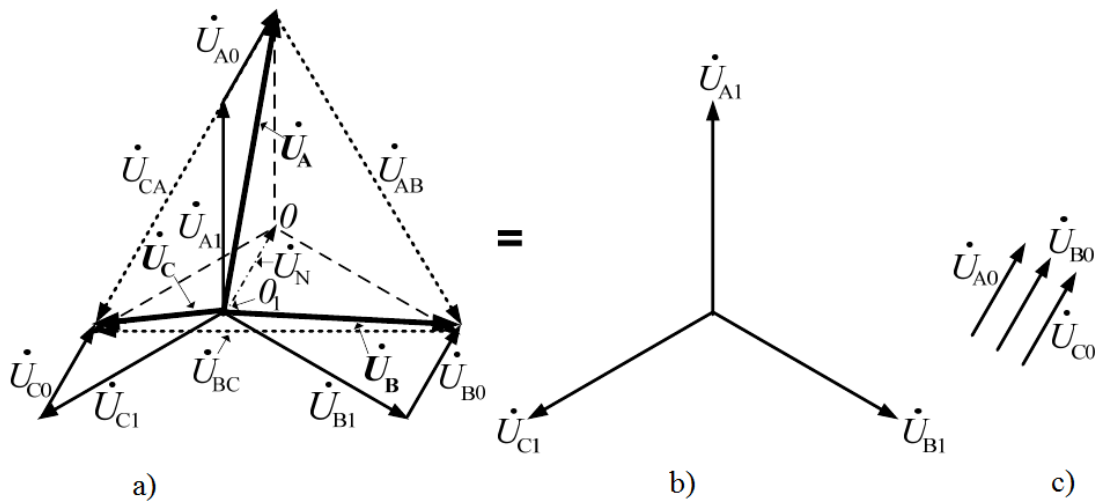
➤ Agar asinxron motor 24 soat ichida nol ketma-ketligi bo'yicha o'lchangan kuchlanish nosimmetriya koeffitsientlarining barcha qiymatlari ruxsat etilgan maksimal qiymatdan oshmasa.

➤ Teskari va nol ketma - ketlikdagi kuchlanish muvozanati omilining qiymati, belgilangan vaqt oralig'ida 95% ehtimollik bilan mos keladigan ( ruxsat etilgan qiymatdan oshmaydigan) holatda.

Asinxron motorning texnik parametrlarining o'lchangan qiymatlari normal va maksimal ruxsat etilgan qiymatlardan oshib, ketishi uchun umumiy uzoq vaqt standartlariga muvofiqligini aniqlashga imkon tug'iladi.

Bunday holatda, asinxron motorning nol va teskari ketma-ketlikdagi kuchlanishning nosimmetriya koeffitsienti bo'yicha, asinxron motor iste'mol qilayotgan tarmoq elektr energiyasining sifati, agar odatdagi ruxsat etilgan qiymatlardan oshib ketishi uchun umumiy vaqt davomiyligi bo'lmasa, ushbu standart talablariga muvofiq deb hisoblanadi. Belgilangan vaqt oralig'ining 5 % dan ko'prog'i, ya'ni 1 soat 12 minutga teng bo'ladi [GOST 13109-97].

Nol ketma-ketlikni 1.8 rasmda keltirilgan uch o'lchovli tizim orqali ko'rish mumkin.



1.8-rasm. Asinxron motorlarda kuchlanishning nosimmetrik tizimi vektorlari (a), to'g'ri (b) va nol (c) ketma-ketlikni tashkil etuvchilar.

Uch fazali tok tizimlarida kuchlanish va chastotaning belgilangan meyordan o'g'ishi va tebranishiga, kuchlanish formasi nosinusoidalligi neytralning siljishiga, asosiy chastotali kuchlanish nosimmetrikligiga bog'liq. O'zgaruvchan tok sistemasi uchun kuchlanishning o'g'ishi, kuchlanish tebranishi va kuchlanishning pulsatsiyasi koeffitsienti elektr energiyaning sifati ko'rsatkichlari hisoblanadi. Elektr energiyasining sifat me'yoriy ko'rsatkichlari quyidagicha.

1. Kuchlanishning nominal qiymatdan og'ishi, elektr iste'molchilarning xarakteriga bog'liq holda, - 5 dan +10% oralig'da bo'lishi kerak;
2. Normal ish sharoitida chastotaning nominal qiymatdan og'ishi  $\pm 0,1 Gs$  dan oshmasligi kerak;
3. Chastotaning tebranishi  $\pm 0,2 Gs$  dan oshmasligi kerak;
4. Barcha yuqori garmonikalarning effektiv qiymati, asosiy chastota kuchlanishi effektiv qiymatining 5 % dan oshib ketmasligi kerak;
5. Kuchlanishning nosimmetriya koeffitsienti 2 % dan oshmasligi kerak;

Elektr energiyasining sifat me'yorini nazorat qilish sanoat korxonalarini va shaharlarni elektr ta'minotida muhim masala hisoblanadi.

Elektr sistemada nosimmetrik kuchlanishni hosil bo'lishiga sabab, tarmoqda katta quvvatli bir fazali yuklamaning mavjudligidir. U elektr energiya yo'qotilishining ko'payishiga, korxonalar va shaharlarni elektr ta'minoti tizimining ishonchliligini pasayishiga olib keladi. Asinxron mashinalarda kuchlanishning

nosimmetrikligi qo‘shimcha qizish va teskari moment hosil qiladi. Kuchlanishning nosimmetriyasi ko‘p fazali ventilli to‘g‘rilagich va kondensatorlarning ish rejimini yomonlashtiradi. Kondensator baterayalari ulanishi natijasida mavjud nosimmetriya oshib ketadi, chunki, tarmoqqa uzatilayotgan reaktiv quvvat kuchlanishning kvadratiga proporsional hisoblanadi.

Kuchlanishning nosimmetriyasi bir fazali elektr iste‘molchilari normal ish sharoitiga ta’sir ko‘rsatadi. Kuchlanish va tokning nosimmetrikligini pasaytirish uchun nosimmetrik yuklamali iste‘molchilarni qisqa tutashuv quvvati katta bo‘lgan tarmoqlarga ulash, bir fazali yuklamalarni barcha fazalarga sinchkovlik bilan bir xilda taqsimlash maqsadga muvofiqdir.

Kuchlanish nosimmetriyalik darajasi teskari tartibli kuchlanish  $U_2$  ni to‘g‘ri tartibli kuchlanish  $U_1$  ga nisbatan orqali aniqlash mumkin.

$$K_u = \frac{U_2}{U_1} \quad \text{yoki} \quad K_u = \frac{U_2}{U_n}$$

Normal ekspluatatsiya sharoitida ishlab chiqarish korxonada podstansiyalaridagi transformatorlarning ikkilamchi chulg‘amidagi neytral nuqtalari yerga ulangan bo‘ladi. Shu sababli, neytral sim bo‘lganda yulduz ulangan elektr iste‘molchilarning faza kuchlanishlari transformator ikkilamchi chulg‘amlarining faza kuchlanishlariga teng bo‘ladi. Bunga sabab, neytral simning qarshiligi liniya simlarning qarshiliklari tengligini farq qilishi sabab bo‘ladi. Bu qarshiliklarning absolyut qiymatlari esa juda kichikdir.

Agar biron bir sabab tufayli (masalan, simning uzilishi) neytral simning qarshiligi oshib ketsa, unda faza toklari teng taqsimlanmaganligi sababli transformator podstansiyasi faza kuchlanishlar sistemasining neytral nuqtasiga nisbatan iste‘molchilari faza kuchlanishlari tizimidagi neytral nuqta potensialining siljishi sodir bo‘ladi.

Neytral nuqtaning siljishi quyidagicha ifodalanadi.

$$U_N = \frac{U_A \gamma_A + U_B \gamma_B + U_C \gamma_C}{\gamma_A + \gamma_B + \gamma_C + \gamma_{NA}}$$

bu yerda,  $U_A, U_B, U_C$  – asinxron motor iste'mol qilayotgan tarmoq kompleks faza kuchlanishlari;

$\gamma_A, \gamma_B, \gamma_C$  – asinxron motorning kompleks o'tkazuvchanligi;

$\gamma_{NA}$  – neytral simning kompleks o'tkazuvchanligi;

Neytral simning siljishi kuchlanishning qo'shimcha og'ishiga olib keladi. Shu sababli kuchlanish og'ishini aniqlashda  $U_N$  kuchlanishni hisobga olish zarur. Liniya kuchlanishlari nosimmetriklik koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi

$$K_n = \frac{U_2}{U_1} = K_n e^{j\gamma}$$

bu yerda:  $K_n$  – nosimmetriya koeffitsientining moduli.

$\gamma$  – kuchlanishlar orasidagi burchak, uning argumenti.

$U_1, U_2$  – to'g'ri va teskari tartibli kompleks kuchlanishlar.

Agar vektorlar nosimmetrik uch fazali sistemasi teng muvozanatlashgan bo'lsa, ya'ni nol tartibli bo'lmasa, u holda bu sistemaning uchburchagi ikkita vektor modulining uchinchisiga nisbati bilan tavsiflanishi mumkin.

Biz asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini nazorat qilish va baholashda aniqlangan vektorlardan nomogrammani qurishimiz mumkin. Asinxron motor liniya kuchlanishlari  $U_{BC}$  va  $U_{CA}$  ning  $U_{AB}$  ga nisbati qo'yiladi. Ikki xildagi egri chiziq nosimmetrik koeffitsienti moduli  $K$  va uning argumenti  $\gamma$  ni aniqlash imkonini beradi. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichidan foydalangan holda, o'lchash sezgir elementining har bir fazasidan chiqadigan kuchlanishlar  $U_{AB} = 3,62 V$ ,  $U_{BC} = 3,87 V$ ,  $U_{CA} = 3,74 V$  qiymatlarida  $K = 5,2 \%$ ,  $\gamma = 210^\circ$  ga teng chunki,

$$\frac{U_{CA}}{U_{AB}} = \frac{3,702}{3,534} = 1,047$$

$$\frac{U_{BC}}{U_{AB}} = \frac{3,87}{3,534} = 1,095$$



## 2.2-§. Asinxron motorning nonormal rejimlari

Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarining baholovchi nomogramma 1-ilovada keltirilgan.

Ishlab chiqarish korxonalarining normal ishlashi uchun uni elektr ta'minoti sifatli va ishonchli bo'lishi zarur.

Nosimmetriyaning mavjudligi toklarning teskari va nolli ketma-ketliklarini paydo bo'lishiga olib keladi. Bu toklar tarmoq elementlarida o'z navbatida kuchlanish o'g'ishini paydo bo'lishiga olib keladi. Tok nosimmetriyasi kuchlanish nosimmetriyasidan ancha katta bo'ladi. Shuning uchun rotorni qizishiga, uning ayrim qismlarini silkinishiga olib keladi. Fazalarning bir tekis yuklanmaganligi sababli toklar nosimmetriyasi tarmoqda va transformatorlarda o'tkazuvchanlik qobilyatini kamaytiradi. Nosimmetrik kuchlanishlar va toklar nosimmetriya koeffitsientlari  $K_{nk}$  va  $K_{ni}$  hamda toklar kuchlanishlarining muvozanatsizligi koeffitsientlari ( $K_{ok}$  va  $K_{oi}$ ) bilan tavsiflash mumkin.

$$K_{nk} = \frac{U_2}{U_n} * 100\%$$

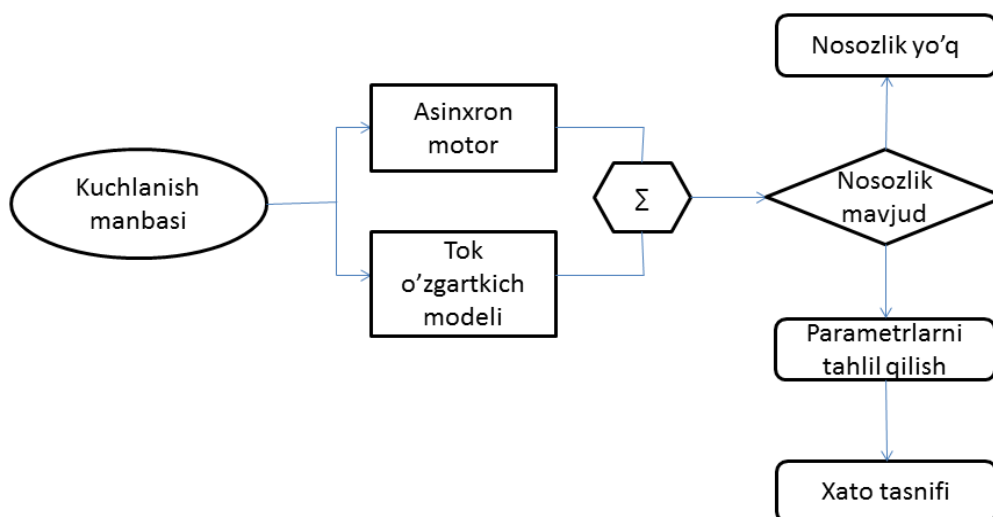
$$K_{ni} = \frac{I_2}{I_n} * 100\%$$

$$K_{ok} = \frac{U_0}{U_n} * 100\%$$

$$K_{oi} = \frac{I_2}{I_n} * 100\%$$

Uch fazali elektr energiya iste'molchisining qisqichlarida kuchlanish nosimmetriya koeffitsientlarining qiymati GOST 30804.4.30-2013 bo'yicha 2% dan oshmasligi kerak.

Asinxron motorning stator chulg'amiga qo'shimcha ravishda joylashtirilgan o'lchash chulg'amidan chiqadigan signal mashinaning diagnostik natijalari bilan birga uskunaning umumiy holatini ko'rsatadigan displeylar, motorning ishlatish mobaynida boshqariladigan parametrlarning o'zgarish grafiklarini ham olish mumkin.

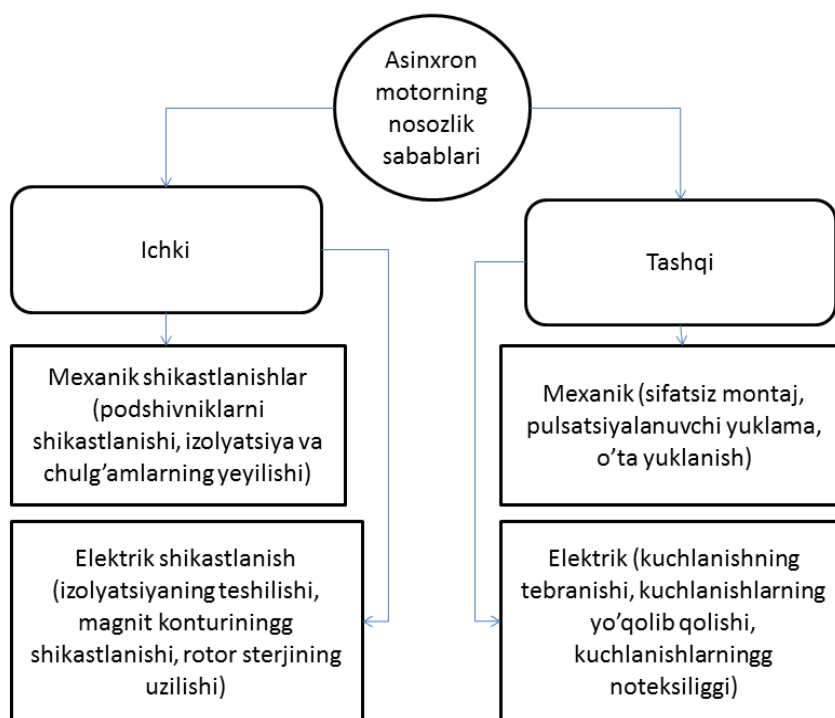


1.9-rasm. Tok va kuchlanish modelini tahlil qilish diagrammasi

Ushbu model yordamida asinxron motorning stator chulgʻmida sodir boʻladigan nosimmetrik taʼsirlar natijasida magnet oqimning muvozanati buzilishini aniqlash imkoni mavjud boʻladi.

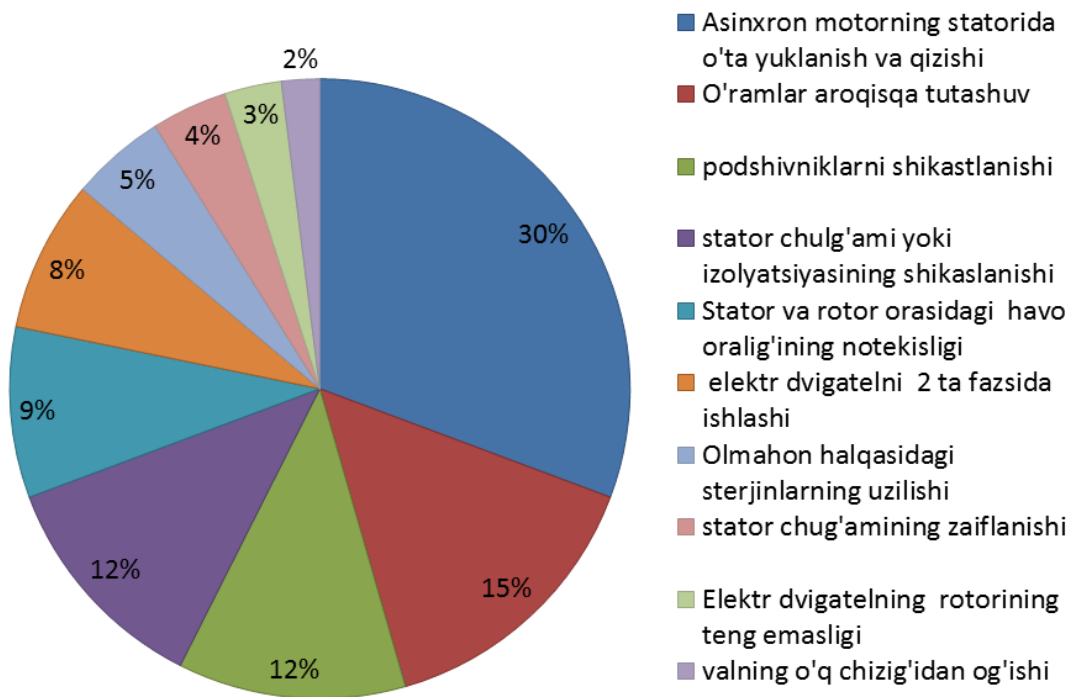
Yuqorida koʻrsatilgan algoritm oʻlchangan va hisoblangan toklar oʻrtasidagi farqni tekshirishi, aslida, motorning normal ishlashiga mos keladigan va birinchi navbatda anʼanaviy tok spektral tahlilida koʻrinadigan elektr signalning tashkil etuvchilarini olib tashlashni anglatadi. Ushbu protsedura nosozliklarning diagnostik belgilari boʻlgan aniq komponentlarni oʻrganishni sezilarli darajada osonlashtiradi.

Asinxron motorlarda yuzaga keladigan nuqsonlarning asosiy sabablarini turli xil mexanik, elektrik va boshqa ichki va tashqi taʼsirlar hosil qiladi. Bu nuqsonlarni keltirib chiqaruvchi sabablarni koʻrib chiqamiz.



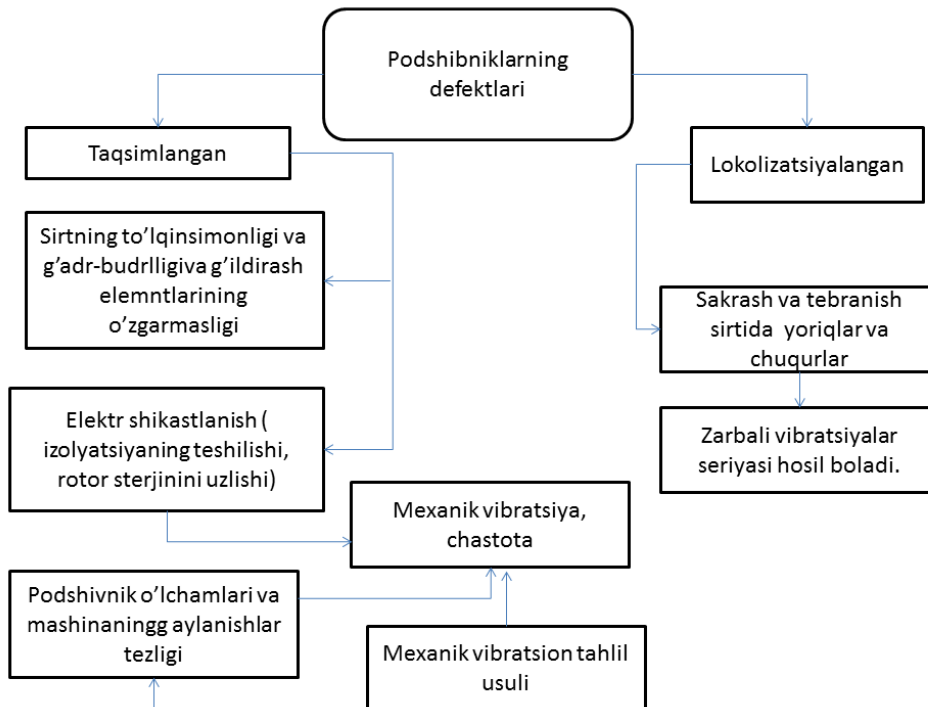
1.10- rasm. Asinxron motorlarda vujudga keladigan nosozliklarning asosiy sabablari

Bilamizki, sanoat korxonalarida moddiy yo‘qotishlar asosan, nuqsonlar tufayli yuzaga keladi, ular turli xil bo‘ladi. Ulardan, birinchisi 10% gacha bo‘lgan qiymatni tashkil etuvchi muhim xarajatlarga bog‘liq bo‘lib, bu vosita ma’lum vaqt mobayni davomida elektr energiyasidan ortiqcha foydalanishni anglatadi. Ikkinchisi, to‘g‘ridan-to‘g‘ri deb ataladigan, korxonada texnologik jarayonning buzilishiga olib kelishi mumkin, bu ko‘pincha kichik yo‘qotishlar bilan bog‘liq bo‘ladi.



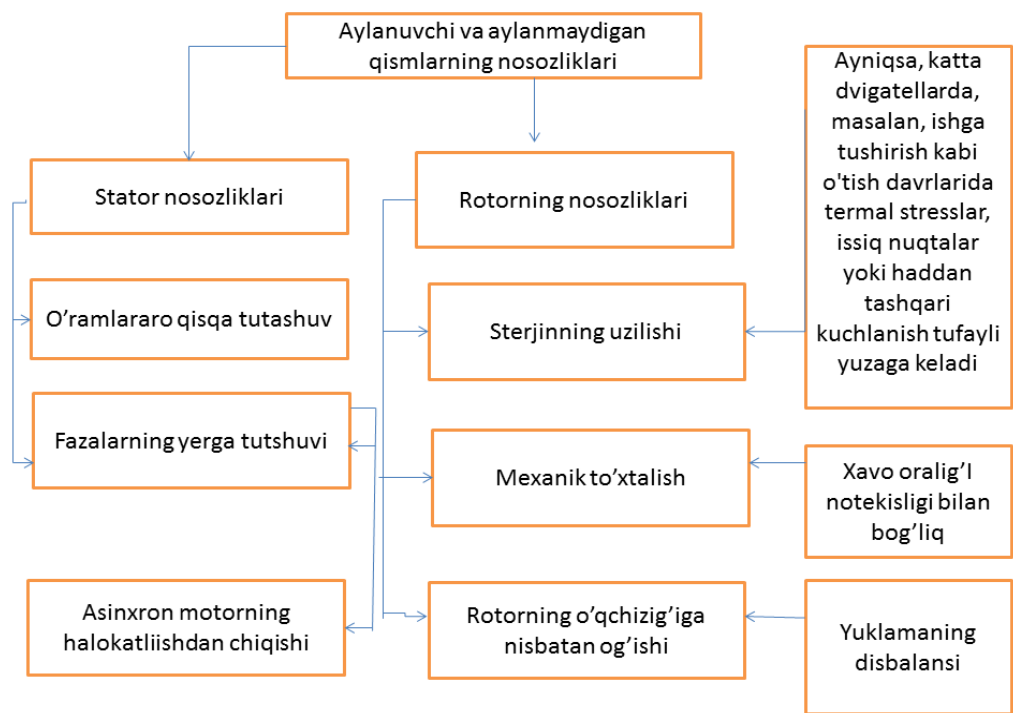
1.11-rasm. Asinxron motorlarda nosozliklarni keltirib chiqaruvchi asosiy omillar.

Asinxron motorlarning podshivniklarida vujudga keladigan asosiy nuqsonlarni ko'rib chiqamiz.



1.12- rasm. Asinxron motorning mumkin bo'lgan boshqa xatolarining tasniflari

Asinxron motornin stator va rotorida hosil bo'ladigan eng asosiy nosozliklarni quyidagi 1.13- rasmda ko'rishimiz mumkin.



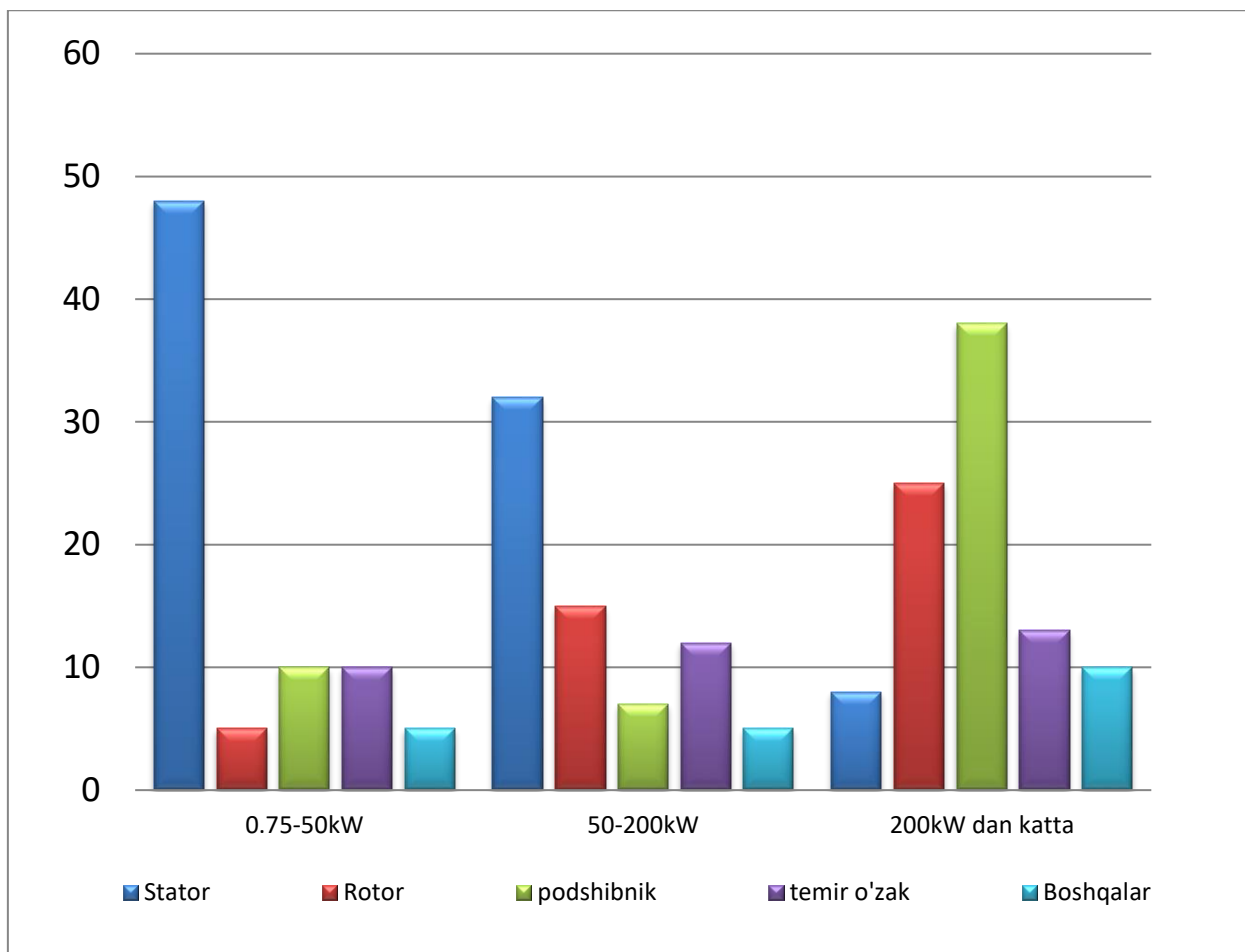
1.13- rasm. Stator va rotorda vujudga keladigan asosiy nosimmetrik holatlar.

Asinxron motorlarning quvvatiga qarab nosimetriyani ta'sirini ko'rib chiqish mumkin:

Kichik quvvatli asinxron motorlar (0,75-50 kVt) ko'pincha stator va podshipniklarda nuqsonlar hosil bo'ladi;

O'rtacha quvvatli asinxron motorlar 50 - 200 kVt gacha bo'lgan asinxron motorlar o'rtacha quvvatli hisoblanib, bunda asosan, stator, temir o'zak va rotora ta'siri katta bo'lishini ko'rishimiz mumkin;

Katta quvvatli asinxron motorlarda nosimetriyaning ta'siri asosan podshivnik va rotorga bo'lishini ko'ramiz.



1.14-rasm. “Spektr” x/k tekshirilgan asinxron motorlarning nosozlik diagrammasi

Hozirgi zamon talabi shundan iboratki, asinxron motorlarni tashhislashning ideal va zamonaviy usullardan foydalanishni talab etadi. Shundan kelib chiqib, “Andijon yog‘-moy” AJ, “Andijon Bio kimyo” AJda tahlil va tekshiruvlarni olib bordik va quyidagi omillarni hisobga oldik.

Asinxron motorning oldiga borish qiyin bo‘lgan holatlarda masofadan turib uning ishchi holatdagi asosiy muammolarini aniqlash;

- Asinxron motorning noto‘g‘ri ishlashi va shikastlanishini aniqlashning yuqori ishonchliligi va aniqligiga e’tibor qaratish;
- Kompyuter va dasturiy vositalardan foydalangan holda qisqa vaqt ichida olingan o‘lchash natijalarini tahlil qila olish;
- Asinxron motorning elektr va mexanik shikastlanishining barcha yoki katta qismini va tegishli mexanik uskunalarni aniqlash.

Spektr x/k, Singlida x/k, Andijon yog‘- moy” AJ larida olib borilgan tadqiqotlar natijalariga ko‘ra, 35-40% asinxron motorlar qisqa tutashuv bilan ishlaydi.



1.15-rasm. “Andijon yog‘- moy” AJ da quvvati 90 kW li maydalagich (drobilka) elektr yuritmasining stator chulg‘ami va rotor pazini yemirilgan holati.

Ta‘mirlash ustaxonalariga qayta o‘rash uchun keltirilgan asinxron motor stator chulg‘amini ikkiga ( $\gamma$  va  $\Delta$ ) ga bo‘lib, qo‘shib o‘rash va o‘lchash chulg‘amini stator pazlariga asosiy chulg‘am va pona (klin) orasiga joylashtirish orqali kuchlanish ko‘rinishdagi signal olib asinxron motor ishlash samaradorligini tadqiq qilishimiz mumkin.

Keltirilgan ma‘lumotlarga tayanib, iste‘molchilarning elektr ta‘minotida reaktiv quvvat manbalari kattaliklari, parametrlari va boshqarish usulini to‘g‘ri tanlash, shu bilan birga iste‘molchi reaktiv energiyasi iste‘molini nazorat va boshqaruv tizimida ishlatiladigan birlamchi tok o‘zgartkichlarini tadqiq etish samaradorlikka erishishning yo‘llaridan biridir.

### **2.3. Asinxron motorning reaktiv toklarining nosimmetrikligi o‘zgartkichlarini turlari va tavsifi**

Bugungi kunda elektromexanik o‘lchash asboblardan tashqari, elektron o‘lchash asboblari ham keng qo‘llanilmoqda. Ularda ko‘pincha indikator qurilmasi sifatida magnitoelektrik asboblardan foydalanilmoqda. Elektron o‘lchash asboblari qator afzalliklarga ega.

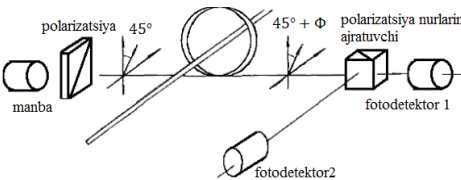
a) sezgirligi yuqori bo‘lganligi uchun, ular yordamida kuchlanishlarning kichik qiymatlarda o‘lchash mumkin;

b) elektron o'lchash asboblari o'lchash bajariladigan zanjirdan kam energiya iste'mol qiladi, chunki ularning kirish qarshiligi yuqori bo'lib, o'n va yuz megaomlarga yetadi;

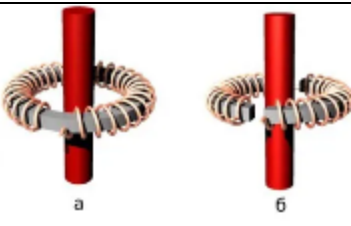
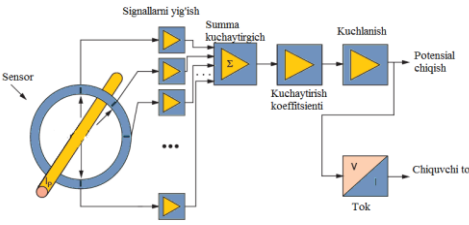
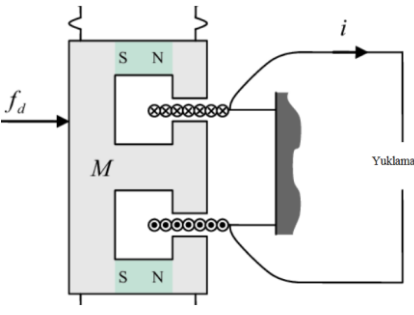
Nosimmetrik kattaliklarni elektr o'lchash apparatlari yordamida o'lchash uchun o'lchanadigan kattalikni elektr qiymatga aylantirib beradigan o'lchash o'zgartkichlari lozim. Bunday o'zgartkichlarga haroratlarni o'lchashda termojuftliklar, yorug'lik o'lchashda fotoelement, magnit oqimlarda hosil qilingan EYuKlarni o'lchash uchun tok o'zgartkichlaridan foydalanilmoqda. Asinxron motorga elektr energiyaning tizimli, uzluksiz va ishonchli energiya bilan ta'minlash uchun tok o'zgartkichlaridan keng foydalanish zarurati tug'iladi. Buning uchun axborot texnologiyasi asosida boshqarish va masofadan monitoring qilishda, elektr energiyaning tokini turli fizik tabiatdagi signallar ko'rinishiga o'zgartiradigan o'zgartkichlardan foydalaniladi.

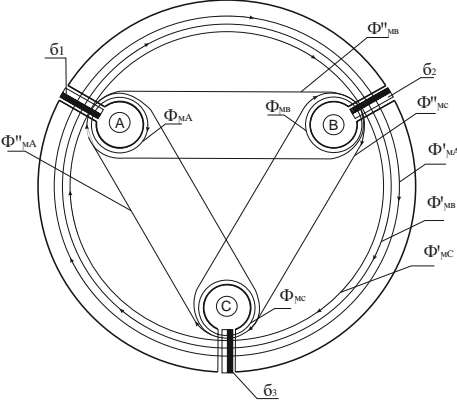
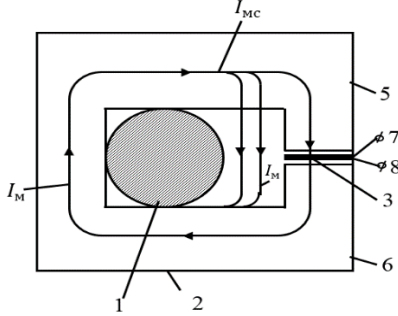
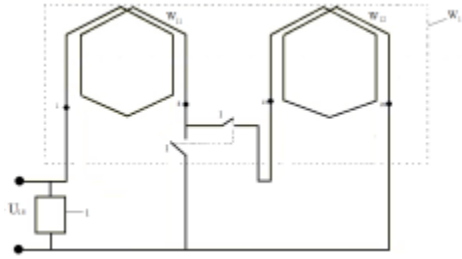
Hozirgi vaqtda asinxron motorlarning reaktiv toklarining nosimmetrikligini nazorat va boshqarishda uch fazali toklarni boshqariluvchan chiqish kuchlanishli ko'rinishdagi signallarga o'zgartirishning umumiy lashtirilgan tasnifi mavjud emas.

1-jadval

№	O'zgartkich va datchiklarning nomi	Tuzilish sxemasi	Afzalliklari va kamchiliklari
1	2	3	4
1	Optik tolali tok datchiklari		<p>Afzalliklari. Yuqori voltli liniyalarda qo'llash imkoniyati.</p> <p>Kamchiliklari. Tuzilma va o'lchash sxemasining murakkabligi</p>



	2	3	4
2	Tok transformatori		<p>Afzalliklari. Ishonchli</p> <p>Kamchiliklari. Asinxron motorlarda sochiluvchan magnet oqimni xisobga olmaydi. Katta hajm-vazn ko'rsatkichlariga ega.</p>
3	Magnito galvanik		<p>Afzalliklari. Yuqori aniqlik va sezgirlik,</p> <p>Kamchiliklari. Asinxron motorlarda sochiluvchan magnet oqimni xisobga olmaydi. Konstruktiv va sxematik murakkablik.</p>
4	Magnito modulyatsion		<p>Afzalliklari. Ish holati ishonchliligi yuqori, texnik xizmat ko'rsatish sodda</p> <p>Kamchiliklari. Asinxron motorlarda sochiluvchan magnet oqimni xisobga olmaydi. Katta geometrik o'lcham</p>

	2	3	4
5	<p>Funksiyalarining imkoniyatlari kengaytirilgan elektromagnit tokni kuchlanishga o'zgartirgichlar</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of a three-phase asynchronous motor stator. It features three main poles labeled A, B, and C. Magnetic fluxes are indicated by <math>\Phi_{\mu A}</math>, <math>\Phi_{\mu B}</math>, and <math>\Phi_{\mu C}</math>. Air gap widths are labeled <math>\delta_1</math>, <math>\delta_2</math>, and <math>\delta_3</math>. Other flux components like <math>\Phi'_{\mu A}</math>, <math>\Phi'_{\mu B}</math>, and <math>\Phi'_{\mu C}</math> are also shown.</p>	<p>Afzalliklari tayyorlash texnologiyasining oddiyliigi, ishonchlilik, tejamkorlik, Kamchiliklari. Asinxron motorlarda sochiluvchan magnet oqimni hisobga olmaydi. Tashqi magnet maydonlar va haroratning ta'siri</p>
6	<p>Tok qiymatini kuchlanish ko'rinishdagi chiqish signaliga elektromagnit o'zgartiruvchi datchik</p>	 <p>The diagram illustrates an electromagnetic sensor. It shows a central coil (1) with current <math>I_M</math> flowing through it. This coil is surrounded by a magnetic core (2). The core is connected to a circuit with components labeled 3, 4, 5, 6, 7, and 8. A secondary current <math>I_{MC}</math> is shown flowing through a part of the circuit.</p>	<p>Afzalliklari. Tuzilma va tayyorlash, texnologiyasi oddiyliigi, ishonchlilik, tejamkorlik Kamchiliklari. Asinxron motorlarda sochiluvchan magnet oqimni hisobga olmaydi.</p>
7	<p>Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartirgich</p>	 <p>The diagram shows a transformer-based power converter circuit. It includes a transformer with two windings, <math>W_1</math> and <math>W_2</math>. The primary winding <math>W_1</math> is connected to an AC source <math>U_{in}</math>. The secondary winding <math>W_2</math> is connected to a load. A switch is used to control the current flow.</p>	<p>Afzalliklari. Ish holati ishonchliligi, aniqligi va sezgirligi yuqori, tayyorlash texnologiyasi oddiy, statik tavsifi chiziqli. Kamchiliklari. Tashqi muhit harorati ta'siri</p>

Yuqoridagi tok o'zgartkichlarini tahlilidan kelib chiqib quyidagi asosiy kamchiliklar ko'rib o'tildi.

Elektr ta'minoti tizimida qo'llanilib kelinayotgan kontaktli va kontaktsiz o'zgartkichlar, tashqi magnit maydonlar va ferromagnit massalar ko'rsatkichlari invariantligi, yordamchi quvvat manbalariga ehtiyojning yo'qligiga qaramay, nisbatan katta massa va quvvat iste'moliga ega, ishonchlilik darajasi past, keng diapazonda amalga oshirish qiyin, nisbatan katta og'irlikka va quvvat iste'moliga egaligi va ish holati ishonchliligi pastligidan ularni asinxron motor reaktiv quvvatining uch fazali tok nosimmetrikligida qo'llash samara bermasligi aniqlandi.

O'zgartirishlar xatoligi, o'zgaruvchan tok elektr energiya iste'molchilari uchun ruhsat etilgan  $\Delta_{o'.x} = 0,1 - 0,5\%$  qiymatdan oshmasligi belgilangan. O'zgaruvchan tok iste'molchilarini nazorati va himoya elementlari uchun sezgirlik, aniqlik, ishonchlilik juda muhim hisoblanadi.

Umuman olganda hozirda "Honeywell" kompaniyasi tomonidan ishlab chiqarilayotgan tok o'zgartkichlari ken foydalanilmoqda.

1.2-jadval. Mavjud tok o'zgartkichlarining boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi bilan qiyosiy tahlili.

1.2-jadval

Asosiy texnik ko'rsatkichlar	Qarshilikl i o'zgartkich	Xoll effektli o'zgartkich	Elektromag nit TT	<b>Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi</b>
O'zgartirish aniqligi, %	0,02–0,5	0,02–0,5	0,2–1	<b>±0,05</b>
Xarorat o'zgarishida aniqlik, %	0,12–1	0,2–1	0,5–3	<b>0,05-0,5</b>

1	2	3	4	5
O'zgartirish oralig'i , kA	0,1 gacha	20 gacha	200 gacha	<b>0÷3</b>
Tok va kuchlanish orasidagi faza siljish burchagi	20° gacha	0°	0°	<b>0°</b>
O'zgartirish zanjiriga ulanishi	Kontaktli	Kontaktsiz	Kontaktsiz	<b>Kontaktsiz</b>
O'zgartiruvchi tok turi, AC/DC	AC/DC	AC/DC	Faqat AC	<b>Faqat AC</b>
Narxi	Past	Yuqori	O'rta	<b>Past</b>
Iste'mol quvvati, VA	75	5	5	<b>0,5</b>

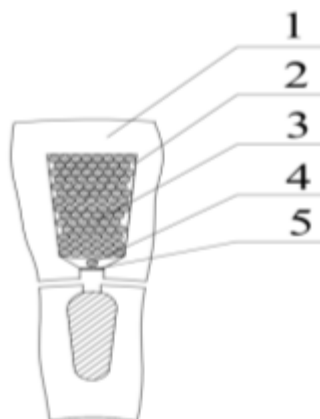
1.2 – jadvaldan ko‘rinadiki, rezistorli tok o‘zgartkich – datchiklari tarkibi o‘lchanuvchi zanjirga ulangan rezistorli elementdan iborat. Xoll effektiga asoslangan tok o‘zgartkich – datchiklari katta toklarni o‘lchashda yuqori aniqlikka ega bo‘lsada, magnit tizimining to‘yinishi tufayli ular aniqlikda cheklovlarga ega, qo‘shimcha manbalarni talab qiladi va nisbatan qimmat.

Elektromagnit tok transformatorlari faqat o‘zgaruvchan toklarni o‘lchashda foydalaniladi va kichik chastota diapazoniga ega. Elektromagnit TT tashqi manbaga ehtiyoji yo‘qligi, narxi arzon va kam quvvat iste‘moli kabi afzalliklarga ega. Hozirgi kungacha elektromagnit TT lardan reaktiv quvvat manbalarini boshqarishda keng foydalanib kelinmoqda.

Elektromagnit TT asinxron motor reaktiv quvvatini nazorat va boshqaruv tizimida bir nechta kamchiliklarga ega bo‘lib, stator qismidagi sochiluvchan magnit oqimlari o‘zgarishini sezish imkoniyati cheklangan va o‘zgartirish jarayoni nominal

tokdan keyin noxiziqli statik tavsifga ega bo‘lib o‘lchash aniqligi kamayadi.

Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini baholash va nazorat qilishda qo‘llaniladigan tok o‘zgartkichlar sodda, murakkab bo‘lmagan, tannarxi arzon, sezgirligi, tezkorligi va ishonchliligi yuqori bo‘lgan, oddiy o‘zgartirish elementlariga ega va birlamchi kirish stator toki qiymatini ikkilamchi kuchlanish ko‘rinishidagi chiqish signaliga o‘zgartiruvchi tok o‘zgartkichlari samaraliroq hisoblanadi [1; 38–46b.].



1.16 – rasm. Asinxron motor stator pazida o‘lchash chulg‘amini joylashishi:

1 – stator magnet o‘zagi, 2 – stator pazi, 3 – stator asosiy chulg‘ami, 4 – sezgir element, 5 – paz ponasidan iborat.

Asinxron motor reaktiv quvvatini nosimmetrik kattaliklatrini nazorat va baholashda boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichini sezgir elementi (o‘lchash chulg‘ami) stator magnet o‘zagi pazida joylashgan stator chulg‘ami va pona (klin) orasida joylashtirish va o‘lchash chulg‘ami halqalarini alohida mustaqil halqalarga ajratish orqali erishiladi.

O‘lchash elementini stator pazidagi asosiy stator chulg‘ami va dielektrik pona (klin, maxsus yog‘och ham bo‘lishi mumkin) orasiga joylashtirilishi reaktiv quvvat iste‘moli o‘zgarishini belgilovchi  $\Phi_{\sigma 1}$  sochilish magnet oqimini o‘zgarishini sezish imkonini beradi.

## **Ikkinchi bob bo'yicha xulosalar**

5. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklari va ularni nazorat va boshqaruv tizimida qo'llanilgan birlamchi tok o'zgartkichlarini to'g'ri tanlash, loyihalash masalalari bilan bog'liq muammolarni yechish kerak bo'ladi; Asinxron motorning reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini nazorat va boshqarish elementlari va qurilmalari hamda usullari tahlillaridan kelib chiqib, o'zgaruvchan tokni doimiy yetkazishda sifat ko'rsatkichlarini ta'minlash zarur bo'ladi. Hozirgi davrga kelib o'zgaruvchan tok o'zgartkichlarining bir qancha turlari mavjud bo'lsada, lekin asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini nazorat va boshqaruv tizimlarida tok o'zgartkichlarning maqbul turini tanlash, ularning afzallik va kamchiliklarini ko'rib chiqish, ularni yangi turlarini ishlab chiqish va boshqaruv tizimida qo'llanish istiqbollari baholash talab etiladi.

6. Tok o'zgartkichlarida sodir bo'luvchi signal o'zgartirish jarayonlari va o'zgartkich elementlarining tuzilish asoslari tahlil qilinishi natijasida, uch fazali birlamchi stator toklarini boshqariluvchan ikkilamchi kuchlanish ko'rinishidagi signalga o'zgartirish aniqlilik, tezkorlik, chiziqlilik kabi asosiy talablarini bajarilishi aniqlandi.

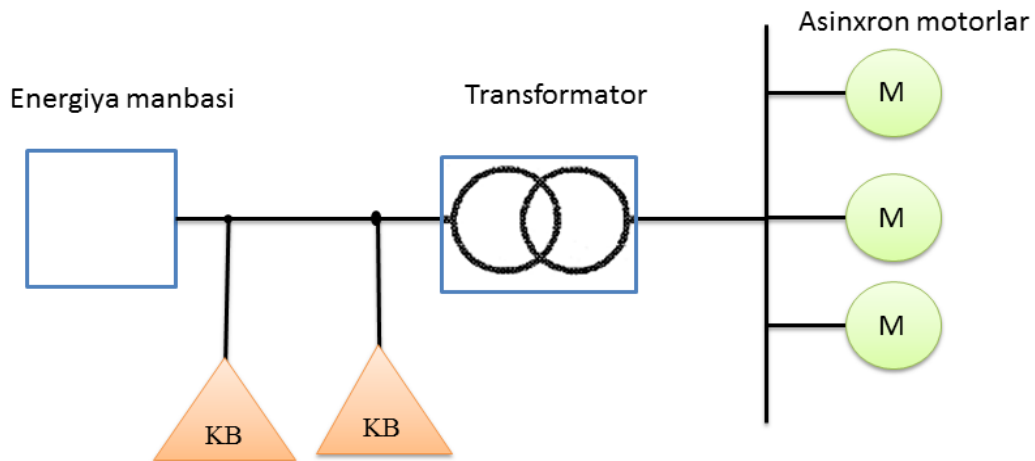
7. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini nazorat va boshqaruv tizimida tok o'zgartkichlarining asosiy tasniflari va tuzilmalari dissertatsiya maqsadi va vazifasidan kelib chiqib tahlil qilindi.

8. Uch fazali asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi yordamida aniqlash zamonaviy tadqiqotlarning ilmiy va amaliy ahamiyatini belgilaydi.

### III BOB. ASINXRON MOTOR REAKTIV TOKLARINING NOSIMMETRIK VA BOSHQARILUVCHAN CHIQISH KUCHLANISHINI HOSIL QILISH JARAYONLARINI MODELLASHTIRISH

#### 3.1–§. Uch fazali toklarning nosimmetrikliklari manbalari va ularning xususiyatlari

Elektr energiyasi iste'molchilaridan bo'lgan hamda hozirgi vaqtda eng ko'p tarqalgan qisqa tutashtirilgan rotor chulg'amli asinxron motorlarning amaliyotda qo'llanilishiga aylanuvchi magnet oqimni hosil qiluvchi qurilmalarni yaratish imkoniyatni bergan uch fazali o'zgaruvchan tok tizimining yaratilish sabab bo'ldi.



3.1-rasm. Qisqa tutashtirilgan rotor chulg'amli asinxron motorlarni elektr tarmoqqa ulash sxemasi

Elektr energiyasini yetkazib berishda uzatish simlaridan  $I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$  ko'rinishdagi tokning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilarini oqishini hisobga olsak, tokning reaktiv tashkil etuvchisi elektromagnet maydon hosil qilish uchun zarur bo'lishi belgilanadi.

Asinxron motorlar ma'lum bir nominal texnik ko'rsatkichlarda ishlashga mo'ljallanib ishlab chiqariladi: yani nominal chastota  $f_{nom}$ , nominal kuchlanish  $U_{nom}$ , nominal tok  $I_{nom}$  va xokazo. Asinxron motorlarga yetkazilib berilayotgan energiyani sifat ko'rsatkichlari iste'molchining pasportidagi nominal ko'rsatkichlarga mos bo'lishi kerak.

Yetkazib berilayotgan (o'zgaruvchan tokning) kuchlanishi sinusoidal shaklda va uch fazali tizimlar uchun simmetrik bo'lishi. Elektr energiya turli xil elektr stansiyalarda ishlab chiqarilib elektr energiyaning sifati standartlariga to'g'ri kelsa ham uzoq masofalarga yetkazib berish va iste'mol qilish jarayonida o'zining sifat talablarini qanoatlantirmayapdi.

Birinchiidan, tarmoqda kuchlanish yo'qolishi natijasida iste'molchilarga yetib kelayotgan kuchlanish qiymati pasayadi.

Ikkinchiidan, ularning orasida o'ziga xos iste'molchilar borligi natijasida (drossellar yoki transformatorlar to'yinish rejimida, yarim o'tkazgichlar va boshqa noxiziqli elementlar) kelayotgan kuchlanishda nosimmetriya va nosinusoidallik yuzaga keladi.

Uchinchiidan, ekspluatatsiyani noto'g'ri tashkil qilinishi sababli iste'mol qilinayotgan quvvat (tok) belgilangan qiymatidan oshib ketishi va kuchlanishni pasayishiga olib keladi. Kuchlanishni oshishi yoki pasayishi asinxron motorlarga juda salbiy ta'sir ko'rsatadi. Kuchlanish pasayishi motorning aylantirish momentini kamaytiradi (chunki  $M = U^2$ ) va quvvat isrofi  $P_{isrof} = I^2R$  ortib boshlaydi.

Ma'lumki, asinxron motorlar o'z o'zini quvvat bo'yicha rostlash xususiyatiga ega. Aktiv quvvat o'zgarmasligi uchun  $P = 3UI\cos\varphi$  kuchlanish oshishiga (kamayishiga) qaramay motor iste'mol qilayotgan tokni kamaytirib (oshirib) kerakli miqdorda tarmoqdan olinadi. Shuning uchun kuchlanishni pasayishi tokning ortishiga va bu o'z navbatida Joul-Lens qonuniga asosan  $\Delta W = J^2$  energiyani issiqlik sarfi oshishiga olib keladi. Kuchlanish pasayishi, shuningdek po'latni qizitishga ketayotgan energiya isrofini va reaktiv quvvatini ortishiga olib keladi.

Uch fazali asinxron motorning stator chulg'amidagi nosimmetrik toklar natijasida simmetrik magnit yurutuvchi kuchlar to'g'ri, teskari va nol ketma ketligdagi magnit yurutuvchi kuchlarni hosil qiladi.

$$\begin{bmatrix} MYuK_a \\ MYuK_b \\ MYuK_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} MYuK_{a0} \\ MYuK_{b1} \\ MYuK_{c2} \end{bmatrix} \quad (A)$$



Magnit yurituvchi kuchlarda fazaviy holat  $\alpha = 1/120^\circ$  o'zaro bir- biridan farq qiladi.

$$\begin{bmatrix} \text{MYuK}_a \\ \text{MYuK}_b \\ \text{MYuK}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_a & 0 & 1 \\ 0 & N_b & a \\ 0 & a & N_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} \quad (\text{A})$$

Stator chulg'amidagi tok nosimmetrik holatda bo'lsa, ( $N_a \neq N_b \neq N_c$ ) bo'lsa, u holda simmetrik holatdagi MYuK nosimmetrik tokning tashkil etuvchilari (nol, to'g'ri va teskari) tomonidan hosil qilinadi. Ularni quyidagicha yozamiz [5; 23-b, 11; 32-37-b.].

$$\begin{bmatrix} \text{MYuK}_{a0} \\ \text{MYuK}_{b1} \\ \text{MYuK}_{c2} \end{bmatrix} = N_a \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{\text{anol}} \\ \dot{I}_{\text{bto'g'ri}} \\ \dot{I}_{\text{ctes}} \end{bmatrix} \quad (\text{A})$$

(2.2, 2,3)- tenglamalardan foydalanib quyidagi fo'rmulani hosil qilamiz.

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ b & ba^2 & ba \\ 1 & ca & ca^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{\text{anol}} \\ \dot{I}_{\text{bto'g'ri}} \\ \dot{I}_{\text{ctes}} \end{bmatrix} \quad (\text{A})$$

Asinxron motor stator chulg'amida hosil bo'ladigan kuchlanishni quyidagicha yozamiz.

$$\dot{U}_i = (R_i + jX_i) \dot{I}_i + \dot{E}_1 \quad (\text{V})$$

bu yerda,  $\dot{U}_i, \dot{E}_1$  –asinxron motor stator chulg'ami faza kuchlanishi va EYuKsi.

$R_i, jX_i$  – fazadagi aktiv va reaktiv qarshiliklar.

$$\dot{E}_{\text{ato'g'ri}} = \dot{Z}_{\text{ato'g'ri}} \cdot \dot{I}_{\text{ato'g'ri}} \quad (\text{V})$$

$$\dot{E}_{\text{ates}} = \dot{Z}_{\text{ates}} \cdot \dot{I}_{\text{ates}} \quad (\text{V})$$

(2.4, 2.7 – formulalardan foydalanib quyidagi fo'rmulani yozamiz.

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_a \\ \dot{U}_b \\ \dot{U}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{ca} & 1 & \dot{Z}_{\text{stes}} \\ \dot{Z}_{ca}/b & a^2 \dot{Z}_{\text{ato'g'ri}}/b & a \dot{Z}_a/b \\ \dot{Z}_{ca}/c & a \dot{Z}_a/c & a^2 \dot{Z}_{\text{ates}}/c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{\text{anol}} \\ \dot{I}_{\text{bto'g'ri}} \\ \dot{I}_{\text{ctes}} \end{bmatrix} \quad (\text{V})$$

bu yerda,

$$\dot{Z}_{sa} = R_{ca} + jX_{ca} \quad (\text{om})$$

$$\dot{Z}_{\text{ato'g'ri}} = \dot{Z}_{ca} + \dot{Z}_{\text{ato'g'ri}} \quad (\text{om})$$

$$\dot{Z}_{ates} = \dot{Z}_{ca} + \dot{Z}_{ates} \quad (\text{om})$$

$$R_{cb} = b^2 R_{ca}, \quad R_{cc} = c^2 R_{ca}, \quad X_{cb} = b^2 X_{ca}, \quad X_{cc} = c^2 X_{ca} \quad (\text{om})$$

Asinxron motor iste'mol qilayotgan tarmoq kuchlanishi o'zgarishining ko'rib chiqamiz.

Quyidagi jadvalda kuchlanish og'ishini  $-10$  dan  $+10\%$  oraliqda ko'ramiz.

2.1-jadval

Asinxron motorning texnik va energetik ko'rsatkichlariga tok nosimmetriyasini ta'sirini tahlili.

№	Asinxron motorning texnik ko'rsatkichlari	Kuchlanish o'zgargandagi tavsiflar o'zgarishi	
		-10%	+10%
1	2	3	4
11	Ishga tushuruvchi va aylantiruvchi moment $M_{ish}, M_{ayl} [N*m]$	-19%	+21%
22	Sinxron aylanish soni n [ayl/min]	const	const
33	Sirpanish, s [%]	+23%	-17%
44	Nominal yuklamada aylanish chastotasi $N_{nom}, [ayl/min]$	-1,5%	+1%
55	F.I.K. a). Nominal yuklamada 100 % da b). Yuklama 75% da v). Yuklama 50% da	+2% const -1÷-2%	+1% const -1÷+2%
66			

	Quyidagi yuklamalarda cosφ: a) 100% b) 75% v) 50%	+1 % +2÷3 % +4÷5 %	-3 % -4 % -5÷6 %
7	$I_r$ [A], rotor toki	+14%	-11%
88	$I_s$ [A], nominal yuklamada stator toki	+10%	-7%
99	$I_{ish.t}$ [A], ishga tushirish toki	-10÷-12%	+10÷+12%
110	Nominal yuklamada cho'lg'amlarda $t$ °C haroratning o'sishi	+5÷+6 <sup>0</sup> °C	Amalda o'zgarmaydi

Yuqoridagi keltirilgan qiymatlar asinxron motorlar tavsifini ko'rsatadi. Tok va kuchlanishning nominal qiymatdan og'ishi asinxron motor bilan birga ishlayotgan qurilmalarning ham ish holatiga ta'sir qilish natijasida quyidagi muammolar va isroflarni keltirib chiqaradi.

Kuchlanishning o'rtacha 3,86% nominal qiymatdan og'ishi oqibatida "Singlida" x/k dagi YR-355-8 tipli, quvvati 220 kVt bo'lgan drobilkadagi asinxron motor 28000 kilowatsoat/yil ortiqcha reaktiv quvvat iste'moli aniqlangan.

Kuchlanish og'ishi 2,87% bo'lganda "Andijon biokimyozavodi" AJ dagi asinxron motorlarning stator chulg'ami izolyatsiya qarshiligi o'zgarishiga olib keladi, natijada ruhsat etilgan qizish harorati  $t < 3 - 5$  °C oshishiga olib keladi, hamda reaktiv quvvat iste'molini ortishini keltirib chiqaradi.

Asinxron motorlar tez- tez o'zgaruvchan yuklama bilan ishlaganda elektr tarmog'idan iste'mol qilayotgan quvvatda kuchli silkinish sodir bo'ladi. Buning natijasida elektr tarmoqda kuchlanish katta ko'lamda o'zgaradi. Natijada shu tarmoqqa ulangan boshqa elektr iste'molchilarning ish faoliyatiga salbiy ta'sir

ko'rsatadi. Agar kuchlanish nominaldan 15% dan tushib ketsa, asinxron motorning magnit yurgizuvchilari o'chib qolishi mumkin. Elektr ta'minot tizimida kuchlanish tebranishi natijasida asinxron motor aktiv quvvatining  $\Delta P$  va reaktiv quvvatining  $\Delta Q$  ga ortishi quyidagicha ifodalanadi.

$$\sigma U = \frac{\Delta P z \pm \Delta Q x}{S_k z} = \frac{\Delta P \frac{r}{x} + \Delta Q}{S_k \frac{z}{x}}$$

Bunda,  $\sigma U$  – nisbiy birlikdagi kuchlanish yo'qotilishi;

$\Delta P$  va  $\Delta Q$  – uch fazali asinxron motorning aktiv va reaktiv quvvat isroflari;

$r, x, z$ – asinxron motorning aktiv, reaktiv va to'la qarshiliklari;

$S_k$  – kuchlanish tebranishi tekshirilayotgan nuqtadagi qisqa tutashish quvvati.

$\frac{r}{x}$  – asinxron motorning aktiv va reaktiv qarshiliklarini nisbat.

Shunday qilib, kuchlanish o'zgarishi ko'lami asosan ta'minlovchi manbaning qisqa tutashish vaqtidagi quvvati bilan aniqlanadi.

Tarmoqdagi kabellardan tashqari barcha elementlarning aktiv qarshiligi induktiv qarshiliklardan kichikdir. Shuning uchun  $\frac{r}{x}$  ning natijaviy ifodasi deyarli ta'sir ko'rsatmaydi. Bu holda tez o'zgaruvchan zarbiy yuklama hosil qiladigan kuchlanish tebranishini hisoblash osonlashadi.

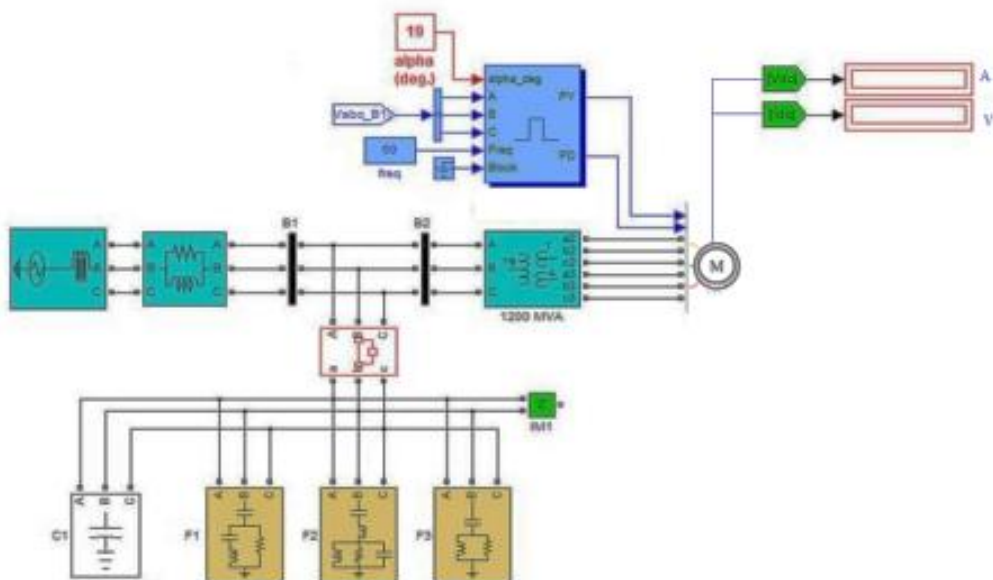
Asinxron motorlarda kuchlanish tebranishini hisoblashning yuqoridagi  $\frac{r}{x}$  munosabati o'rtacha 0,1÷0,03 chegarasida yotadi. Bunda  $\frac{z}{x}$  munosabati taxminan 1 ga teng bo'ladi.

$$\delta U = \frac{(0,1 \div 0,03)\Delta P \pm \Delta Q}{S_k}$$

Asinxron motorni tarmoqdan iste'mol qilayotgan kuchlanish tebranishini turli hil filtrlar orqali rostlash mumkin.

Bilamizki asinxron motorning validagi yuklama momentining har bir qiymatida asinxron motor statoridagi kuchlanishning shunday qiymati bor bo'ladiki, mazkur qiymatda stator toki minimal bo'ladi. Asinxron motorni magnitlanish toki qo'yilgan kuchlanishga bog'liq bo'ladi.

Yuqorida keltirilgan malumotlardan hulosa qilish mumkinki, stator chulg'amiga berilgan kuchlanish sifat ko'rsatkichi talab darajasida bo'lsa asinxron motorning ish rejimini ijobiy deb qarash mumkin. Lekin amalda o'rganilgan asinxron motorlarning iste'mol qilayotgan kuchlanishi nosimmetrik ko'rsatkichlarni beradi .



3.2-rasm. Asinxron motor nosimmetrik kattaliklarni simmetrik holatga keltiruvchi filtr garmonikasining modeli.

“Andijon biokimyó” AJ, “Spektr“ x/k, “Singlida” x/k va boshqa ishlab chiqarish zavodlarida elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlari talab darajasida emas. Tarmoqdan berilayotgan kuchlanishning standart qiymatini elektr energiya iste'molchilariga yetkazib berishning imkoni yo'q, chunki elektr energiyani bir joydan ikkinchi joyga uzatishda o'tkazgich simlardan foydalaniladi, o'tkazgichdan tok oqib o'tganda bilamiz 5% gacha isrof kuzatiladi, undan boshqa asosiy isroflarni izohlash masalani yechimini topishga aslo yordam bermaydi. Shuning uchun elektr energiyaning asosiy iste'molchisi asinxron motorlarning reaktiv quvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichini qo'llash masalaning yechimiga qaratilgan bir usul bo'lib xizmat qiladi. Quyidagi rasmda asinxron motorning tarmoqdan iste'mol qilayotgan nosimmetrik tok holatini aniqlash va uni boshqarishdan iborat.



keluvchi nosimmetriyalarni bartaraf etishda nosimmetriyani nazorat qilish bloki 8 dan keluvchi signallarning qiymati asosida har bir fazadagi kuchlanishlarning qiymati boshqarish bloki 10 orqali rostlanadi.

Boshqarish bloki 10, A faza kuchlanishini rostlovchi tiristorlar 11, B faza kuchlanishalarini rostlovchi tiristorlar 12, C faza kuchlanishalarini rostlovchi tiristorlar 13, ga signal beradi va ularni boshqaradi. Nosimmetriya vaqtida A faza kuchlanishini rostlovchi tiristorlar, ushbu fazaga mos o'rnatilgan kuchaytiruvchi transformator 14 ni kuchlanish qiymatini, B faza kuchlanishini rostlovchi tiristorlar, ushbu fazaga mos o'rnatilgan kuchaytiruvchi transformator 15 ni kuchlanish qiymatini, C faza kuchlanishini rostlovchi tiristorlar, ushbu fazaga mos o'rnatilgan kuchaytiruvchi transformator 16 ni kuchlanish qiymatini boshqaradi.

Shunday qilib, asinxron motor stator chulg'ami toklari nosimmetrik rejimda ishlaganda, sezgir o'lchash signali orqali nazorat qilinadi.

Asinxron motorlarning stator chulg'amlari tarmoqqa ulanganda, stator va rotor chulg'amlarini kesib o'tuvchi maydonning bir qismi asosiy magnit maydon, stator va rotor chulg'amlarining simlari atrofida tutashgan magnit maydon stator va rotorning sochma magnit maydonini tashkil etadi. Asinxron motordagi asosiy manit maydon statorning magnit yurutuvchi kuchi  $F_1$  va rotorning manit yurituvchi kuchi  $F_2$  tufayli hosil qilinadi va manit holat tenglamasi bilan izohlanadi.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_{10} \quad (A)$$

bunda,  $\vec{F}_{10}$  – natijaviy magnit yurituvchi kuch hisoblanadi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, quvvati  $P = 0,25 - 100\text{kVt}$  li asinxron motorlarda kuchlanishni ruxsat etilgan oralig'ida 1% ga o'zgarishi, reaktiv quvvat iste'molini 3% o'zgarishiga olib keladi. Kuchlanishni oshishi bilan iste'mol qilinayotgan reaktiv quvvatni oshishidan, mashina po'latidagi magnitlash jarayoni ortadi, bu esa asinxron motor reaktiv quvvatini uch fazali toklarini nosimmetrikligini boshqarish zarurati tug'iladi. Asinxron motorning uch fazali nosimmetrik holatini baholash va ularning magnit jarayonlarini hisoblashda, birlamchi tokni ikklamchi kuchlanishga elektromagnit o'zartirishda hozirgi kunda qo'llanilayotgan axborot

texnologiya vositalaridan foydalanib loyihalash zarur bo'lyabdi. Matematik ifodalardan foydalangan holda asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichlarining asosiy o'zgartirish elementining tuzilishi hisobga olingan. Asosiy parametrlar quydagilar hisoblanadi.

$\Phi_{\mu}$  - magnit oqimi;

$F_{\mu}$  - magnit yurituvchi kuchlar;

$R_{\mu ijk}$  - aktiv magnit qarshilik;

$X_{\mu ijk}$  - reaktiv magnit qarshilik;

$R_E$  - elektr tarmoq qarshiligi;

$\alpha, \beta$  - harorat koeffitsientlari;

$\omega$  - zanjirlararo o'zgartirish koeffitsienti.

Bu miqdorlar kichik geometrik o'lchamli bo'lakda (ikki o'lchamli modelda  $i, j$ , uch o'lchamli modelda  $i, j, k$ ) o'zgarishligi tamoyili asosida amalga oshiriladi.

Asinxron motor reaktiv quvvati uch fazali toklar nosimmetrikligini nazorat va boshqarish uchun qo'llanilayotgan o'zgartkichning kirish kattaligi, stator chulg'amiga berilayotgan  $I_A, I_B$ , va  $I_C$  - birlamchi toklarni  $U_a, U_b, U_c$  - ko'rinishlaridagi ikkilamchi kuchlanishlar (signallarga) o'zgartirishda geometrik tuzilmasi asosidagi modelini shakllantirish algoritmi quyidagi ketma-ketlikdan iborat.

a) Asinxron motor stator chulg'amiga berilgan nosimmetrik kuchlanishni ikkilamchi chiquvchi kuchlanishga o'zgartiruvchi o'zgartkichning o'zgartirish bo'lagini kirishidagi turli xil kuchlanishlarning bo'g'liqligini ifodalovchi zanjirlararo o'zgartirish koeffitsienti asosida tuziladi.

b) Uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarida asosiy signal o'zgartirish elementi kichik geometrik o'lchamlarga ega elementar bo'lakchalarga bo'linadi. Bunda o'zgartirish geometrik shaklini elementar bo'lakchalarga bo'lish soni -  $n$  tok o'zgartkichi tasniflarini hisoblash aniqligi bilan belgilanadi.



c) signal o'zgartirish jarayoni tadqiq etilayotgan uch fazali toklar nosimmetrikligidagi toklarning turli hil qiymatidagi parametrlarining xususiyatlariga bog'liq holda qabul qilinadi.

d) signal o'zgartirishda kuchlanishning har xil qiymatlarini ifodalashda qator, tugun va ustunlar sonini modellashtirishda shakllantiriladi.

Asinxron motorlarga ko'ndalang va bo'ylama nosimmetriya ta'sir etganda o'zgartirgich bo'laklari gorizontol, vertikal (ikki o'lchamli model uchun) yoki gorizontol, vertikal, bo'ylama (uch o'lchamli model uchun) geometrik tuzilmaga ega bo'lsa, u holda bo'lakdagi magnit induksiya ko'rinishidagi magnit kattalik model tadqiqotlarida quyidagicha ifodalanadi.

ikki o'lchamli model uchun

$$B_{\mu ij} = \frac{F_{\mu ij} P_{ij}}{l_{ij}}$$

uch o'lchamli model uchun

$$B_{\mu ijk} = \frac{F_{\mu ijk} P_{ijk}}{l_{ijk}}$$

Asinxron motor stator chulg'amidan uch fazali elektr tarmog'ining toklari oqib o'tganda, o'zgartirish bo'lakchasi magnit o'zak bo'lganda modelga kirish tuguni M.Yu.K. (magnit yurituvchi kuch)  $F_{\mu}$  quyidagicha aniqlanadi.

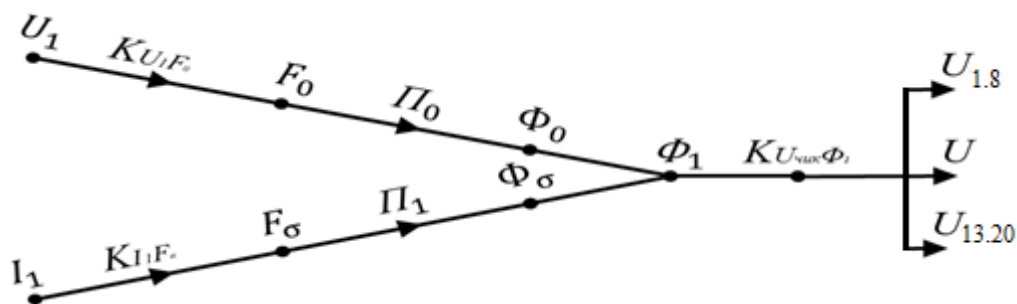
$$F_{\mu} = K_{IF} I \quad (A)$$

$$F_{\mu} = P_{\mu\Sigma} F_{\mu} \quad (A)$$

bu yerda,  $K_{IF}$  - birlamchi elektr tarmog'i toklarining ( $I_e$ ) M.Yu.K.  $F_{\mu}$  ga o'zgartirish fizik - texnik effekti zanjirlararo o'zgartirish koeffitsienti;  
 $P_{\mu\Sigma}$  - o'zgartirish bo'lagi xususiyati, tuzilishi (yig'ilgan yoki tarqalgan parametrli, bir yoki ko'p jinsli, chiziqli yoki nochiziqli va hokazo) va tugun va bo'lakchalar kattaliklarini aniqlash imkonini beruvchi usul asosida aniqlanuvchi parametr hisoblanadi.

Asinxron motor stator chulg'amiga nosimmetrik (simmetrik bo'lmagan, simmetrik holatda  $U_1=220$  (V)), agar stator chulg'amlari o'zaro "Yulduz" shaklda

ulangan bo'lsa)  $U_1$  kuchlanish berilgan bo'lsa,  $I_1$  stator toki,  $F_0$  va  $F_\sigma$  magnit yurituvchi kuchlari,  $F_0$  va  $F_\sigma$  magnit oqimlari va  $U_{chiq}$  chiqish ikkilamchi kuchlanish (signal) ko'rinishidagi modelning graf ko'rinishi quyidagicha bo'ladi.(3.1–rasm).



3.5–rasm. Asinxron motor reaktiv quvvati  $U_1$  kuchlanish,  $I_1$  stator toki,  $F_0$  va  $F_\sigma$  M.Yu.K.,  $\Phi_0$  va  $\Phi_\sigma$  magnit oqimlarini boshqariluvchan  $U_{chiq}$  signal ko'rinishidagi kuchlanishiga o'zgarishining modeli.

Tarmoqdan berilgan  $U_1$  kuchlanish va  $I_1$  stator toki,  $F_0$  va  $F_\sigma$  MYuK.lar,  $F_0$  va  $F_\sigma$  magnit oqimlarning  $U_{chiq}$  kuchlanish ko'rinishidagi signalga o'zgartirish jaroyonini analitik ifodasi shakllantiriladi.

$$U_{chiq} = K_{\Phi_1 U_{chiq}} (P_0 K_{U_1 F_0} U_1 - P_\sigma K_{I_1 F_\sigma} I_1) = U_{chiq.0} - U_{chiq.\sigma} \quad (V)$$

bu yerda  $P_0, P_\sigma$  elektr va magnit parametrlar.

Bunda,  $U_{chiq.0}$  analitik ifodada,  $U_{chiq}$  chiqish kuchlanishini  $U_1$  tarmoq kuchlanishiga bog'liq bo'lib, asinxron motorning ish rejimida iste'mol qilinayotgan kuchlanishning o'zarishini ifodalaydi.

$$U_{chiq} = K_{\Phi_1 U_{chiq}} P_0 K_{U_1 F_0} U_1 \quad (V)$$

$U_{chiq.\sigma}$  tashkil etuvchi esa,  $U_{chiq}$  chiqish kuchlanishini asinxron motorning  $I_1$  stator tokiga bog'liq bo'lgan qismi bo'lib, asinxron motor ish holatida bu qiymat stator toki o'zgarishiga proporsional o'zgaradi.

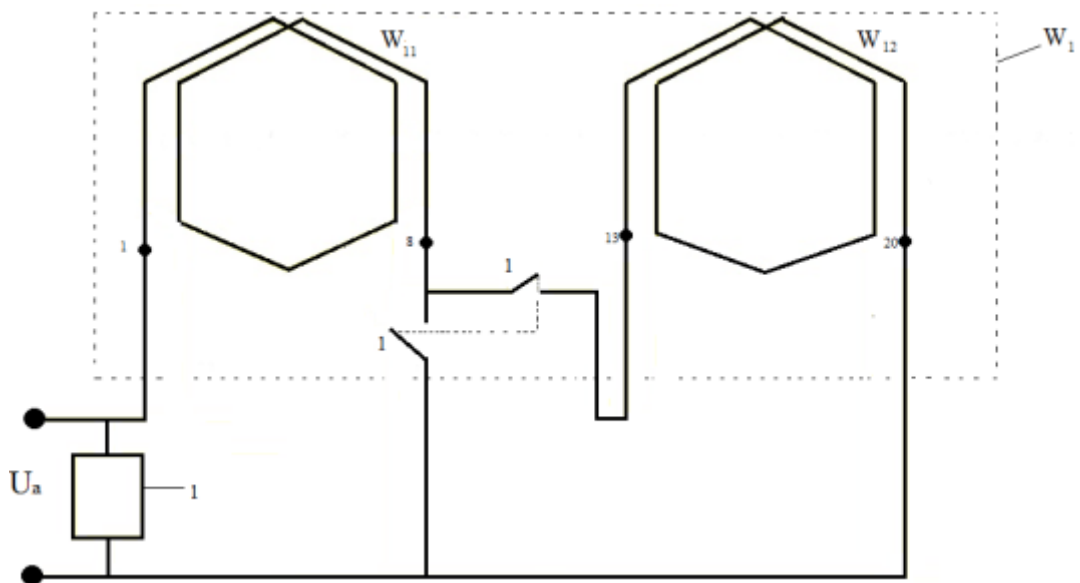
$$U_{chiq} = K_{\Phi_1 U_{chiq}} P_\sigma K_{I_1 F_\sigma} I_1 \quad (V)$$

Asinxron motor reaktiv quvvatini uch fazali toklar nosimmetrikligini nazorat va boshqarish uchun foydalanilayotgan chiquvchi kuchlanish ko'rinishidagi signal statorning ichki silindirik sirtidagi ariqchlarga joylashtirilgan chulg'am va pona orasiga qo'shimcha  $w=1$  ta o'ram shaklidagi alohida halqalarga ajratilgan chulg'am asosida hosil qilinadi.

### **3.2. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini o'zgartirish jarayonlarini modellashtirish**

Asinxron motor reaktiv quvvatini uch fazali toklar nosimmetriyasini nazorat va boshqaruvida birlamchi toklar qiymatini kuchlanish ko'rinishdagi chiqish signallariga o'zgartirish qurilmalarini tahlil qilishda modellashtirishning funksional-tuzilmaviy yondoshuvi asos qilib olingan. Asinxron motorning uch fazali stator toklarini ikkilamchi kuchlanish ko'rinishdagi chiqish kattaliklariga o'zgarishida turli fizik–texnik effektlardan foydalanish mumkin. O'lchash elementi sifatida olingan izolyatsiyalangan chulg'am o'tkazgichi o'zgartkichning chiziqli chiqish tavsifini, yuqori aniqliligi va sezgirligini ta'minlovchi bo'lak bo'lib, stator toklarini samarali chiqish kuchlanishiga o'zgarishini ta'minlaydi. Bunda o'lchash elementlarini asinxron motorning stator pazlaridagi asosiy chulg'amlari va ponalari orasiga joylashtirilgan o'lchash element chiqishda kuchlanish ko'rinishidagi kattalikni hosil qilishni ta'minlaydi.

Mazkur o'zgartgichda asinxron motor birlamchi tokining o'zgarishi va nazorati magnit oqimlari asosida stator chulg'amlari tomonidan hosil qilinadi, o'lchash chulg'amining ikkita mustaqil halqasi kontrollerning o'zaro blokirovkalanuvchi kontaktlari orqali ketma-ket yoki alohida ulanadi, shu holdagina u (halqa)larning chiqish kuchlanishi halqalarning qanday ulanishini aniqlaydi: Bir yo'la ikkita halqaning ketma-ket ulanishi bitta alohida o'lchash halqasiga nisbatan ikki karra katta chiqish kuchlanishini ta'minlaydi.



3.6-rasm. Ikkita mustaqil chulgʻamlarga ega asinxron motorning  $U_a$  tokni kuchlanishga oʻzgartiruvchi boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok oʻzgartkich.

Ushbu rasmdan koʻrinadiki, asinxron motor stator chulgʻami bitta fazasining birlamchi toki  $I_A$  ning ikkilamchi kuchlanish  $U_a$  ga oʻzgartkichi oʻlchash chulgʻami  $W_1$ , ikkita mustaqil halqa  $W_{11}$  va  $W_{12}$  dan tashkil topgan, ular kontroller  $K_1$  ning oʻzaro blokirovkalanuvchi kontaktlari  $K_{31}$  i  $K_{32}$  holatiga bogʻliq ravishda alohida yoki ketma-ket ulanadi. Asinxron motor elektr tarmogʻiga ulanganida chiqish kuchlanishining kattaligi  $U_a$  bitta mustaqil oʻlchash chulgʻami halqasi  $W_{11}$ ning kuchlanishidan quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{a\Sigma} = U_a = U_{1,8} = \left(4,44 \cdot f \cdot W_{c1} \cdot \frac{I_A}{R_\mu}\right) W_{11} \quad (\text{V})$$

bunda  $f$  — tarmoq chastotasi,

$W_{c1}$  — asinxron motorning A fazasi stator chulgʻamlarining oʻramlari soni

$W_{11} = W_{1,8}$  — asinxron motorning oʻlchash chulgʻami

$W_{11}$  chulgʻamidan  $I_1$ , tok oʻtishi natijasida asosiy  $\Phi_{1,8}$ , va sochiluvchi  $\Phi_{\sigma 1,8}$  magnet oqimlari hosil boʻladi.

$$\Phi_{1,8} = \frac{1}{4,44fW_{11}} U_{1,8} \quad (\text{Vb})$$

$$\Phi_{\sigma 1,8} = \frac{L_{\sigma 1,8} I_1}{W_{11}} \quad (\text{Vb})$$

Asosiy va sochilish magnit oqimlari o'lchash chulg'amlarini kesib o'tib chulgada elektr yurituvchi kuchlarni hosil qiladi.

$$E_{1.8} = \sqrt{2}\pi f w_{11} \frac{1}{\sqrt{2}\pi f w_1} (I_1 - Z_{1.8} I_{1.8}) = \frac{U_{1.8} - Z_{1.8} I_{1.8}}{k_w} \quad (\text{V})$$

bu yerda,  $k_w = \frac{w_{11}}{w_1}$  o'lchash chulg'ami o'ramlar soni, stator chulg'ami o'ramlar soniga nisbati transformatsiya koeffitsienti.

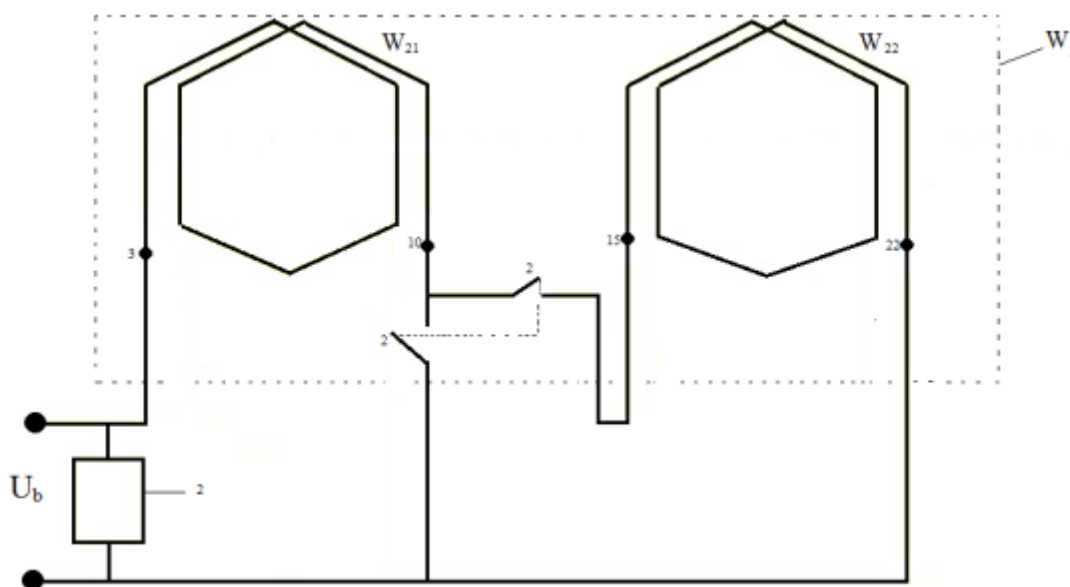
$Z_{1.8} = R_{1.8} + jX_{1.8}$  statordagi o'lchash chulg'ami to'la qarshiligi

Agarda asinxron motor o'lchash chulg'ami bitta halqali  $W_{11}$  chulg'aming chiqish kuchlanishi standart o'lchashlarda va nazoratlarda me'yorlangan qiymati — 5 Voltdan kichik bo'lsa, 3.6-rasmda ko'rsatilgan  $K_1$  kontroller dasturi asosida kontakt  $K_{12}$  ulanadi va chiqish kuchlanishi quyidagicha aniqlanadi

$$U_{a\Sigma} = U_{1,8} + U_{13,20} \quad (\text{V})$$

$$U_a = \left( 4,44 \cdot f \cdot W_{c1} \cdot \frac{I_A}{R_\mu} \right) (W_{11} + W_{12}) \quad (\text{V})$$

Bunda,  $W_{11} = W_{12}$  halqalar bir biriga tengliginin hisobga olib,  $K = 2$  ga teng bo'lishini aniqlaymiz. Bunda yig'indi kuchlanish boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartgichning alohida halqasidagi kuchlanishidan ikki marta katta bo'ladi.



3.7-rasm. Ikkita mustaqil halqa chulg'amlarga ega asinxron motorning  $U_b$  tokni kuchlanishga o'zgartiruvchi, boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi.

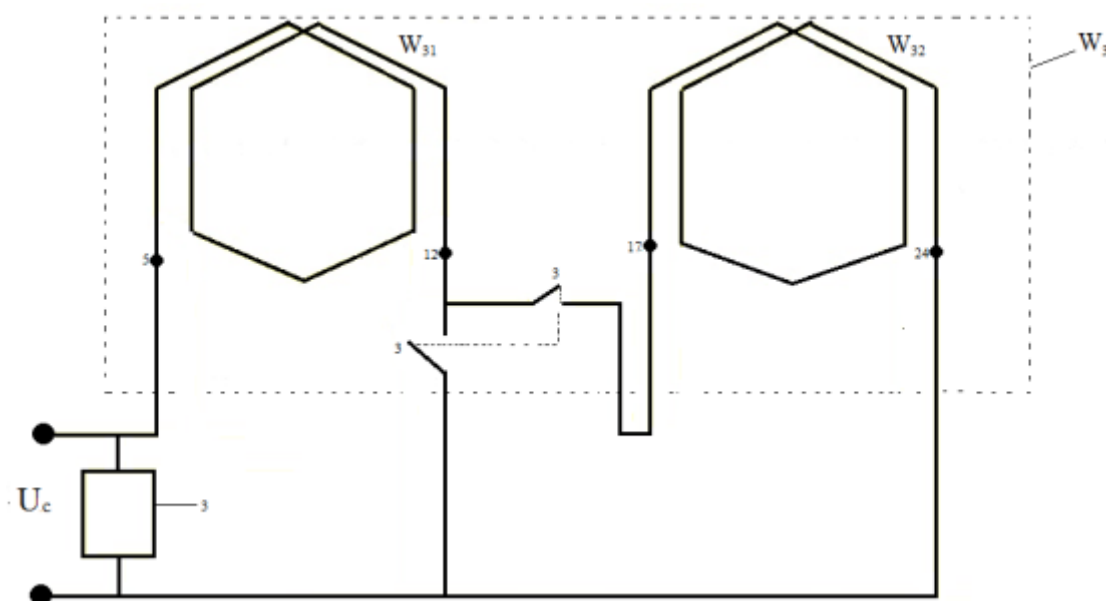
$$U_{a\Sigma} = 2U_a \quad (\text{V})$$

Chiqish kuchlanishlari  $U_{b\Sigma}$  va  $U_{s\Sigma} - B$  va  $C$  chulgʻamlarga boʻlish orqali  $U_{3,10}$ ,  $U_{15,22}$  boshqariluvchan chiqish kuchlanishni hosil qilamiz.

$$U_{b\Sigma} = U_{3,10} + U_{15,22} \quad (\text{V})$$

$$U_b = \left( 4,44 \cdot f \cdot W_{c1} \cdot \frac{I_A}{R_\mu} \right) (W_{21} + W_{22}) \quad (\text{V})$$

Asinxron motorning  $U_c$  faza tokini ikkita mustaqil halqaga chulgʻamlarga boʻlish orqali  $U_{5,12}$ ,  $U_{17,24}$  boshqariluvchan chiqish kuchlanishni hosil qilamiz.



3.8-rasm. Ikkita mustaqil halqa chulgʻamlarga ega asinxron motorning  $U_c$  tokni kuchlanishga oʻzgartiruvchi, boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok oʻzgartkichi.

$$U_{c\Sigma} = U_{5,12} + U_{17,24} \quad (\text{V})$$

$$U_c = \left( 4,44 \cdot f \cdot W_{c1} \cdot \frac{I_A}{R_\mu} \right) (W_{31} + W_{32}) \quad (\text{V})$$

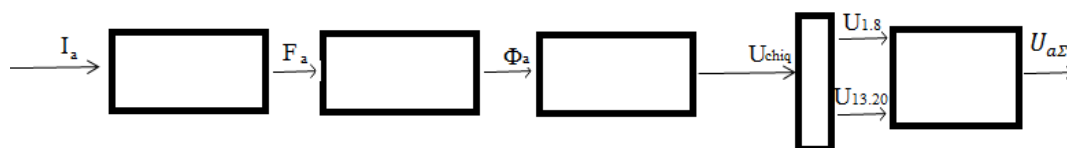
Shunday qilib, asinxron motor birlamchi tokining oʻlchash diapazonini kengaytirish stator chulgʻami toklari tomonidan yaratilgan magnet oqimining nazorati yoʻli bilan oʻlchash chulgʻamining halqalarini oʻzaro kontrollerning blokirovkalanuvchi kontaktlari bilan alohida yoki ketma-ket ulash asosida erishiladi, bu yerda chiqish kuchlanishi mustaqil halqalarning ulanish sxemasi bilan aniqlanadi:

ikkita halqaning ketma-ket ulanishi asinxron motor tokni kuchlanishga o'zgartirgichning o'lchash chulg'ami chiqish kuchlanishining bitta alohida halqasiga nisbatan ikki karra kattaroq qiymatini ta'minlaydi.

### 3.3–§. Asinxron motor reaktiv quvvati uch fazali tok nosimmetrikligi o'zgartkichlarining tuzilmalarining fizik–texnik ta'sirlarini modellashtirish

Asinxron motorning reaktiv quvvatini nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartirgichlarining elementlari va zanjirlararo bog'lanishlarini modellashtirish va o'zgartkichlarni tuzilish tamoyillarini tadqiq qilishda, o'zgartkich tuzilmasi asosini tashkil etuvchi fizika–texnik effektlarni tadqiq etish talab qilinadi. Birlamchi uch fazali toklar qiymatini kuchlanish ko'rinishdagi kattaliklarga o'zgartirish jarayonini va o'zgartkich tuzilmasining modelini qurish algoritmi har xil turdagi fizik tabiatli signal o'zgartirish tamoyillarini, o'zgartkich tuzilmasi va elementlarining kattaliklari va parametrlarini o'zaro munosabatlarini o'z ichiga oladi. Ushbu algoritm asinxron motorning reaktiv quvvatini nazorat qilish va boshqarish jarayoniga mos keladi.

Asinxron motorning birlamchi toki o'zgartkichini tuzilmasi va FTE lar asosida tuzilgan modelning ko'rinishi 3.9 – rasmda keltirilgan.



3.9 – rasm. Asinxron motorning reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichida qo'llanilgan fizik–texnik effektlari asosida umumlashgan modeli.

Asinxron motorning uch fazali toklari kattalik va parametrlarini o'zgartkichi tuzilmalarining fizik–texnik effektlarini modellashtirishda o'zgartkichning tuzilmasida qo'llanilgan fizik–texnik effektlar (FTE) e'tiborga olingan parametrik

tuzilish sxemasi, elektr kattalik va parametrlarni o'zgartirish, ularni o'zaro bog'lanish tuzilmasining graf modeli ishlab chiqiladi.

Bu yerda  $U_{chiq.}$  – chiqish kuchlanishi tashkil etuvchisi;  $U_{1,8}$  – bitta halqadagi boshqariluvchan chiqish kuchlanishni tashkil etuvchisi,  $U_{13.20\ 8}$  – ikkinchi halqadagi boshqariluvchan chiqish kuchlanishni tashkil etuvchisi,  $U_{a\Sigma}$  – umumiy o'lchash chulg'amidagi yig'indi boshqariluvchan chiqish kuchlanishni tashkil etuvchisi.

Asinxron motorga elektr energiyani tarmoqdan yetkazib berish jarayonida turli xil tashqi va ichki parametrlarni hisobga olib, iste'mol qilnayotgan reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishga o'zgarishini graf modelini quyidagicha yozib olamiz.

$$U_{a\Sigma} = U_a = U_{1,8} = \left(4,44 \cdot f \cdot W_{c1} \cdot \frac{I_A}{R_\mu}\right) W_{11} \quad (V)$$

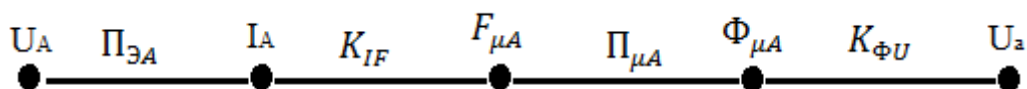
bu yerda:  $I_A$  – asinxron motor iste'mol qilayotgan elektr tarmog'ining A fazasi birlamchi toki;

$f$  – tok chastotasi;

$w_{11}$  – boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich sezish elementining bitta halqasi;

Asinxron motor stator chulg'ami A fazasi uchun xisoblab chiqiladi.

Asinxron motorning reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishga bitta sezgir elementli tok o'zgartkichining yig'iq parametrli modeli quyida keltirilgan.



3.10-rasm. Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan kuchlanishni bitta sezgir elementli o'zgartkichning yig'iq parametrli modeli.

Bundan,

$$I_A = P_{EA} \cdot U_A = \frac{U_A}{R_A} \quad (A)$$



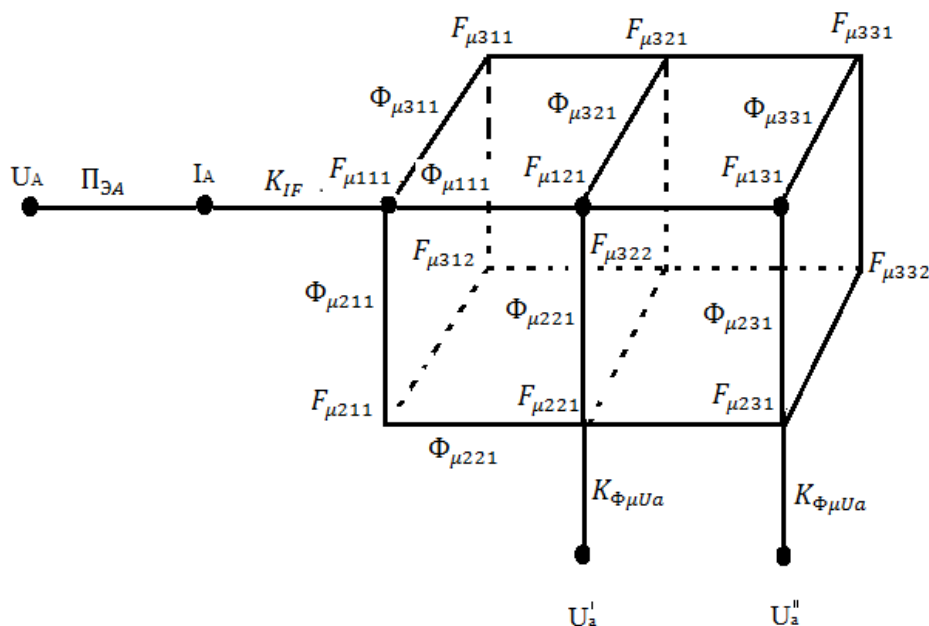
$$F_{\mu A} = K_{IF} \cdot I_A = K_{IF} \cdot P_{EA} \cdot U_A = K_{IF} \cdot \frac{1}{R_A} \cdot U_A \quad (\text{A})$$

$$F_{\mu A} = P_{\mu A} \cdot F_{\mu A} = P_{\mu A} \cdot K_{IF} \cdot I_A = P_{\mu A} \cdot K_{IF} \cdot P_{EA} \cdot U_A \quad (\text{A})$$

$$U_a = K_{FU} \cdot F_{\mu A} = K_{FU} \cdot P_{\mu A} \cdot K_{IF} \cdot P_{EA} \cdot U_A \quad (\text{V})$$

$$U_a = 4,44 \cdot f \cdot W_C \cdot \frac{I_A \cdot W_{cE}}{R_{\mu A}} \quad (\text{V})$$

Asinxron motorning reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishga ikkita sezgir elementli o'zgartkichning tarqoq parametrli modeli quyida keltirilgan.



3.11-rasm. Asinxron motorning reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarning boshqariluvchan chiqish kuchlanishini ikkita sezgir elementli o'zgartkichning tarqoq parametrli modeli.

Asinxron motorning stator o'zakida uch fazali stator toklari magnit yurituvchi kuchlarni hosil qiladi [12-b.].

Ikkita sezgir elementli o'zgartkichning chiqishidagi boshqariluvchan chiqish kuchlanishi quyidagicha shakllantirildi.

$$\frac{F_{\mu 111} - F_{\mu 121}}{R_{\mu 111}} + \frac{F_{\mu 111} - F_{\mu 211}}{R_{\mu 211}} + \frac{F_{\mu 111} - F_{\mu 311}}{R_{\mu 311}} = K_{IF} \cdot I_A$$

yoki

$$\left( \frac{1}{R_{\mu 111}} + \frac{1}{R_{\mu 211}} + \frac{1}{R_{\mu 311}} \right) \cdot F_{\mu 111} - \frac{1}{R_{\mu 111}} F_{\mu 121} - \frac{1}{R_{\mu 211}} F_{\mu 211} - \frac{1}{R_{\mu 311}} F_{\mu 311} =$$

$$= K_{IF} \cdot I_A$$

Asinxron motorning reaktiv quvvatini nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishini birinchi halqasidagi ya'ni bitta sezgir elementdan olinayotgan kuchlanish quyidagicha ifodalanadi.

$$U'_a = K_{F\mu UA} \cdot W'(I_A, U'_a) \cdot K_{IF} \cdot I_A \quad (V)$$

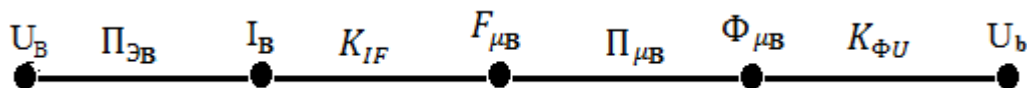
Xuddi shu asosida ikkinchi halqadagi boshqariluvchan chiqish kuchlanishini topib olamiz.

$$U''_a = K_{F\mu UA} \cdot W''(I_A, U''_a) \cdot K_{IF} \cdot I_A \quad (V)$$

Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishini ikkita sezgir elementdan olinayotgan signalni quyidagicha ifodalaymiz.

$$U_a = U'_a + U''_a = K_{F\mu UA} (W'(I_A, U'_a) + W''(I_A, U''_a)) \cdot K_{IF} \cdot I_A \quad (V)$$

**Asinxron motor stator chulg'ami B fazasi uchun hisoblab chiqiladi.**



3.12-rasm. Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining B fazadagi bitta sezgir elementli o'zgartkichning yig'iq parametrli modeli.

Bundan,

$$I_B = P_{EB} \cdot U_B = \frac{U_B}{R_B} \quad (A)$$

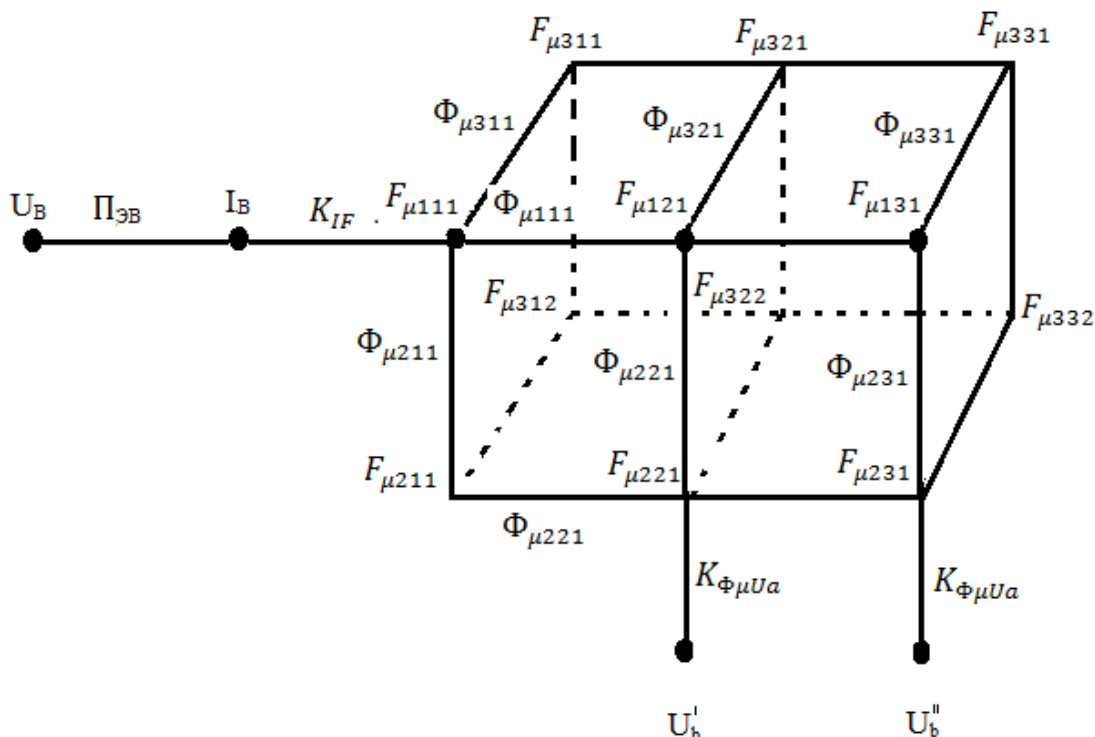
$$F_{\mu B} = K_{IF} \cdot I_B = K_{IF} \cdot P_{EB} \cdot U_B = K_{IF} \cdot \frac{1}{R_B} \cdot U_B \quad (A)$$

$$F_{\mu B} = P_{\mu B} \cdot F_{\mu B} = P_{\mu B} \cdot K_{IF} \cdot I_B = P_{\mu B} \cdot K_{IF} \cdot P_{EB} \cdot U_B \quad (A)$$

$$U_b = K_{FU} \cdot F_{\mu B} = K_{FU} \cdot P_{\mu B} \cdot K_{IF} \cdot P_{EB} \cdot U_B \quad (V)$$

$$U_b = 4,44 \cdot f \cdot W_c \cdot \frac{I_B \cdot W_{cE}}{R_{\mu B}} \quad (V)$$

Asinxron motorning reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning B fazasi uchun ishlab chiqilgan ikkita sezgir elementli tarqoq parametrli modeli quyida keltirilgan.



3.13-rasm. Asinxron motorning reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarning boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining ikkita sezgir elementli tarqoq parametrli modeli.

Ikkita sezgir elementli o'zgartkichning chiqishidagi boshqariluvchan chiqish kuchlanishi quyidagicha shakllantiriladi.

$$\frac{F_{\mu 111} - F_{\mu 121}}{R_{\mu 111}} + \frac{F_{\mu 111} - F_{\mu 211}}{R_{\mu 211}} + \frac{F_{\mu 111} - F_{\mu 311}}{R_{\mu 311}} = K_{IF} \cdot I_B$$

yoki

$$\left( \frac{1}{R_{\mu 111}} + \frac{1}{R_{\mu 211}} + \frac{1}{R_{\mu 311}} \right) \cdot F_{\mu 111} - \frac{1}{R_{\mu 111}} F_{\mu 121} - \frac{1}{R_{\mu 211}} F_{\mu 211} - \frac{1}{R_{\mu 311}} F_{\mu 311} = K_{IF} \cdot I_B$$

Asinxron motorning reaktiv quvvatini nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishini birinchi halqasidagi ya'ni bitta sezgir elementdan olinayotgan kuchlanish quyidaicha ifodalanadi.

$$U'_b = K_{F\mu UB} \cdot W'(I_B, U'_b) \cdot K_{IF} \cdot I_B \quad (\text{V})$$

Xuddi shu asosida ikkinchi halqadagi boshqariluvchan chiqish kuchlanishini topib olamiz.

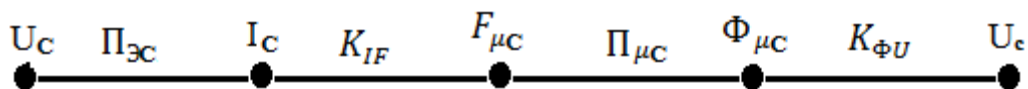
$$U''_b = K_{F\mu UB} \cdot W''(I_B U''_b) \cdot K_{IF} \cdot I_B \quad (\text{V})$$

Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli ikkita sezgir elementdan olinayotgan signalni quyidagicha ifodalaymiz.

$$U_b = U'_b + U''_b = K_{F\mu UB}(W'(I_B, U'_B) + W''(I_B U''_B)) \cdot K_{IF} \cdot I_B \quad (\text{V})$$

**Asinxron motor stator chulg‘ami C fazasi uchun hisoblab chiqiladi.**

Asinxron motorning reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichning bitta sezgir elementli yig‘iq parametrli modeli quyidagicha.



3.14-rasm. Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichning bitta sezgir elementli yig‘iq parametrli modeli.

Bundan,

$$I_C = P_{EC} \cdot U_C = \frac{U_C}{R_C} \quad (\text{A})$$

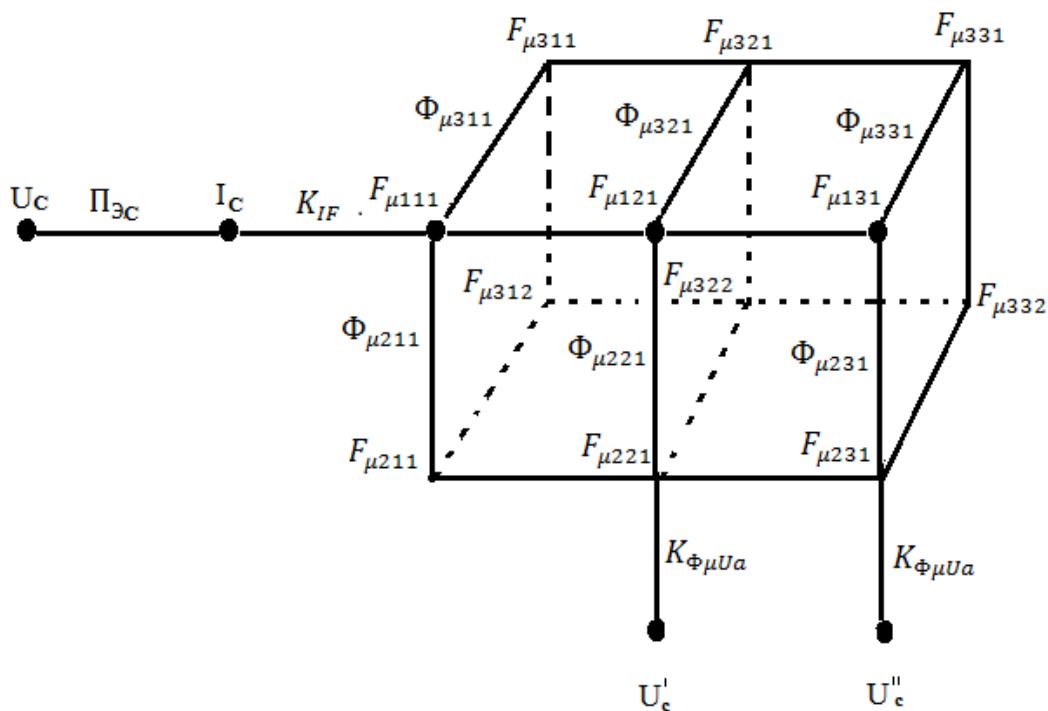
$$F_{\mu C} = K_{IF} \cdot I_C = K_{IF} \cdot P_{EC} \cdot U_C = K_{IF} \cdot \frac{1}{R_C} \cdot U_C \quad (\text{A})$$

$$F_{\mu C} = P_{\mu C} \cdot F_{\mu C} = P_{\mu C} \cdot K_{IF} \cdot I_C = P_{\mu C} \cdot K_{IC} \cdot P_{EC} \cdot U_C \quad (\text{A})$$

$$U_b = K_{FU} \cdot F_{\mu C} = K_{FU} \cdot P_{\mu C} \cdot K_{IF} \cdot P_{EC} \cdot U_C \quad (\text{V})$$

$$U_C = 4,44 \cdot f \cdot W_c \cdot \frac{I_C \cdot W_{cE}}{R_{\mu C}} \quad (\text{V})$$

Asinxron motorning reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishga ikkita sezgir elementli o‘zgartkichning tarqoq parametrli modeli quyida keltirilgan.



3.15-rasm. Asinxron motorning reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarning boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zartkichining ikkita sezgir elementli tarqoq parametrli modeli.

Ikkita sezgir elementli o‘zgartkichning chiqishidagi boshqariluvchan chiqish kuchlanishi quyidagicha shakllantiriladi.

$$\frac{F_{\mu 111} - F_{\mu 121}}{R_{\mu 111}} + \frac{F_{\mu 111} - F_{\mu 211}}{R_{\mu 211}} + \frac{F_{\mu 111} - F_{\mu 311}}{R_{\mu 311}} = K_{IF} \cdot I_c$$

yoki

$$\left( \frac{1}{R_{\mu 111}} + \frac{1}{R_{\mu 211}} + \frac{1}{R_{\mu 311}} \right) \cdot F_{\mu 111} - \frac{1}{R_{\mu 111}} F_{\mu 121} - \frac{1}{R_{\mu 211}} F_{\mu 211} - \frac{1}{R_{\mu 311}} F_{\mu 311} = K_{IF} \cdot I_c$$

Asinxron motorning reaktiv quvvatini nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishini birinchi halqasidagi ya’ni bitta sezgir elementdan olinayotgan kuchlanish quyidagicha ifodalanadi.

$$U'_c = K_{F\mu UC} \cdot W'(I_c, U'_c) \cdot K_{IF} \cdot I_c$$

Xuddi shu asosida ikkinchi halqadagi boshqariluvchan chiqish kuchlanishini topib olamiz.

$$U''_c = K_{F\mu UC} \cdot W''(I_c, U''_c) \cdot K_{IF} \cdot I_c$$

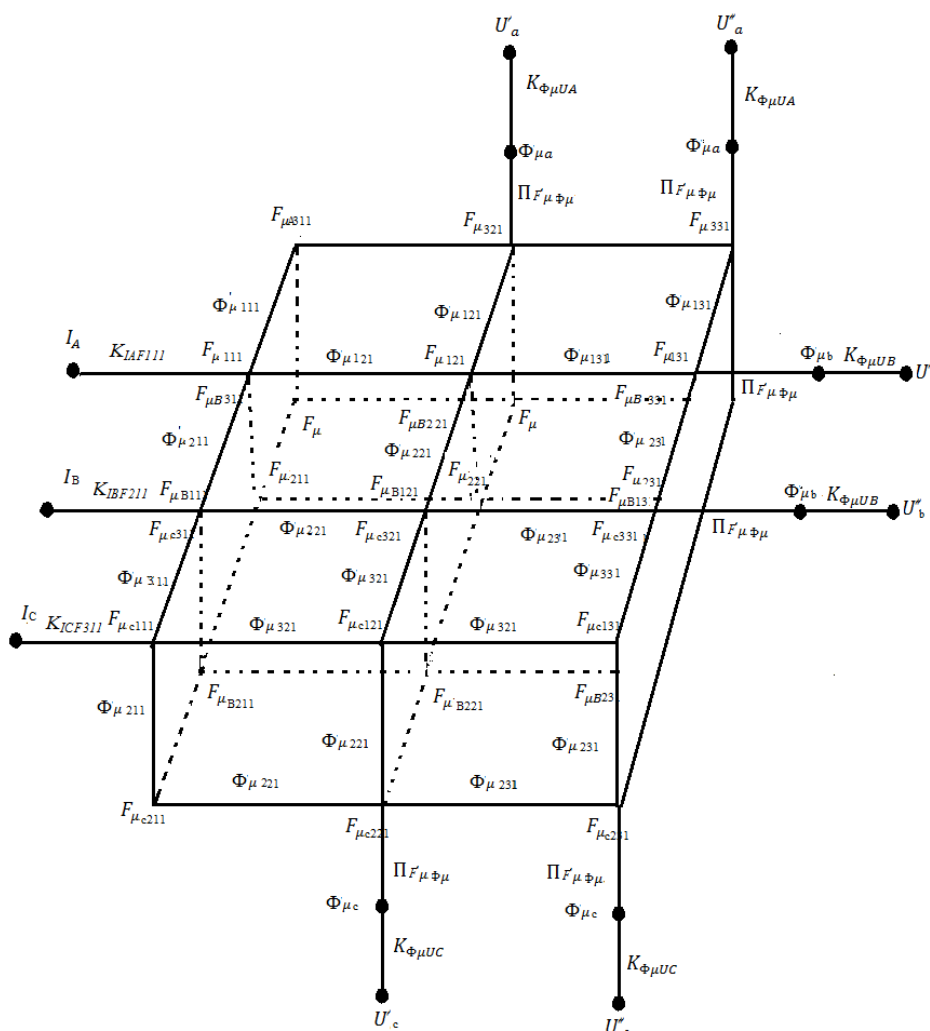
Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan

chiqish kuchlanishini ikkita sezgir elementdan olinayotgan signalni quyidagicha ifodalaymiz.

$$U_c = U'_c + U''_c = K_{F\mu UC}(W'(I_c, U'_c) + W''(I_c, U''_c)) \cdot K_{IF} \cdot I_c \quad (A)$$

Bu matematik modellardan ko‘rinib turibdiki, asinxron motorlarning o‘lchash sezgir elementlarini bir va ikkita halqaga ajratgan holda, boshqariluvchan chiqish kuchlanishlarini hosil qilish mumkin bo‘ladi.

Asinxron motorning reaktiv quvvatini nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichining barcha fazalarida iste‘mol qilinadigan toklarni tarqoq parametrlari modeli yordamida asinxron motorning stator chulg‘amidagi magnet jarayonlarni yaqol ko‘rish mumkin.



3.16-rasm. Uch fazali oltita sezish elementli boshqariluvchan chiqish kuchlanishli o‘zgartkichning tarqalgan parametrlari modeli.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{A111} - U_a}{K_{\Phi\mu Ua}} + \frac{F_{\mu111} - F_{\mu121}}{R_{\mu111}} + \frac{F_{\mu111} - F_{\mu211}}{R_{\mu211}} + \frac{F_{\mu111} - F_{\mu311}}{R_{\mu311}} = K_{IF} \cdot I_A - K_{\Phi\mu Ua} \\ \frac{F_{A111} - U_b}{K_{\Phi\mu Ub}} + \frac{F_{\mu111} - F_{\mu121}}{R_{\mu111}} + \frac{F_{\mu111} - F_{\mu211}}{R_{\mu211}} + \frac{F_{\mu111} - F_{\mu311}}{R_{\mu311}} = K_{IF} \cdot I_B - K_{\Phi\mu Ub} \\ \frac{F_{A111} - U_c}{K_{\Phi\mu Uc}} + \frac{F_{\mu111} - F_{\mu121}}{R_{\mu111}} + \frac{F_{\mu111} - F_{\mu211}}{R_{\mu211}} + \frac{F_{\mu111} - F_{\mu311}}{R_{\mu311}} = K_{IF} \cdot I_C - K_{\Phi\mu Ub} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{1}{R_{\mu A111}} + \frac{1}{R_{\mu A211}} + \frac{1}{R_{\mu A311}} \right) + F_{\mu A111} - \frac{1}{R_{\mu A111}} F_{\mu a121} - \frac{1}{R_{\mu A211}} F_{\mu A211} - \frac{1}{R_{\mu A311}} F_{\mu A311} = \\ = K_{IF} \cdot I_A \\ \left( \frac{1}{R_{\mu B111}} + \frac{1}{R_{\mu B211}} + \frac{1}{R_{\mu B311}} \right) \cdot F_{\mu B111} - \frac{1}{R_{\mu B111}} F_{\mu B121} - \frac{1}{R_{\mu B211}} F_{\mu B211} - \\ \frac{1}{R_{\mu B311}} F_{\mu B311} = \\ = K_{IF} \cdot I_B \\ \left( \frac{1}{R_{\mu C111}} + \frac{1}{R_{\mu C211}} + \frac{1}{R_{\mu C311}} \right) \cdot F_{\mu C111} - \frac{1}{R_{\mu C111}} F_{\mu C121} - \frac{1}{R_{\mu C211}} F_{\mu C211} - \\ \frac{1}{R_{\mu C311}} F_{\mu C311} = \\ = K_{IF} \cdot I_C \end{array} \right.$$

Ushbu formulalardan kelib chiqib, boshqariluvchan chiqish kuchlanishlarni quyidagicha yozishimiz mumkin.

$$\left\{ \begin{array}{l} U_a = U'_a + U''_a = K_{F\mu UA} \cdot W_{\mu a}(F_{\mu}(\Pi)) \cdot (w'(I_A, U'_A) + w''(I_A, U''_A)) \cdot K_{IF} \cdot I_A + \\ + K_{F\mu UB} \cdot W_{\mu a}(F_{\mu}(\Pi)) \cdot (w'(I_B, U'_B) + w''(I_B, U''_B)) \cdot K_{IF} \cdot I_B + \\ + K_{F\mu UC} \cdot W_{\mu a}(F_{\mu}(\Pi)) \cdot (w'(I_C, U'_C) + w''(I_C, U''_C)) \cdot K_{IF} \cdot I_C \\ U_B = U'_b + U''_b = K_{F\mu UB} \cdot W_{\mu a}(F_{\mu}(\Pi)) \cdot (w'(I_B, U'_B) + w''(I_B, U''_B)) \cdot K_{IF} \cdot I_B + \\ + K_{F\mu UA} \cdot W_{\mu a}(F_{\mu}(\Pi)) \cdot (w'(I_A, U'_A) + w''(I_A, U''_A)) \cdot K_{IF} \cdot I_A + \\ + K_{F\mu UC} \cdot W_{\mu a}(F_{\mu}(\Pi)) \cdot (w'(I_C, U'_C) + w''(I_C, U''_C)) \cdot K_{IF} \cdot I_C \\ U_c = U'_c + U''_c = K_{F\mu UC} \cdot W_{\mu a}(F_{\mu}(\Pi)) \cdot (w'(I_C, U'_C) + w''(I_C, U''_C)) \cdot K_{IF} \cdot I_C + \\ + K_{F\mu UA} \cdot W_{\mu a}(F_{\mu}(\Pi)) \cdot (w'(I_A, U'_A) + w''(I_A, U''_A)) \cdot K_{IF} \cdot I_A + \\ + K_{F\mu UB} \cdot W_{\mu a}(F_{\mu}(\Pi)) \cdot (w'(I_B, U'_B) + w''(I_B, U''_B)) \cdot K_{IF} \cdot I_B \end{array} \right.$$

Har bir boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining chiqish kuchlanishlari  $U_a, U_b, U_c$  asinxron motorning asosiy va sochiluvchan magnit oqimlari, stator chulg'aming aktiv va reaktiv qarshiliklari, stator va rotor magnit sterjinlarida hosil bo'ladigan toklar miqdoriga bog'liq bo'ladi.

$$\begin{cases} \Phi_1 = \frac{1}{4,44fw_1} \cdot U_A; \\ \Phi_2 = \frac{1}{4,44fw_2} \cdot U_B; \\ \Phi_3 = \frac{1}{4,44fw_3} \cdot U_C \end{cases} \quad (\text{Vb})$$

$$\begin{cases} \Phi_{\sigma 1} = \frac{L_{\sigma 1} \cdot I_1}{w_1}; \\ \Phi_{\sigma 2} = \frac{L_{\sigma 2} \cdot I_2}{w_2}; \\ \Phi_{\sigma 3} = \frac{L_{\sigma 3} \cdot I_3}{w_3}; \end{cases} \quad (\text{Vb})$$

bu yerda  $U_A, U_B, U_C$  – uch fazali elektr tarmog‘ining A, B, C faza kuchlanishlari;  $I_1, I_2, I_3$  – stator chulg‘amlaridan o‘tuvchi birlamchi toklar;  $L_{\sigma 1}, L_{\sigma 2}, L_{\sigma 3}$  – stator chulg‘ami o‘ramining sochilish induktivligi;  $w_1, w_2, w_3$  – stator chulg‘amlarining o‘ramlar soni;  $f$  – tarmoq chastotasi.

Asosiy va sochilish magnit oqimlari o‘lchash chulg‘amlarini kesib o‘tib u yerda elektr yurituvchi kuchlarni hosil qiladi:

$$\begin{cases} E_a = 4,44fw_4(\Phi_1 - \Phi_{\sigma 1}); \\ E_b = 4,44fw_5(\Phi_2 - \Phi_{\sigma 2}); \\ E_c = 4,44fw_6(\Phi_3 - \Phi_{\sigma 3}); \end{cases} \quad (\text{V})$$

Asinxron motorning stator chulg‘amida o‘zaro siljigan chulg‘amlardan toklar burchak tezligi tok chastotasiga teng aylanuvchan magnit maydon hosil bo‘ladi.

Tok davrga teng bo‘lgan vaqtda maydon to‘liq bir marta aylanadi. Stator ichki yuzasi bo‘ylab maydon induksiyasi sinusoidal (aniqrog‘i trapetsiyasimon) qonuniyat bo‘yicha taqsimlangan bo‘ladi. Uning qiymati maydon o‘q chizig‘i bo‘ylab  $1,5B_m$  ga teng bo‘ladi. Bundan pulsatsiyalanuvchi magnit maydonini bir-biriga qarama-qarshi yo‘nalgan ikkita aylanuvchan maydonlarga ajratish mumkin, shundan kelib chiqib, har bir maydon induksiyasining maksimal qiymati  $0,5B_m$  ga teng bo‘ladi. Agarda chulg‘amlar nosimmetrik toklar bilan ta‘minlanganda aylanuvchan magnit maydoning trayektoriyasi 64anuary64 shaklda bo‘ladi.



Uch fazali asinxron motor tarmoqdan nosimmetrik tok va kuchlanishlar sistemasidan ta'minlanayotgan bo'lsa, birlamchi tarmoq stator chulg'amlaridagi tokni quyidagicha hisoblaymiz.

1. Tarmoqdan berilgan nosimmetrik kuchlanishlar tizimini simmetrik tashkil etuvchilar ko'rinishida ifodalaymiz.

$$\underline{U}_0 = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C); \quad (\text{V})$$

$$\underline{U}_1 = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + a\underline{U}_B + a^2\underline{U}_C); \quad (\text{V})$$

$$\underline{U}_2 = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + a^2\underline{U}_B + a\underline{U}_C); \quad (\text{V})$$

2. Om qonuni asosida stator faza chulg'amlaridagi toklar simmetrik tashkil etuvchilarni aniqlaymiz.

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_1}; \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_2}; \underline{I}_0 = \frac{\underline{U}_0}{\underline{Z}_0}; \quad (\text{A})$$

Bundan stator chulg'amiga simmetrik tashkil etuvchulari orqali liniya toklarini topamiz.

$$\underline{I}_A = \underline{I}_0 + \underline{I}_1 + \underline{I}_2; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_0 + a^2\underline{I}_1 + a\underline{I}_2; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_0 + a\underline{I}_1 + a^2\underline{I}_2 \quad (\text{A})$$

Bizga ma'lumki, bu nazariyani asinxron motr stator chulg'lamida hosil bo'lgan nosimmetrik tokni, chiziqli bo'lgan chiqish kuchlanish ko'rinishidagi signalga o'zgartkichi orqali amalga oshirilishi alohida e'tiborga monelik holat hisoblanadi.

Asinxron motorning reaktiv quvvatini nazorat qilish va boshqarish tizimi uchun qo'llanilgan tok o'zgartkichlari axborot–o'lchash tizimining yuqori aniqligi, tezkorligi, keng imkoniyatliligi, ya'ni bir, ikki, uch va undan ortiq kattalik va parametrlarni bir vaqt mobaynida o'zgartirish va sezishga qo'yiladigan talablarini bajarilishini ta'minlash ushbu o'zgartkichlarning asosiy ko'rsatkichlaridan hisoblanadi [12].

#### **IV BOB. ASINXRON MOTOR UCH FAZALI NOSIMMETRIK TOKLARINI CHIQUVCHI KUCHLANISH KO'RINISHIDAGI**

## SIGNALGA O'ZGARTIRUVCHI O'ZGARTKICHLARNING TAVSIFLARI

### 4.1–§. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining statik tavsiflari

Asinxron motorning ishlash tamoyilidan ko'rinadiki, rotor chulg'ami elektr jihatdan stator chulg'ami bilan bog'lanmagan. Bu chulg'amlar orasida faqat magnitaviy bog'lanish bor va bir chulg'am energiyasi ikkinchisiga magnitaviy maydon vositasida uzatiladi. Asinxron motor ishlash jarayonida stator va rotor chulg'amlaridagi toklar ikkita magnitlovchi kuchlarni hosil qiladi. Rotorning magnitlovchi kuchlari va statorning magnitlovchi kuchlari hisoblanadi. Bu magnitlovchi kuchlar biralikda ta'siri natijasida statorga nisbatan sinxron tezlik  $n_1$  bilan aylanadigan umumiy magnit oqimi  $\Phi$  ni vujudga keltiradi. Bu magnit oqimini stator chulg'ami bilan ham, rotor chulg'ami bilan ham ilashgan asosiy  $\Phi$  va ikkita sochilish oqimlaridan: Stator chulg'aminin sochilish oqimi  $\Phi_s$  va rotor chulg'aming sochilish oqimi  $\Phi_{s1}$  dan iborat deb aytish mumkin. Ushbu bobda asinxron motrning uch fazali nosimmetrik toklarini nazorat va boshqarishda qo'llanilayotgan stator tokini kuchlanish ko'rinishidagi chiquvchi signalga o'zgartiruvchi o'zgartkichning tadqiq qiladigan tavsiflari atroflicha yoritilib beriladi.

Asinxron motorda asosiy magnit oqim  $\Phi$  stator chulg'aming magnitlovchi kuchi  $F_1$  bilan rotor chulg'aming magnit kuchi  $F_2$  nin birgalikda ta'sir etishi hisobiga hosil bo'ladi.

$$\Phi = \frac{F_1 + F_2}{R_M} = \frac{F_0}{R_M} \quad (\text{Vb})$$

bu yerda,  $R_M$ -asinxron motor magnitaviy qarshiligi.

$F_1 + F_2 = F_0$ - asinxron motorning umumiy magnitaviy kuchi, bu kuch son jihatdan stator chulg'aming salt ishlash rejimidagi magnitaviy kuchiga teng hisoblanadi.

Bu magnit yurituvchi kuch quyidagicha aniqlanadi.

$$F_0 = 0,45m_1 \frac{w_1 I_0}{P} K_1 \quad (\text{A})$$

bunda,  $I_0$ -salt ishlash rejimi stator chulg'am tok.

Asinxron motor stator toklarini kuchlanish ko'rinishdagi chiqish signaliga o'zgartkichlarining statik tavsiflarini tahlil qilishda  $U_{chiq}$  chiqish kuchlanishlari asinxron motor stator toklariga, o'lchash chulg'aminining o'ramlari soniga –  $w_o$ , shuningdek stator tizimining parametrlariga bog'liqligini aniqlash talab etiladi.

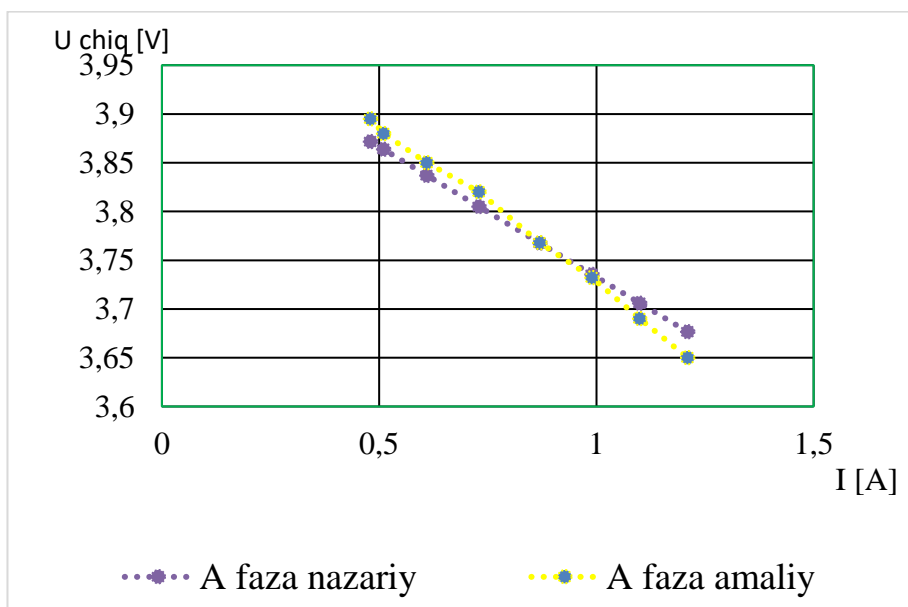
Asinxron motor reaktiv quvvatini nazorat va boshqaruvida qo'llaniluvchi stator toklarini ikkilamchi kuchlanishlarga o'zgartkichining statik tavsiflari (2.8–rasm) asosida shakllantirilgan analitik ifoda orqali aniqlanadi.

$$\begin{cases} U_a = U'_a + U''_a = K_{F\mu UA}(W'(I_A, U'_A) + W''(I_A, U''_A)) \cdot K_{IF} \cdot I_A \\ U_b = U'_b + U''_b = K_{F\mu UB}(W'(I_B, U'_B) + W''(I_B, U''_B)) \cdot K_{IF} \cdot I_B \\ U_c = U'_c + U''_c = K_{F\mu UC}(W'(I_C, U'_C) + W''(I_C, U''_C)) \cdot K_{IF} \cdot I_C \end{cases} \quad (A)$$

bu yerda  $K_{F\mu UA,B,C} = W_{ol} \cdot F\sigma$  - magnit oqimlar va  $U_{a,b,c}$  boshqariluvchan chiqish kuchlanishlari orasidagi zanjirlararo bog'liqlik koeffitsienti;

Quvvati  $P=0,25$  kWt li asinxron motorning stator chulg'amiga o'lchash sezgir elementini boshqariluvchan chiqsh kuchlanishli halqa shaklida o'rab olingan natijaning statik tavsifi quyida keltirilgan. Bu yerda chiquvchi signal ikki karra ko'proq chiqishini ko'rishimiz mumkin.

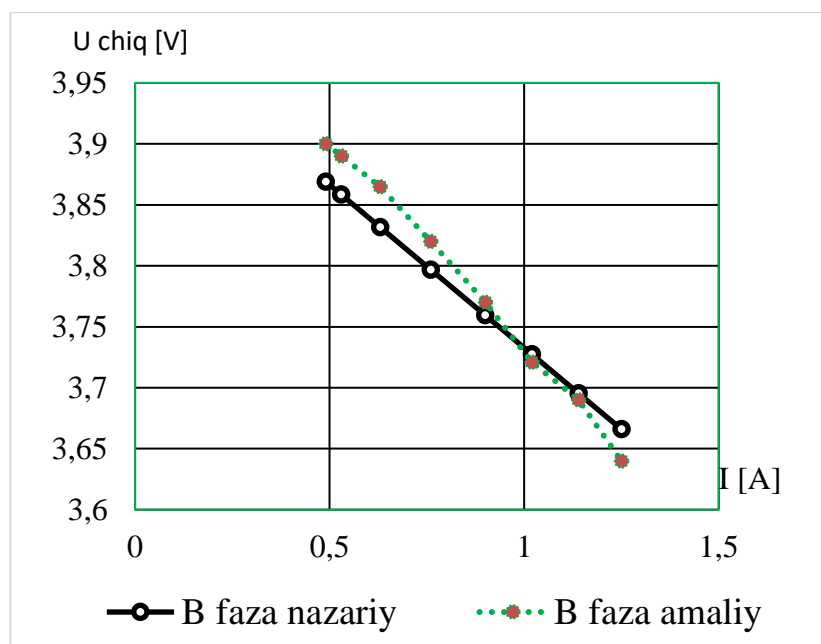
$U_A$ -faza toki bo'yicha chiquvchi kuchlanish :



4.1-rasm. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich orqali asinxron motor stator chulg'amini A fazasini amaliy va nazariy tavsiflari.

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning sezgir elementi chiqish kuchlanishi nazariy hisoblangan va amaliy o'lchangan natijalarining farqi quyidagicha boladi.

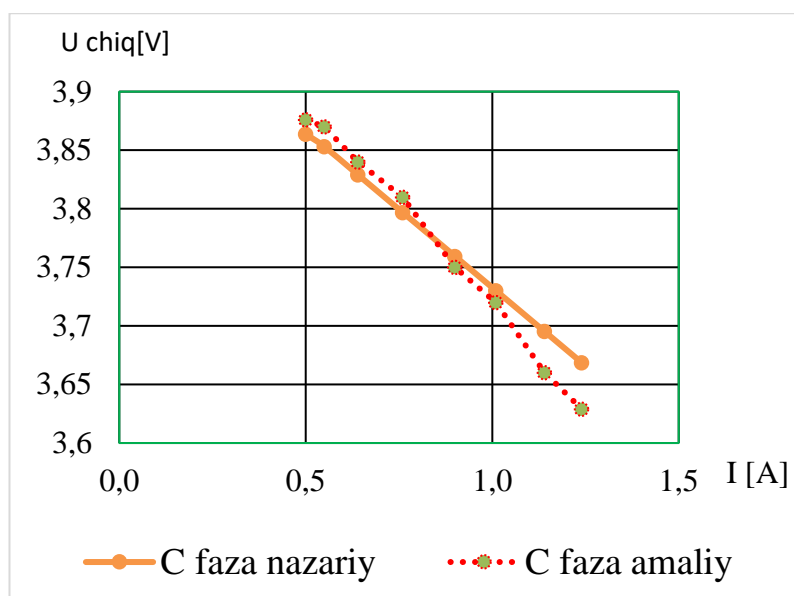
$$\Delta U_{Achiq} = \frac{U_{amaliy} - U_{nazariy}}{U_{amaliy}} = \frac{3,7856 - 3,7828}{3,7856} \cdot 100\% = 0,07\%$$



4.2-rasm. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich orqali asinxron motor stator chulg'amini B fazasini amaliy va nazariy xarakteristikalari.

$$\Delta U_{Bchiq} = \frac{U_{amaliy} - U_{nazariy}}{U_{amaliy}} = \frac{3,787 - 3,7754}{3,787} \cdot 100\% = 0,3\%$$

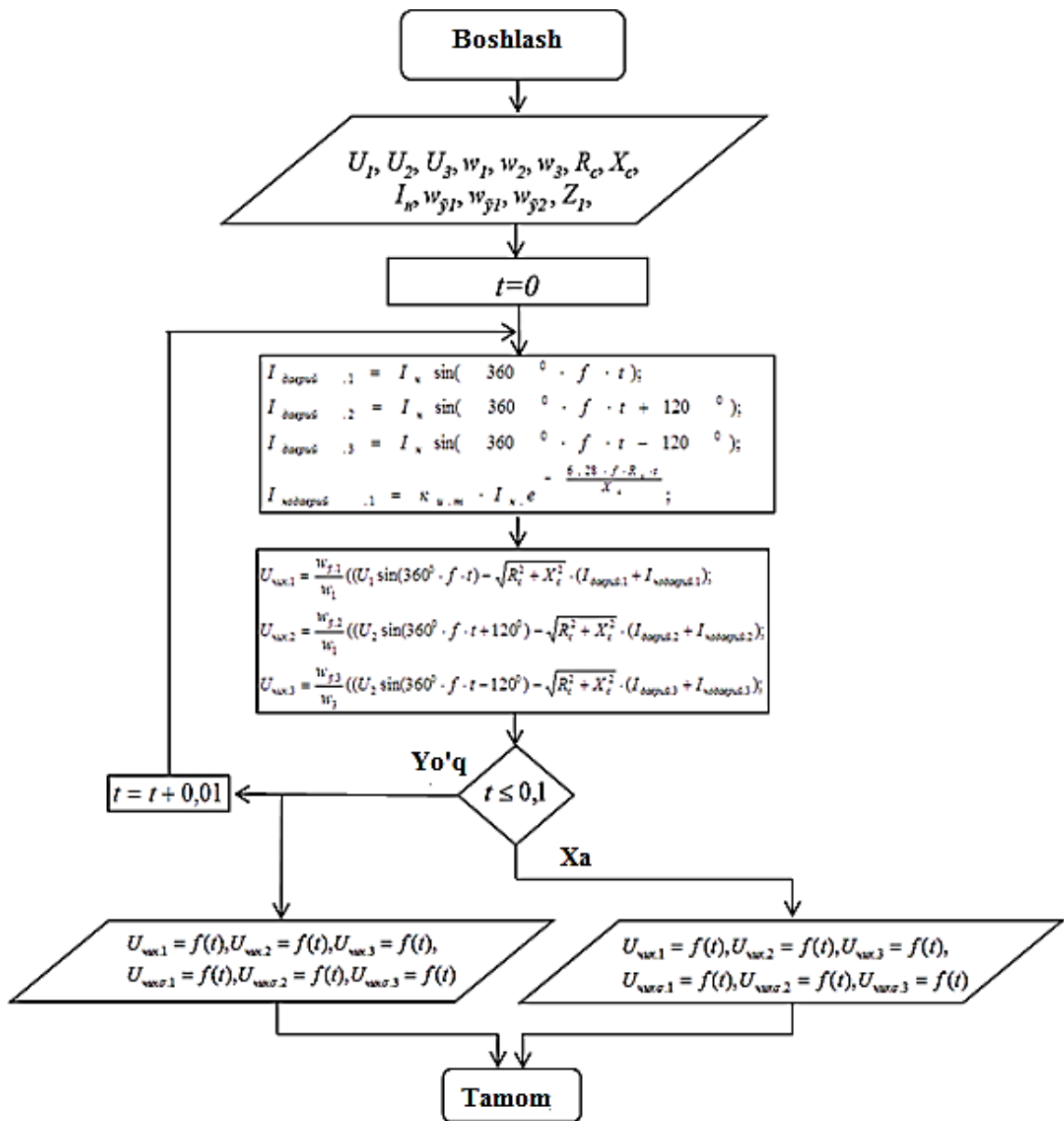
U<sub>C</sub>-faza toki bo'yicha chiquvchi kuchlanish :



4.3 -rasm. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich orqali asinxron motor stator chulg'amini C fazasini amaliy va nazariy xarakteristikalari

$$\Delta U_{Cchiq} = \frac{U_{amaliy} - U_{nazariy}}{U_{amaliy}} = \frac{3,8 - 3,7744}{3,8} \cdot 100\% = 0,6\%$$

Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini nazorat va baholash algoritmi.



4.4-rasm. Asinxron motor reaktiv quvvati boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining statik tavsiflarini tadqiqotlovchi algoritmi.

Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarni nazorat va baholashning interfeys oynalari.



O'lchov chulg'amlar soni					
$\omega_{o,1}$	1	$\omega_{o,2}$	2	$\omega_{o,3}$	3
Asinxron motor yuklama toki					
$I_1$ [A]	1.05	$I_2$ [A]	1.05	$I_3$ [A]	1.05
Natijalar					

4.5-rasm. Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarni nazorat va baholashning interfeysi oynasi.

Asinxron motorlarning reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli toko'zgartkich orqali nazorat qilish imkonini beradi.

#### 4.2. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichlarini dinamik tavsiflari

Asinxron motor stator toklarining qiymatlari, parametrlari va boshqa ta'sirlarga boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning signallarini vaqt bo'yicha o'zgarishini dinamik tavsiflar orqali aniqlaymiz.

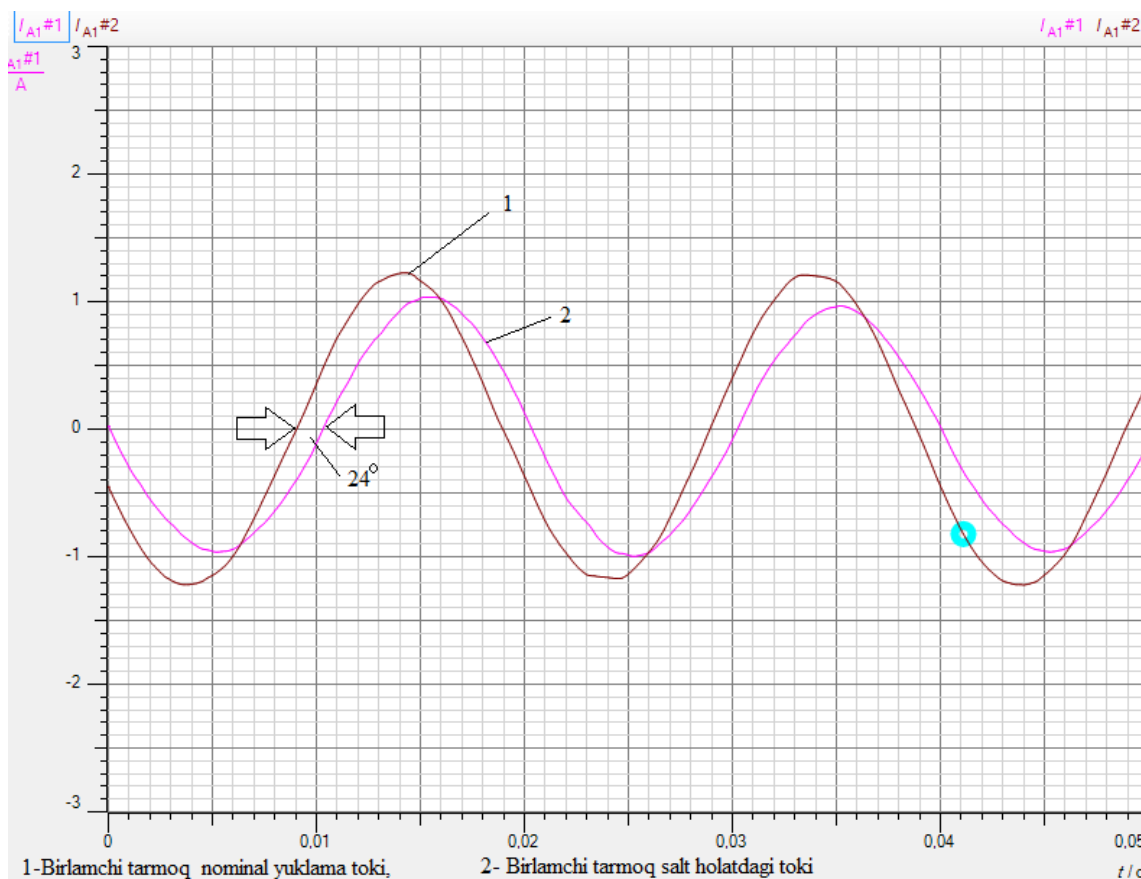
Turli hususiyatli miqdorlarning o'zaro ta'sirini hisobga olgan holda o'lchov chulg'amidan olinayotgan signalning dinamik xususiyatlarini o'rganish o'zgartkichning birlamchi va ikkilamchi signal o'zgartirish bo'laklarida, signal uzatish elementlarida hamda o'tish jarayonlarini tavsiflovchi differensial tenglamalarini shakllantirishda yuzaga keladigan qiyinchiliklar tufayli tadqiqotlarning ilg'or matematik apparat – graf modeli va uning analitik ifodalari asosida olib boriladi.

Dinamik tavsiflarni tadqiq qilish uchun 4AA63A4Y3 tipli asinxron motorning texnik ma'lumotlari:  $P_n = 0,25 \text{ kVt}$ ,  $U_n = 380 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Gts}$ ,  $n = 1500 \text{ ayl/min}$ ,  $r'_1 = 0,15 \Omega$ ,  $x'_1 = 0,082 \Omega$ ,  $r''_2 = 0,14 \Omega$ ,  $x''_2 = 0,17 \Omega$ ,  $\cos\varphi_n = 0,65$  %,  $\eta_n = 0,68$  %,  $x'_1 = 0,082 \Omega$ ,  $k_{i \text{ as.mot}} \frac{I_{ish.tu}}{I_n} = 4$  ga teng bo'lib stator chulg'amlari tarmoqqa yulduz ko'rinishida ulanadi hamda o'ramlar soni  $W_1 = 100$  tani tashkil etadi.

Asinxron motorning stator pazlariga o‘lchov chulg‘ami joylangan bo‘lib, uning joylashuv sxemasi xuddi stator chulg‘amlarining pazlarda joylashuv sxemasi kabi bajarilgan. Asinxron motor nominal ish holatida stator chulg‘amlaridan o‘tuvchi toklari  $I_{1\text{ nom}} = I_{2\text{ nom}} = I_{2\text{ nom}} = 1,125\text{ A}$  ga, salt yurishidagi tok  $I_{1\text{ salt}} = I_{2\text{ salt}} = I_{2\text{ salt}} = 0,82\text{ A}$  ga teng. Tok o‘zgartkich o‘lchov chulg‘amlarini kesib o‘tuvchi maksimal magnit oqimi quyidagiga teng.

$$\Phi_{1m} = \Phi_{1m} = \Phi_{1m} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_f}{4,44 \cdot f \cdot w_1} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{4,44 \cdot 50 \cdot 100} = 0,013\text{ Vb}$$

Asinxron motor birlamchi stator tok qiymatlarini amaliy CassyLab laboratoriya stendi orqali olingan dinamik tavsiflar quyida keltirilgan (3.6-rasm).



4.7-rasm. Asinxron motor birlamchi tarmoq nominal yuklama (1) va salt holatdagi tok (2)larning dinamik tavsiflari.

Uch fazali asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini nazorat qilish va baholashda qo‘llanilayotgan boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichning chiqish kuchlanishlarini quyidagicha yozamiz.



$$U_a = R_a I_a + \frac{d}{dt} (L_a I_a + M_{ax} I_x)$$

$$U_b = R_b I_b + \frac{d}{dt} (L_b I_b + M_{bx} I_x)$$

$$U_c = R_c I_c + \frac{d}{dt} (L_c I_c + M_{cx} I_x)$$

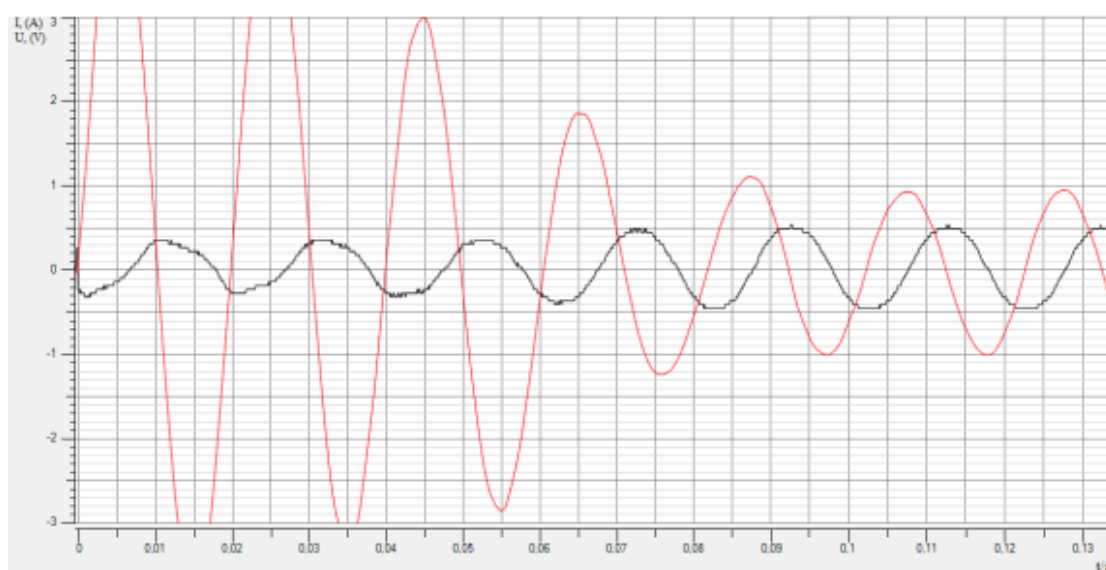
Uch fazali asinxron motor stator chulgʻamlaridan  $i_1, i_2, i_3$  birlamchi toklar oʻtishi natijasida hosil boʻlgan magnit oqimlar taʼsirida tok oʻzgartkichi oʻlchov chulgʻamlari chiqishlarida  $U_{chiq.a}(t), U_{chiq.b}(t), U_{chiq.c}(t)$  kuchlanishlar olinadi. Tok oʻzgartkichi chiqishidagi kuchlanishlar oʻlchov chulgʻamlarini stator pazida joylashishi, oʻramlar soni va parametrlariga bogʻliq holda chiqish kuchlanishlari quyidagicha:

$$a. \quad U_{chiq.a}(t) = -R_{o'lch.a} \cdot i_{chiq.a}(t) - L_{o'lch.a} \frac{di_{a\ chiq}(t)}{dt} + w_1 \frac{d\Phi_A(t)}{dt} + w_2 \frac{d\Phi_B(t)}{dt} + w_3 \frac{d\Phi_C(t)}{dt};$$

$$b. \quad U_{chiq.b}(t) = -R_{o'lch.b} \cdot i_{chiq.b}(t) - L_{o'lch.b} \frac{di_{b\ chiq}(t)}{dt} + w_2 \frac{d\Phi_A(t)}{dt} + w_1 \frac{d\Phi_A(t)}{dt} + w_3 \frac{d\Phi_C(t)}{dt};$$

$$c. \quad U_{chiq.c}(t) = -R_{o'lch.c} \cdot i_{chiq.c}(t) - L_{o'lch.c} \frac{di_{c\ chiq}(t)}{dt} + w_3 \frac{d\Phi_A(t)}{dt} + w_1 \frac{d\Phi_A(t)}{dt} + w_2 \frac{d\Phi_B(t)}{dt};$$

bu yerda,  $R_{o'lch.a}, R_{o'lch.b}, R_{o'lch.c}, L_{o'lch.a}, L_{o'lch.b}, L_{o'lch.c}$  – mos ravishda uch fazali tok oʻzgartkichining aktiv qarshiliklari va induktivliklari,  $w_1, w_2, w_3$  – oʻlchov elementlarining oʻramlar soni;  $i_{chiq.a}, i_{chiq.b}, i_{chiq.c}$  – oʻlchov chulgʻami toklari.



4.8 -rasm. Asinxron motor birlamchi stator toki va tok oʻzgartkichining dinamik tavsiflari (qizil chiziq – asinxron motor stator toki oʻzgarishlari, qora

chiziq – tok o‘gartkich chiqishidagi kuchlanish)

Asinxron motor o‘zining turg‘un holatiga  $t=0-0,09s$  oralig‘ida erishayotganini, boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkich  $t=0-0,06 s$  oralig‘ida erishayotganini ko‘rishimiz mumkin.

Asinxron motorni stator chulg‘amlari ulanishi yulduz ko‘rinishli sxemada  $U_1$  kuchlanishli elektr tarmog‘iga ulangan va tok o‘zgartkichining dinamik tavsiflari analitik ifoda asosida tadqiq etildi.

$$\begin{cases} U_a = K_{\Phi 1UA} \left( \begin{array}{l} K_{F\mu UA}(W'(I_A, U'_A \sin \omega t) - \\ W''(I_A, U''_A)) \cdot K_{IF} \cdot (I_{Aper} \sin \omega t + (I_{Aaper} e^{-\frac{t}{T}})) \end{array} \right) \\ U_b = K_{\Phi 2UB} \left( \begin{array}{l} K_{F\mu UB}(W'(I_B, U'_A \sin (\omega t + 120^\circ) - \\ W''(I_B, U''_B)) \cdot K_{IF} \cdot (I_{Bper} \sin (\omega t + 120^\circ) + (I_{Baper} e^{-\frac{t}{T}})) \end{array} \right) \\ U_c = K_{\Phi 3UC} \left( \begin{array}{l} K_{F\mu UC}(W'(I_C, U'_A \sin (\omega t + 120^\circ) - \\ W''(I_C, U''_C)) \cdot K_{IF} \cdot (I_{Cper} \sin (\omega t - 120^\circ) + (I_{Caper} e^{-\frac{t}{T}})) \end{array} \right) \end{cases}$$

bu yerda  $K_{\Phi 1UA}, K_{\Phi 2UB}, K_{\Phi 3UC}$  - mos ravishda har bir fazaga tegishli magnet va elektr zanjiri kattaliklarini bog‘lanish koeffitsientlari;  $I_{Aper}, I_{Bper}, I_{Cper}, I_{Aaper}, I_{Baper}, I_{Caper}$  – stator tokining davriy va nodavriy tashkil etuvchilari;  $U_a, U_b, U_c$  – asinxron motorning stator chulg‘amlariga berilayotgan kuchlanishlar;

$W''(I_A, U''_A), W''(I_B, U''_B), W''(I_C, U''_C)$  – magnet o‘zgartirish bo‘lagining uzatish funksiyalari.

Asinxron motor birlamchi tokining o‘lchash diapazonini kengaytirish stator chulg‘ami toklari tomonidan yaratilgan magnet oqimining nazorati yo‘li bilan o‘lchov chulg‘amining halqalarini o‘zaro kontrollerning blokirovkalanuvchi kontaktlari bilan alohida yoki ketma-ket ulash asosida erishiladi, ikkita halqaning ketma-ket ulanishi asinxron motor tokni kuchlanishga o‘zgartkichning o‘lchov chulg‘ami chiqish kuchlanishining bitta alohida xalqasiga nisbatan ikki karra kattaroq qiymatini ta‘minlaydi.

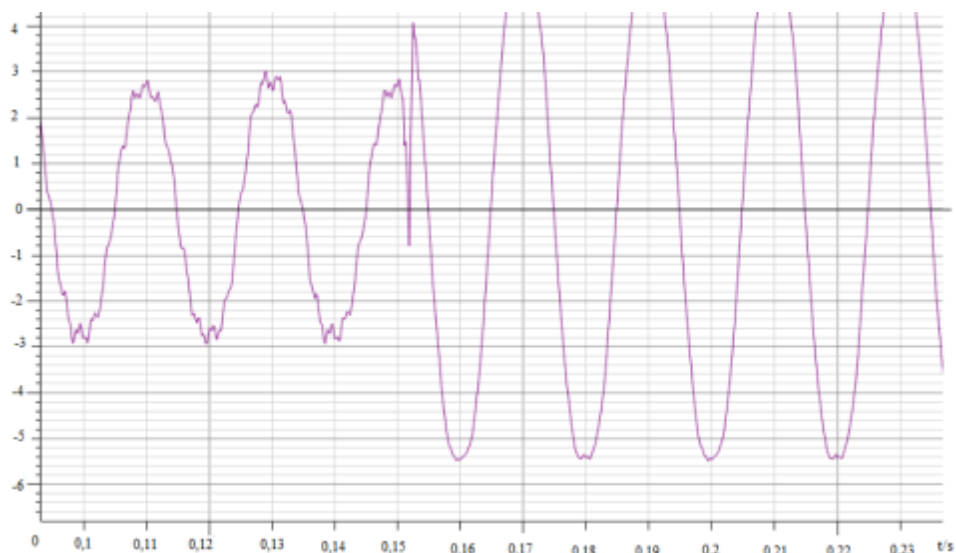
$$U_{a\Sigma} = U_{1,8} + U_{14,15}$$

$$U_a = \left( 4,44 \cdot f \cdot W_{c1} \cdot \frac{I_A}{R_\mu} \right) (W_{11} + W_{12})$$

Qachonki  $W_{11} = W_{12}$ , u holda  $K = 2$ , ya'ni summar kuchlanish tok o'zgartgichi chulg'aming bitta xalqa (petlya)si kuchlanishidan ko'ra ikki karra kata bo'ladi:

$$U_{a\Sigma} = 2U_a$$

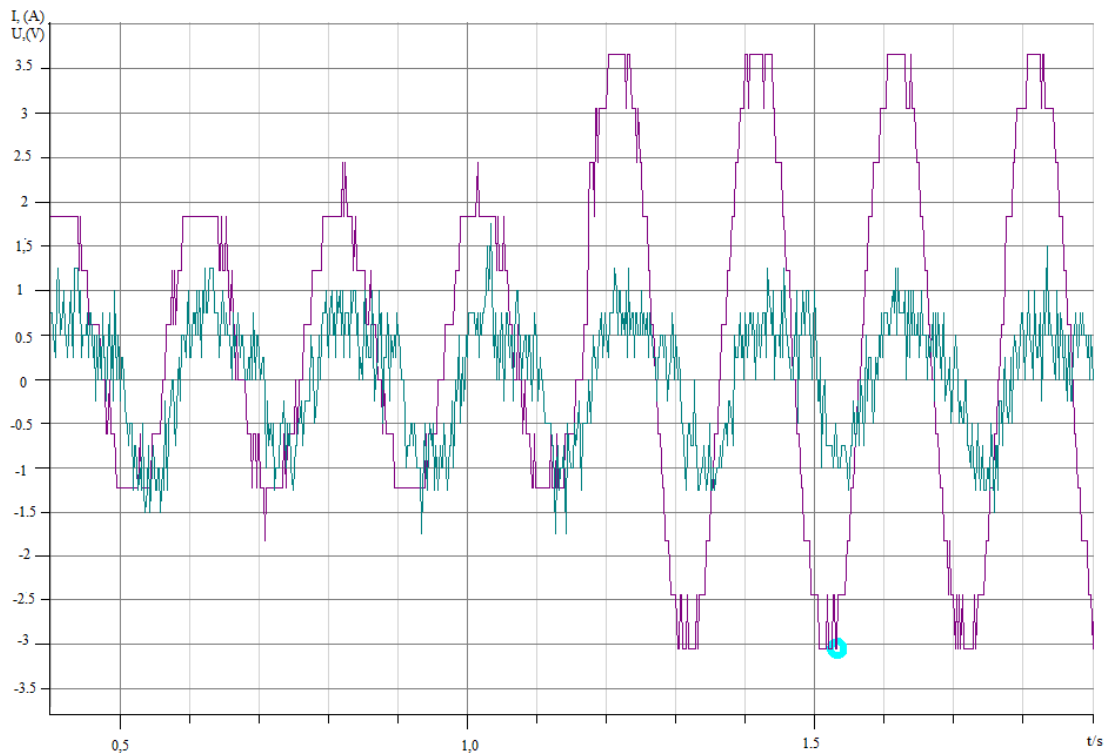
Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining o'lchov halqalarini ketma ket ulashdagi dinamik jarayonlarni quyidagi rasmda ko'rishimiz mumkin.



4.9-rasm. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning o'lchov halqalarini ketma –ket ulashdagi dinamik tavsiflari.

Asinxron motor stator toklarini o'zgartkich chiqish kuchlanishlariga bog'liqligining dinamik tavsiflarini tadqiq qilishda keltirilgan analitik ifodalar va grafiklardan shunday xulosaga kelimizki, asinxron motor  $U_1$  kuchlanishli elektr tarmog'iga ulangandan so'ng, motor parametrlariga bog'liq holda tok o'zgartkichi chiqishidagi kuchlanishlar birlamchi stator tokiga ta'sirini aniqlash kerak bo'ladi.

Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini nazorat va baholash uchun taklif qilinayotgan boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning o'lchov halqalarini ketma-ket ulash birlamchi tarmoq stator tokiga ta'sirini quyidagi (4.10-rasm) dinamik tavsif orqali bilishimiz mumkin.



4.10-rasm. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning birlamchi tarmoq tokiga bog'liqlik dinamik tavsifi.

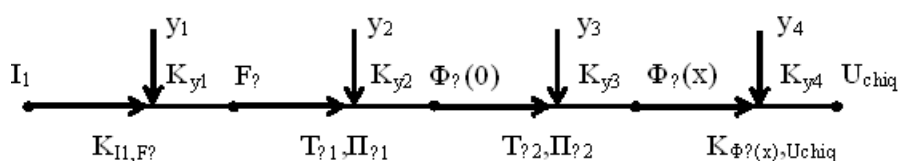
Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartichni birlamchi tarmoq stator tokiga ta'sirini o'rgananimizda quvvati 0,25 kVtli asinxron motorni nominal toki 0.86 Ani tashkil etdi, tok o'zgartkichning toki 0.0025A ni tashkil etadi.

Bundan hulosa qilish mumkinki, 1/400 miqdorni tashkil etdi. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich o'lchov chulg'amining ikkita mustaqil xalqasi kontrollerning o'zaro blokirovkalanuvchi kontaktlari orqali ketma-ket yoki alohida ulanishi birlamchi tarmoq stator tokiga ta'siri juda ham kichik qiymatni tashkil etishini ko'rsatib berdi.

### **4.3. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichlarining xatoliklari, ishonchlilik ko'rsatkichlari**

Asinxron motor teaktiv quvvati uch fazali toklar nosimmetriklik o'zgartkichining boshqa uch fazali toklar nosimmetriyasini o'lchash o'zgartkichlari kabi xatoliklar bilan ajralib turadi. Odatda o'lchash o'zgartkichlari olinadigan xisobiy natijalar boshqariluvchanchiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning me'yorlangan xatoliklar qiymat ko'rsatkichlaridan tashkil topadi. Bu esa

boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichga taluqli xatolilar qiymatini tushunishimiz mumkin bo'ladi. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning alohida halqasidagi xatolik bir hil emas, tasodifiy hamda muntazam xatoliklardan kelib chib ayta olishimiz mumkinki, boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning umumiy xatoliklar qiymati turli hil bo'ladi. Yahlit olib qaralganda o'lchash vositasining umumiy xatoligi me'yorlangan qiymatdan ortib ketmasligi kerak. Asinxron motor reaktiv quvvati uch fazali toklar nosimmetriyasini ozgartkichining yo'l qo'yilan xatoliklarini quyidagicha ko'rib chiqamiz.



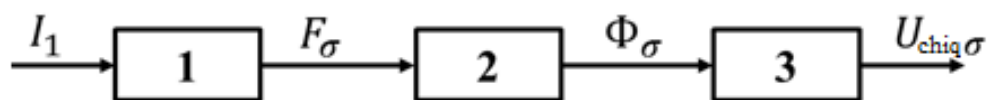
5.11 –rasm. Asinxron motor stator tokini kuchlanishga o'zgartkichni umumlashtirilgan graf modeli.

Asinxron motor stator chulg'amiga berilayotgan  $I_1$ ,  $F_\sigma$  grafdan ko'rinadiki, manit yurituvchi kuch ( $F_\sigma$ ) ga o'zgarayotganiga guvoh bo'lamiz. Bu o'zgarishlarni sator chulg'amidan o'tayotgan aloqa koeffitsientlariga bog'lab,  $K_{II,G'\sigma}$  ni yozamiz.

Xatoliklar manbalarini signal o'zgartirilish jarayoniga salbiy ta'sir ko'rsatishini tahlil qilishda, datchik aniqligini belgilash vazifasidan kelib chiqib, ularni asosiy va qo'shimcha xatoliklar manbaiga bo'lish kerak. Ma'lumki, asosiy xatoliklar manbalari tokni kuchlanishga o'zgartkichi ishlatishi normal sharoitida bo'lganda aniqlanadi.

Asinxron motor reaktiv quvvati uch fazali toklar nosimmetriyasi o'zgartkichining sezgirligi tajribalardan ma'lumki asinxron motrning uch fazasiga berilayotgan kuchlanishlarning qiymati  $U_{nom}$  bo'lgandagi eng katta chiquvchi signal ko'rinishadagi kuchlanish  $U_{chiqmax} = 3,6$  [V] va  $U_{chiqmin} = 0,32$  [V] ni tashkil etadi.

Asinxron motor reaktiv quvvatini nazorat va boshqaruvi uch fazali tok o'zgartkichining funksional sxemasi ko'rinishi quyidagicha bo'ladi (3.12– rasm):



4.12 -rasm. Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarining boshqariluvchan chiqsh kuchlanishli tok o‘zgartkichining funksional sxemasi.

Asinxron motorning reaktiv quvvatini uch fazali toklar o‘zgartkichini sezgir elementini quyidagicha sinab ko‘ramiz. Bilamizki asinxron motor chulg‘am, magnit o‘tkazgich elementlari va konstruktiv detallar majmuasidan iboratdir. Bu qismlarning issiqlik o‘tkazuvchanligi, issiqlik sig‘imi va sovutilish sharoitlari har xil bo‘ladi, bu esa, mashinada issiqlik maydoni taqsimlanishining murakkab ekanligini ko‘rsatadi. Lekin, mashinaning qizish jarayonidagi umumiy qonuniyatlarini aniqlash maqsadida elektr mashinani bir jinsli jism sifatida qaralsa, qo‘yilgan masalani yechishdagi birinchi qadam hisoblanadi.

Atrof muhitni qizish harorati GOST 183-74 standart bo‘yicha olganimizda  $40\text{ }^\circ\text{C}$  ni talab etadi. Uch fazali asinxron motorlarning stator chulgamlari magnit o‘zak elementlari va zanjirlarida vujudga keladigan haroratni quyidagicha yozib olamiz.

$$\tau_{tur} = \theta_{tur} - 40\text{ }^\circ\text{C}$$

bu yerda  $\theta_{tur}$  – asinxron motorlarning turg‘un qizish harorati.

Asinxron motorning turg‘un qizish haroratining  $\theta_{tur}$  qarshilik metodi ya’ni aktiv qarshilik elektr mashinaning ishga tushirish oldidan o‘lchangan  $r_1$  qarshilik va keyin ishlashi davomida qancha vaqtda chulg‘am qarshiligi  $r_2$  turg‘un qizish haroratiga yetganda o‘lchangan qarshilik orqali aniqlanadi.

Asinxron motor stator chulg‘amning turg‘un qizish harorati quyidagi formula orqali aniqlanadi.

$$\theta_{tur} = \frac{r_2 - r_1}{\lambda r_1} + \theta_1$$

$\theta_1$  – asinxron motor stator chulg‘amining ishga tushirish oldidan tashqi haroratini ifodalaydi  $^\circ\text{C}$ ;

$\lambda$  – chulg‘aming harorat koeffitsienti hisoblanadi, me‘yoriy talablarga ko‘ra  $\lambda = 0,004 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  tashkil etadi.

Asinxron motor stator chulg‘aming qizish haroratini aniqlashdan maqsad, asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini aniqlash va bu orqali asinxron motorning energetik ko‘rsatkichlariga ishonchli baho berish imkoniyati mavjud bo‘ladi.

Tadqiq etilayotgan uch fazali rotori qisqa tutashtirilgan asinxron motorning quvvati  $P=250 \text{ W}$  bo‘lib, stator chulg‘amlari tarmoqqa yulduz ko‘rinishida ulanadi.

Dastlabki holatda asinxron motorning tarmoqqa ulanmasdan avvalgi (stator qismidagi harorat  $t^0=33,2^\circ\text{C}$  ) stator chulg‘ami aktiv qarshiliklarini o‘lchash natijalari quyidagicha:

Asinxron motor stator chulg‘aming A fazasidagi o‘lchash sezgir elementning qarshiligi  $R=7,22 \text{ } \Omega$  ni tashkil etdi.

Asinxron motor stator chulg‘aming B fazasidagi o‘lchash sezgir elementning qarshiligi  $R=7,28 \text{ } \Omega$  ni tashkil etdi.

Asinxron motor stator chulg‘aming C fazasidagi o‘lchash sezgir elementning qarshiligi  $R=7,20 \text{ } \Omega$  ni tashkil etdi.

2 daqiqa o‘tgach boshqariluvchan chiqsh kuchlanishli tok o‘zgartkichning ko‘rsatkichi  $t^0=35,5 \text{ } ^\circ\text{C}$  ni tashkil etdi.

30 daqiqa o‘tgach boshqariluvchan chiqsh kuchlanishli tok o‘zgartkichning ko‘rsatkichi ko‘rsatkichi  $t^0=52,1 \text{ } ^\circ\text{C}$  ni tashkil etdi.

55 daqiqa o‘tgach boshqariluvchan chiqsh kuchlanishli tok o‘zgartkichning ko‘rsatkichi  $t^0=68,8 \text{ } ^\circ\text{C}$  ga teng bo‘ldi.

Oxirgi o‘lchashdan keyin motor tarmoqdan uzildi va stator chulg‘ami aktiv qarshiliklarini o‘lchanganda quyidagi natijalar aniqlandi:

Asinxron motor stator chulg‘aming A fazasidagi o‘lchash sezgir elementning qarshiligi  $R=7,42 \text{ } \Omega$  ni tashkil etdi.

Asinxron motor stator chulg‘aming B fazasidagi o‘lchash sezgir elementning qarshiligi  $R=7,59 \text{ } \Omega$  ni tashkil etdi.

Asinxron motor stator chulg'aming B fazasidagi o'lchash sezgir elementning qarshiligi  $R=7,51 \Omega$ ni tashkil etdi.

Asinxron motor reaktiv quvvatini nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanish tok o'zgartkichi natijalaridan olingan ma'lumotlarga asoslanib ayta olamizki, asinxron motor ish rejimida bo'lganda stator chulg'amlari qarshiligini o'zgarishi kuzatilib, bu o'zgarish nosimmetrik kattaliklarini baholash imkoni yaratildi.

Asinxron motorni tarmoqqa ulaganimizdan so'ng, boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichini ketma-ket, parallel ulanish usullaridan foydalanib tadqiqotlarni amalga oshiramiz.

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining birinchi va ikkincha o'lchash sezgir halqalaridan signal ko'rinishidagi kuchlanishni o'lchab olamiz.

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining birinchi halqasidan ( $W_1$ ) o'lchangana  $U_a=2,68 \text{ V}$  ni tashkil etadi.

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining birinchi halqasidan ( $W_1$ ) o'lchangana  $U_b=2,631 \text{ V}$  ni tashkil etadi.

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining birinchi halqasidan ( $W_1$ ) o'lchangana  $U_c=2,721 \text{ V}$  ni tashkil etadi.

$$\Delta U_{ort} = \frac{\Delta U_{Achiq} + \Delta U_{Bchiq} + \Delta U_{Cchiq}}{3} = \frac{2,68 + 2,631 + 2,721}{3} = 2,67 \text{ V}$$

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich 15 daqiqa o'tgach qayta o'lchanganda natijalar quyidagicha bo'ldi.

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich mustaqil ulangan halqasidan o'lchanganda  $U_a=2,678 \text{ V}$ ,  $U_b=2,701 \text{ V}$ ,  $U_c=2,723 \text{ V}$  ni tashkil etadi.

$$\Delta U_{o'rt} = \frac{\Delta U_{Achiq} + \Delta U_{Bchiq} + \Delta U_{Cchiq}}{3} = \frac{2,678 + 2,701 + 2,723}{3} = 2,70 \text{ V}$$

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich 55 daqiqa o'tgach yana bir bor qayta o'lchandi.  $U_a=2,74 \text{ V}$ ,  $U_b=2,783 \text{ V}$ ,  $U_c=2,795 \text{ V}$  ni tashkil etadi.

$$\Delta U_{o'rt} = \frac{\Delta U_{Achiq} + \Delta U_{Bchiq} + \Delta U_{Cchiq}}{3} = \frac{2,74 + 2,783 + 2,795}{3} = 2,77 \text{ V}$$



Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarni boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichni xatoliklarni baholaymiz.

1.  $I_l \rightarrow F_\sigma$  o'zgartirish xatoligini, ya'ni  $\delta_1=0,2$  ( $\pm 0,2\%$  - birlamchi nominal qiymatdan) - chegaraviy miqdori.

2.  $F_\sigma \rightarrow F_\sigma$ , ya'ni  $\delta_2=0,1$  va

3.  $F_\sigma \rightarrow U_{\text{chiq}}$ , ya'ni  $\delta_3=0,1$  bo'lgan past miqdorlari asosida aniqlanadi.

$$\delta_x = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2} = \sqrt{0,2^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = 0,24$$

Xatoliklarning barcha tashkil etuvchilarini additiv va multiplikativ xatoliklarga bo'lamiz va ularning paydo bo'lish ehtimolligining taqsimot qonuniga muvofiq ularning o'rtacha kvadratik og'ishini topamiz, bundan  $\gamma_e$  entropiyali xatolikni aniqlaymiz.

$$\gamma_e = K_e \cdot \sigma_e$$

bu yerda  $K_e$  - xatoliklar taqsimoti qonuniga bog'liq bo'lgan o'zgartkichlarning elementining entropiyali koeffitsienti;  $\sigma_e$  - elementning yig'indi o'rtacha kvadratik og'ishi (xatoligi).

1-blokdagi xatoliklar taqsimoti qonunini  $K_e = 2,07$  entropiya koeffitsientli normal taqsimot deb qabul qilish mumkin. Bu yerdan  $\sigma_e$  o'rtacha kvadratik og'ish quyidagiga teng bo'ladi.

$$\sigma_1 = \frac{\gamma_1}{K_e} = \frac{0,2}{2,07} = 0,096$$

Shunga o'xshash 2- blok uchun xatoliklarning normal taqsimot qonunida  $K_e = 2,07$  qiymatga ega bo'lamiz [29]:

$$\sigma_2 = \frac{\gamma_2}{K_e} = \frac{0,1}{2,07} = 0,048$$

Shu tarzda  $\sigma_3$  ni topib olamiz.

$$\sigma_3 = \frac{\gamma_3}{K_e} = \frac{0,1}{2,07} = 0,048$$

Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining xatoliklari uchta  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ , va  $\sigma_3$  tashkil etuvchilardan hosil bo'ladi va ularni qiymatini hisoblab chiqamiz.

$$\sigma_{\Sigma u} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} = \sqrt{0,096^2 + 0,048^2 + 0,048^2} = 0,117$$

Bundan, entropiya koefitsientini topib olamiz.

$$\gamma_{\Sigma a} = K_e \cdot \sigma_{\Sigma u} = 2,07 \cdot 0,117 = 0,242$$

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi odatda  $(0 \pm 40)^\circ \text{C}$  harorat sharoitlarida ishlaydi xarorat oshgan sari multiplikativ xatolik orta boshlaydi.

$$\gamma_m = \frac{0,1 \cdot 40}{10} = 0,4\%$$

$$\sigma_m = \frac{\gamma_m}{K_e} = \frac{0,4}{2,07} = 0,19$$

Natijada, o'zgartkich xatoliklar diapazonining oxirida, additiv va multiplikativ xatoliklarni quyidagi ko'rinishdagi mustaqil xatoliklarni qo'shib chiqish qoidalari asosida aniqlaymiz:

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_{\Sigma u} + \sigma_m} = \sqrt{0,117^2 + 0,19^2} = 0,22$$

Tok o'zgartkichi uchun  $\Delta_{TO}$  entropiyali xatolik quyidagiga teng bo'ladi.

$$\Delta_{to'} = K_e \cdot \sigma_k = 2,07 \cdot 0,22 = 0,45$$

Hisoblashlar va eksperimentlar natijasida, boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining entropiya xatoligi  $\Delta=0,45$  o'zgartkich aniqligining me'yorlashtiriladigan qiymatini esa standartda ko'zda tutilgan sonlar qatoridan tanlash mumkin. Qaralayotgan o'zgartkich uchun aniqlik sinfi zahira bilan 0,5% ni tashkil etadi.

Asinxron motorning uch fazali tok o'zgartkichlarini ishonchliligi asosiy ko'rsatkichlaridan biri bo'lib, ishonchlilikni hisoblash usullari uzluksiz

takomillashib bormoqda. Tok o'zgartkichi ishonchliligini hisoblashning nazariy asoslari bo'yicha elementar va funksional turlariga bo'linadi.

Ish holati bo'yicha ishonchlilik tok o'zgartkichining ishdan chiqishi (kutilmaganda, to'liq) va buzilishlarning xususiyatlari (birdan, pog'onama–pog'ona, to'liq, qisqa tutashuv, ochiq, uzilishlar va boshqalar)ni hisobga olish bilan ajralib turadi. Ishonchlilik deb nazorat va boshqarish tizimi elementlarini o'zining ish holatini ma'lum sharoitda, hajmda, berilgan vaqt davomida bajarib me'yoriy hujjatlarda belgilab qo'yilgan oraliqda saqlab qolish qobiliyati tushuniladi. To'satdan sodir bo'ladigan ishdan chiqish tizimning asosiy parametrlari va elementlarining keskin o'zgarishidan kelib chiqadi. Doimiy ishdan chiqishlar esa elementlarning eskirishi va ishdan chiqishi sababli sodir bo'ladigan parametrlarning asta-sekin o'zgarishi tufayli kuzatiladi.

O'zgartkichning ishdan chiqishi asinxron motorning ishchi holatigi ta'sir qilmaydi. Buni e'tiborga olsak, uch fazali tok o'zgartkichi ishonchliligini mexanik tashkil etuvchisiga e'tibor qaratilmaydi.

Uch fazali tok o'zgartkichlarning parametrik va o'zgaruvchi ishonchlilik ko'rsatkichlari o'zgartkichni doimiy ish holatida bo'lish ehtimolidan  $R_{par.}(t) = 0,99$  va  $R_{o'zg.}(t) = 0,99$  ga teng qilib olingan bo'lib, o'zgartkichning ishdan chiqishligiga bog'liq ko'rsatkichlarning ehtimolligini o'zgarish qonuni vaqtga bog'liq bo'lmaydi va bunda tok o'zgartkichi qismlarining ishonchligini bir xilligi ta'minlanadi.

Uch fazali tok o'zgartkichining asinxron motorning real birlamchi stator toklarida kuchlanishlar ko'rinishidagi ikkilamchi chiqish kattaliklarga o'zgartirish xatoliklarini o'zgartkich ish holatida o'rnatilgan me'yoriy qiymatlaridan oshmaslik ehtimoli o'zgartkich va uning tarkibiy qismlarini metrologik ishonchliligini xarakterlaydi.

Asinxron motor stator toklarini ikkilamchi kuchlanish ko'rinishidagi kattalikga o'zgartirish tok o'zgartkichining ishlash prinsipi tahliliga ko'ra o'rganilayotgan o'zgartkichning tarkibiy qismlari ishonchliligini aniqlovchi va tashkil etuvchilarini holatlari jadval ko'rinishida ishlab chiqildi (3.1–jadval). Ishlab chiqilgan jadvaldan shunday xulosaga kelamizki, tok o'zgartkichining o'lchash chulg'aming ishonchli

ish holati o'zgartkichning ishonchli ish holatini aniqlovchi asosiy ko'rsatkichlaridan hisoblanadi.

Tok o'zgartkichi tarkibiy qismlarini ish holatlarining ehtimoligiga asosan o'zgartkich umumiy bo'laklarining ishlash ehtimolligi aniqlanadi (3.1–jadval). Asinxron motor stator toklarini chiqish kuchlanishiga o'zgartkichining asosiy o'zgartirish bo'laklarini (stator chulg'amlari, magnit o'zagi va o'lchash chulg'ami) ish holatida bo'lish ehtimolliklari  $R_{\text{stator chulg'}.} = 0,99$ ;  $R_{\text{magnit o'zak}} = 0,99$ ;

$R_{\text{o'lchash chulg'}.} = 0,99$  deb olinadi.

## **V-BOB. ASINXRON MOTOR REAKTIV QUVVATINING NOSIMMETRIK KATTALIKLARINI BOSHQARILUVCHAN CHIQISH KUCHLANISHLI TOK O‘ZGARTKICHLARINING AMALIY TADQIQLARI**

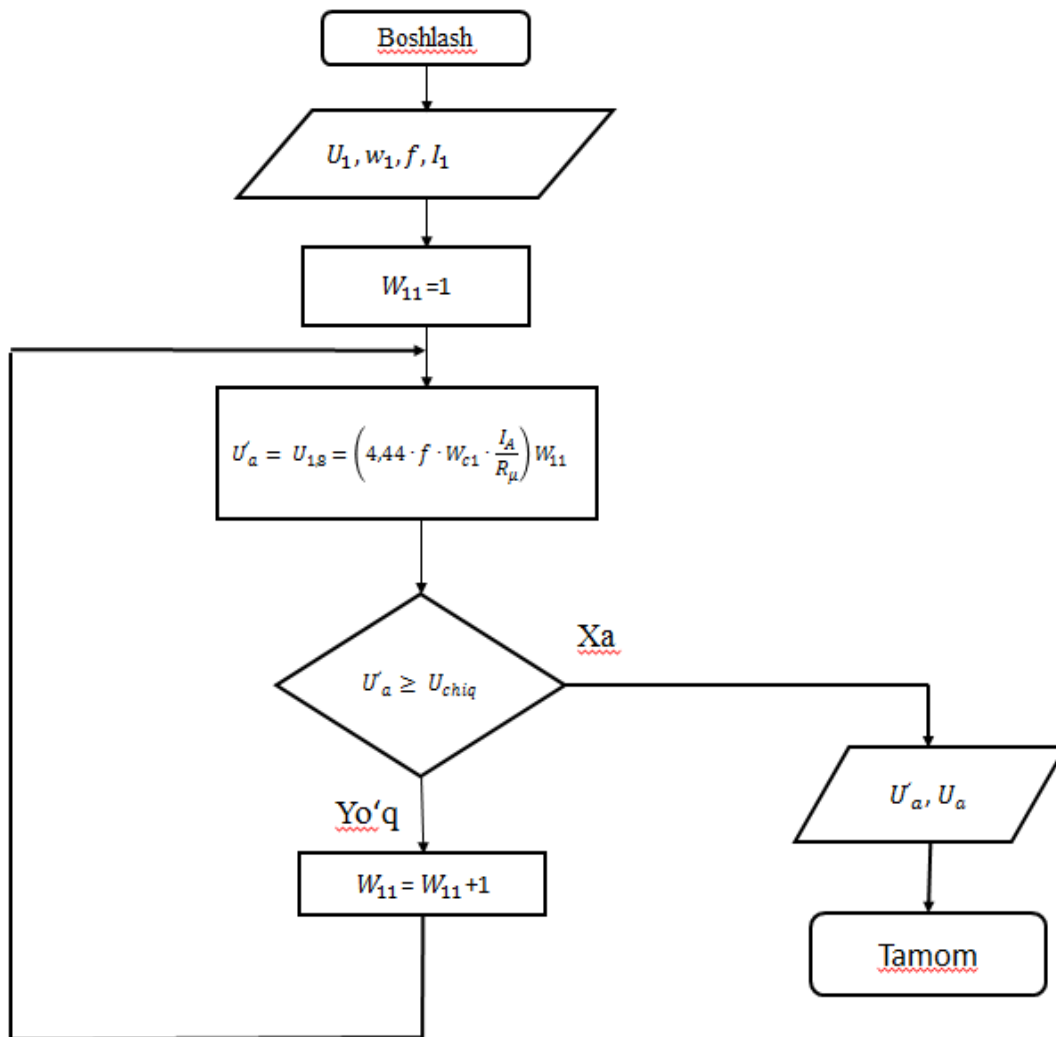
### **5.1. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichlarining tuzilish tamoyillarini tanlash va qo‘llash**

Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichi birlamchi toklarini ikkilamchi chiqish signaliga o‘zgartirish asosan quyidagicha amalga oshiriladi.

O‘zgartkichning bo‘lakchalari, elementlarining tuzilishi va o‘zgartirish bo‘lakchalarini parametrlarini tanlashdan iborat.

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichini eng maqbul tuzilishi tanlashdan oldin, mavjud ixtiro va foydali modellar analog va protatiplari izchil o‘rganilib chiqiladi, shundan so‘ng tok o‘zgartkichning asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini hisoblash amalga oshiriladi.

Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichining tuzilmasini tanlashda sezgirlik, aniqlik va tezkorlikni ta‘minlash ko‘rsatkichlariga alohida e‘tibor beriladi. Tok o‘zgartkichining tuzilmasini tanlash algoritmining blok-sxemasi 5.1-rasmda keltirilgan.



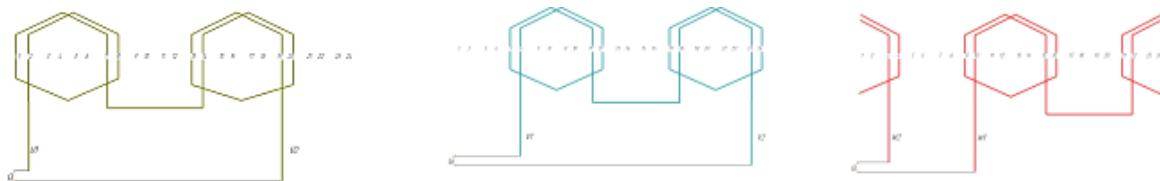
5.1-rasm. Asinxron motorning reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich tuzilmasini tanlash algoritmi.

Asinxron motorning stator chulg'aming eng oddiy elementi bu o'ram hisoblanadi. O'ram bir-biridan rotor aylanasida chulg'am qadami "y" ga teng bo'lgan masofadagi pazlarda joylashgan ikkita o'tkazgich (sim)ning ketma-ket ulanishidan hosil bo'ladi. Qutb bo'linmasi  $\tau$  ni pazlar soni Z orqali aniqlanadi, bu quyidagi fo'rmulada keltirilgan.

$$y = \tau = Z/2p$$

Agar  $y = \tau$ , bo'lsa, chulg'am diametral yoki to'la qadamli,  $y < \tau$  bo'lsa — qisqartirilgan qadamli,  $y > \tau$  bo'lganda esa uzaytirilgan qadamli chulg'am deyiladi.

Asinxron motorning sator pazlariga o‘ralgan chulg‘amlar qaysi usulda o‘ralishidan qat’iy nazar boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichinin sezgir elementi sifatida o‘ralgan o‘lchash chulg‘ami quyidagi shaklda bo‘ladi.



5.2-rasm. Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichi o‘lchash chulg‘amlarining bir qatlamli konsentrik ko‘rinishi.

II- bobda ko‘rib o‘tilgan, o‘lchash chulg‘amini alohida halqalarga ajratib boshqariluvchan chiquvchi kuchlanish olish ko‘rib o‘tilgan edi. Bundan shuni xulosa qilish mumkuni, asinxron motorning nominal texnik parametrlaridan kelib chiqib bir nechta boshqariluvchan halqalarni hosil qilishimiz mumkin. Biz tadqiq qilgan asinxron motorning quvvati  $P=0.25\text{kWt}$ , aylanishlar soni  $n=1500$  ayl/min bo‘lganligi, sator pazlari  $Z=24$  ga teng ekanligini hisoba olib, o‘lchash chulg‘amimizning chiquvchi har bir fazasi ikkita halqadan jami, oltita halqadan ibor bo‘lishini inobata olib, asinxron motorning sator chulg‘amining boshqa turli hil pazlar bolishini hisoba olib, halqalar soni ortishini ko‘rishimiz mumkin.

Asinxron motorning reaktiv quvvatini uch fazali toklar nosimmetrikligi o‘zgartkichining tuzilish qoidalarini tanlashda, eng avvalo asinxron motorlarining uch fazali sator toklarini kuchlanishlarga o‘zgartkichini tadqiq qilish natijalariga ko‘ra o‘zgartkichning asosiy elementlari va bo‘laklari sifatida asinxron motor sator chulg‘amlari, sator magnet oqimlari va o‘lchash chulg‘amlari tadqiq qilinadi.

Asinxron motorlarning asosiy magnet oqimi  $\Phi$  sator chulg‘amining magnetlovchi kuchi  $F_1$  bilan rotor chulg‘amining  $F_2$  magnet kuchlarining birgalikda ta’sir etishidan hosil bo‘ladi. Asinxron motorning valiga tushadigan yuklama o‘zgarganida chulg‘amlardagi  $I_1$  va  $I_2$  toklar o‘zgardi, bu esa sator va rotor chulg‘amlaridagi magnetlovchi kuchlarning tegishlicha o‘zgarishiga olib keladi. Asosiy magnetaviy oqim  $F$  o‘zgarmay qoladi. Chunki sator chul’amiga berilan

kuchlanish o'zarmas deb qabul qilingan ( $U_n = const$ ) va stator chulg'aminging E.Yu.K va  $E_1$  bilan deyarli batamom muvozanatlashadi.  $U_1 - (-E_1)$

Lekin E.Yu.K va  $E_1$  asosiy magnitaviy oqimga proporsional bo'lganligi sababli yuklama o'zgarganda oqim o'zgarmay qoladi. Bu holni manit kuchlar  $F_1$  va  $F_2$  larning o'zgarishiga qaramay umumiy magnit kuch  $F_0$  ning o'zgarmasligi bilan izohlanadi.

$$F_0 = F_1 + F_2 = const$$

Bunda birlamchi toklar oqib o'tuvchi stator chulg'amlari birinchi o'zgartirish elementi, stator chulg'amlaridan birlamchi toklarni o'tishi natijasida magnit oqimlarni hosil qiluvchi magnit o'zak ikkinchi o'zgartirish bo'laki va bu oqimlar kesib o'tishidan chiqish kuchlanishlarini beruvchi o'lchash chulg'amlari uchinchi o'zgartirish elementi hisoblanadi. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartirishining birinchi va ikkinchi o'zgartirish bo'laklari asinxron motorning ishlash qobiliyatini asosiy belgilovchi qismlari bo'lib, ularni o'zgarishsiz qolishi va ikkilamchi chiqish kuchlanishini olishda faqatgina uchinchi o'zgartirish bo'laki bo'lgan o'lchash chulg'ami parametrlarini o'zgartirib tadqiq maqsadga muvofiq.

$F_0, F_1, F_2$ larni o'rniga quyidagi qiymatlarni qo'yib,

$$0,45m_1 \frac{I_0 w_1}{p} K_1 = 0,45m_1 \frac{I_1 w_2}{p} K_1 + 0,45m_2 \frac{I_1 w_1}{p} K_2$$

bu yerda,  $m_1 \frac{w_1}{p} K_1$  ga bo'lib, asinxron motorning toklar tenglamasini hosil qilamiz.

$$I_0 = i_1 + \frac{m_2 w_2 K_2}{m_1 w_1 K_1} i_2 = I_1 + \dot{I}_2$$

$$I_2 * \frac{m_2 w_2 K_2}{m_1 w_1 K_1} = \dot{I}_2$$

Bu yerda,  $\dot{I}_2$  –kattalik stator chulg'amiga keltirilgan rotor tokini tashkil etadi.

Yuqoridagi tenglamadan kelib chiqib, stator tokini quyidagicha yozishimiz mumkin bo'ladi.

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2)$$

Bundan ko'rinib turibdiki, uch fazali asinxron motorning birlamchi tarmoq



tokini ikkiga ya'ni  $I_0$  – stator chulg'ami tokini magnitlovchi vazifasini bajaruvchi,  $I_2$  – asinxron motor rotor tokini magnitsizlovchi ta'sirini to'ldiruvchi vazifasini bajaruvchi hisoblanadi. Asinxron motorning valiga tushadigan yuklamaning har qanday o'zgarishida stator chulg'amidagi tok  $I_1$  ning tegishli o'zgarishini xuddi ana shu bilan izohlash mumkin.

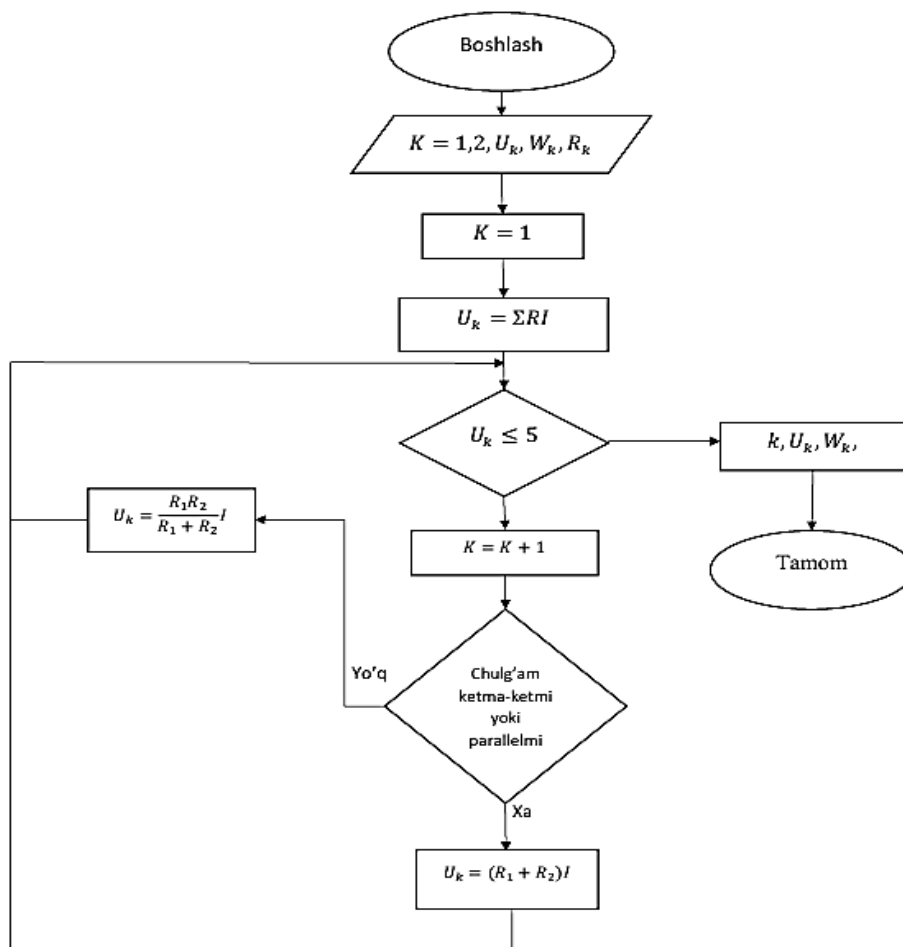
## **5.2. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichlarini tuzilmasini ishlab chiqish.**

Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi bir vatning o'zida tok va kuchlanishning stator o'zagida hosil bo'lan magnet oqimlarda foydalanib ma'lumotlar olish hisoblanadi. Ushbu o'zgartkichning ishlashi natijasida tok va kuchlanishlardan tashqari tebranish, nosinusoidallik, nochiziqlilikni tahlil qilish imkonini ham beradi.

Ushbu tok o'zgartkichning modeli quyidagi rasmda keltirilgan. Uning ish jarayoni asinxron motorni ishga tushirish davrida tok va kuchlanish o'rtasidagi munosabatni matematik model bilan taqqoslashdan iborat bo'ladi. Tok o'zgartkichning o'lchangan va hisoblangan tok miqdori orasidagi farq motor va yuritma tizimining ishlashidagi o'gishlarni tavsiflaydi, ularning Park vektori, Fyure tahlili va har hil turdagi nosozliklarni aniqlash uchun diagnostik xususiyatlarini tekshirish mumkin. Asinxron motor nosimmetriklik o'zgartkichini diagnostik maqsadlarda qisqa muddatli o'lchashlarga qaraganda, uzluksiz ravishda motorning holatini monitoring qilish uchun ishlatiladi, va uning natijalarini ishlab chiqarish korhonalardagi umumiy boshqarish tizimiga birlashtirish imkonini ham amalga oshirsa bo'ladi. Shuningdek bu boshqariladigan va hisobga olinadigan elektr energiyaning energetik ko'rsatkichlari parametrlaridagi tendensiyalarni avtomatik qayd qilish imkonini beradi.

Asinxron motor birlamchi toki o'lash diapazonining o'lash chulg'amlari halqalarini kontaktorning o'zaro blokirovkalovchi kontaktlari bilan ketma-ket yoki parallel ulanishi asosida chiqish kuchlanishining har xil qiymatini ta'minlaydi.

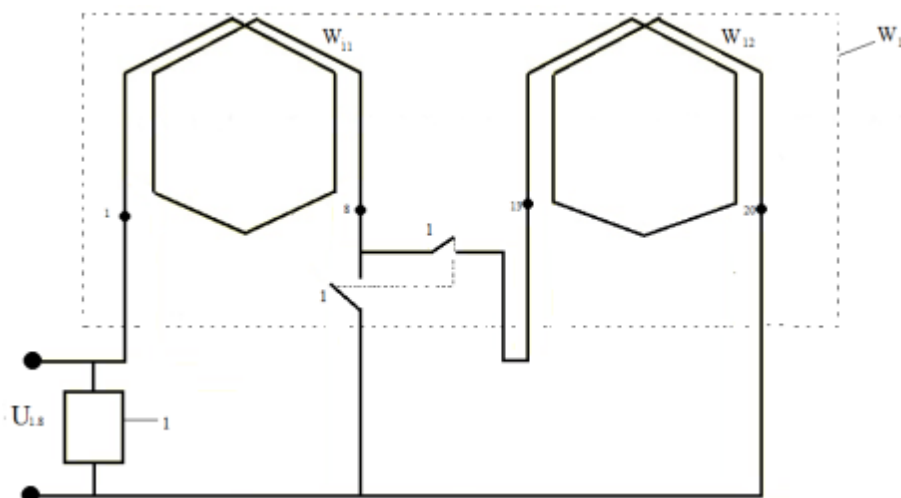
Quyida asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining algoritmi keltirilgan.



5.3-rasm. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining tuzilmasini algoritmi.

Mazkur o'zgartgichda asinxron motor birlamchi tokining o'zgarishi va nazorati magnit oqimlari asosida stator chulg'amlari tomonidan hosil qilinadi, o'lash chulg'amining ikkita mustaqil halqasi kontrollerning o'zaro blokirovkalanuvchi kontaktlari orqali ketma-ket yoki parallel ulanadi, shu holdagina u chiqish kuchlanishi halqalarning qanday sxemada ulanishini aniqlaydi. Bir yo'la ikkita

halqaning ketma-ket yoki parallel ulanishi bitta alohida o'lchash halqasiga nisbatan boshqa chiqish kuchlanishini ta'minlaydi.



5.4-rasm- Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichni ketma-ket ulash sxemasi

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining ikkita mustaqil chulg'am halqalari ketma - ket ulangan, chiqish kuchlanishi kattaligidan boshqariluvchan ikkita kontaktor ko'rsatilgan.

### **Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichlarini mustaqil halqalarini parallel ulash**

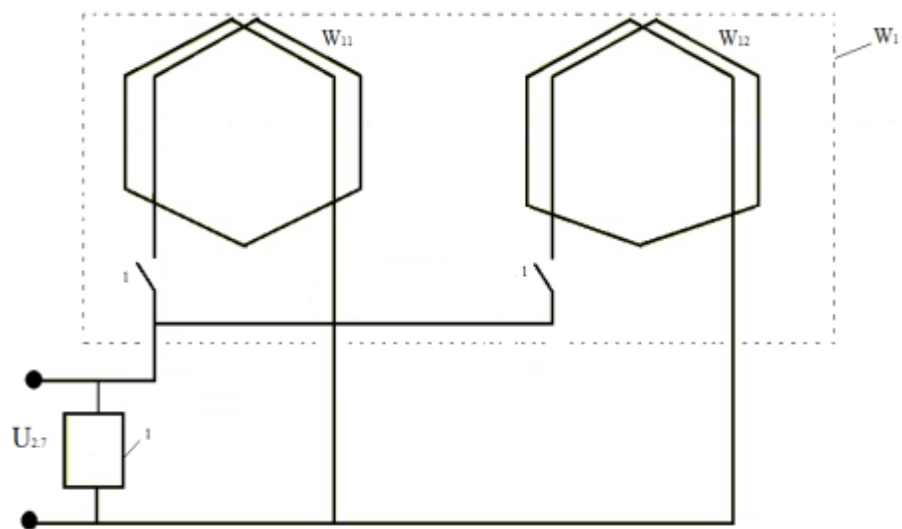
Asinxron motor birlamchi tokini o'lchash aniqligini oshirish o'lchash chulg'amlari halqalarini kontroller kontaktlari orqali parallel ulash asosida amalga oshiriladi, ayniqsa chiqish kuchlanishining yig'indi toki ikkita (uchta) halqalarni parallel ulash sxemasi bilan aniqlanadi, bu ikkilamchi kuchlanish yig'indi toki qiymatini o'lchash chulg'aming bitta alohida halqasiga nisbatan ikki (uch) karra ortirishni ta'minlaydi va shu bilan birlamchi yig'indi tokiga ikkilamchi kuchlanishiga o'zgartgichining sezgirligini ortirishga ko'maklashadi.

Asinxron motor birlamchi tokini o'zgartirish stator chulg'amlarining birlamchi toklari hosil qilgan magnit oqimlari asosida asinxron motor statori pazlarining soniga bog'liq holda o'lchash chulg'aming ikkita yoki uchta mustaqil halqasi kontroller kontaktlarining parallel ulanishi yordami hisobiga amalga oshiriladi,

ayniqsa ularning ikkilamchi kuchlanishi chiqish toki halqalarining ulanish sxemasini aniqlaydi: ikkita (uchta) halqalarning parallel ulanishi bitta alohida o'lchash chulg'amiga nisbatan ikkilamchi kuchlanish chiqish tokining qiymati katta bo'lishini ta'minlaydi, o'lchash chulg'amining alohida chulg'amiga solishtirilganida ikkita (uchta) halqalarning parallel ulanishi chiqish tokining ikkilamchi kuchlanishining katta qiymatini ta'minlaydi, ikkita (pazlar soni  $z=24$ -ga teng bo'lgan asinxron motor uchun) yoki uchta (pazlar soni  $z=36$ -ga teng bo'lgan asinxron motor uchun) halqalarning parallel ulanishi ikkilamchi kuchlanishning ikki yoki uch karrali chiqish toki qiymatini ta'minlaydi, bitta o'lchash chulg'amining alohida halqasiga solishtirganda asinxron motor tokni kuchlanishga o'zgartiruvchining sezgirligini tegishli qiymatgacha ortirishni ta'minlaydi.

5.5-rasmda asinxron motorning soni  $z=24$ -ga teng bo'lgan pazlar ko'rsatilgan, tokni kuchlanishga o'zgartiruvchi o'lchash chulg'amining ikkita mustaqil halqalardan tuzilgan  $W_{11}$  va  $W_{12}$ , hamda ikkita  $I^I$  i  $I^{II}$  boshqariluvchi kontaktlarga ega kontroller  $I$ , ayniqsa mazkur kontaktlarning holatlari o'lchash chulg'ami  $W_1$  ikkilamchi kuchlanishining chiqish toki kattaligiga bog'liq.

5.6-rasmda asinxron motorning soni  $z=36$ -ga teng bo'lgan pazlar ko'rsatilgan, tokni kuchlanishga o'zgartiruvchi o'lchash chulg'amining uchta mustaqil halqalardan tuzilgan  $W_{11}$ ,  $W_{12}$  va  $W_{13}$ , hamda uchta boshqariluvchi kontaktlarga ega  $I^I$ ,  $I^{II}$  va  $I^{III}$  boshqariluvchi kontaktlarga ega kontroller  $I_s$ , ayniqsa mazkur kontaktlarning holatlari o'lchash chulg'ami  $W_1$  ikkilamchi kuchlanishining chiqish toki kattaligiga bog'liq.



5.5-rasm. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichni parallel ulash sxemasi

Asinxron motor stator chulg'aming bitta fazasi birlamchi tokining kuchlanish  $U_a$ -ga o'zgartgichi ikkita mustaqil  $W_{11}$  va  $W_{12}$  halqalardan tashkil topadi (pazlar soni  $z=24$ )

Asinxron motor elektr tarmog'iga ulanganida, o'lchash chulg'ami  $W_{11}$ -ning bitta mustaqil halqa  $W_{11}$ -sidan ikkilamchi kuchlanish  $U_a$ -ning chiqish toki kattaligi quyidagicha aniqlanadi.

$$I_a = U_a / R_1$$

Bunda,  $I_a$  — asinxron motorning A fazasi chiqish kuchlanishining ikkilamchi toki,

$R_1$  — asinxron motor, o'lchash chulg'ami  $W_1$ -ning A fazasi birlamchi tokini o'zgartirish uchun joylashtirilgan bitta mustaqil halqasi  $W_{11}$ -ning qarshiligi.

Agarda asinxron motor uchun  $z=24$ -ga teng pazlar sonida A fazaning ikkilamchi kuchlanishi chiqish tokining o'lchangan qiymati kontroller  $I$ -ning ishlashi uchun kamlik qilganida, (ya'ni standart o'lchashlar va nazoratlarda —  $I_{st} = 0,1$  A), u holda kontroller  $I$  dasturiga muvofiq bir vaqtda kontaktlar  $I^I$  va  $I^{II}$  ulanadi, u holda ikkilamchi kuchlanishning yig'indi toki quyidagi ifoda asosida aniqlanadi.

$$I_{a\Sigma} = U_a / \left( \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

bunda  $R_2$  — asinxron motorning birlamchi A fazasi tokini o'zgartirish uchun joylashtirilgan o'lchash chulg'ami  $W_1$ -ning bitta mustaqil halqasi qarshiligi.

$W_{11} = W_{12}$  yoki  $R_1 = R_2$  bo'lganida, ya'ni  $\left(\frac{R_1 \cdot R_1}{R_1 + R_1}\right) = \frac{1}{2}$  — tok o'zgartgichi o'lchash chulg'ami ikkilamchi kuchlanishining yig'indi chiqish toki bitta halqa ikkilamchi kuchlanish chiqish tokidan ikki baravar katta bo'ladi. Sezgirlik oshishining aniqlovchi omili bu — halqalar qarshiliklarining  $\left(\frac{R_1 \cdot R_1}{R_1 + R_1}\right) = \frac{1}{2}$  — o'lchash chulg'ami  $W_1$ -ning ikkilamchi kuchlanishi  $U_a$ -ning o'zgarmas qiymatlaridir:

$$I_{a\Sigma} = 2 I_a$$

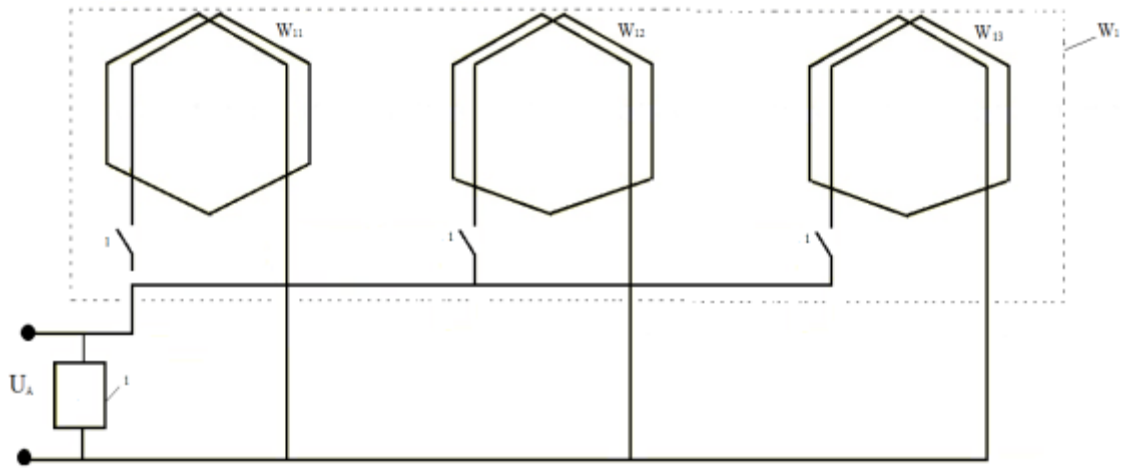
Birlamchi tokning o'zgartirilish sezgirligi ikkilamchi kuchlanish yig'indi chiqish toki kattaligiga bog'liq va quyidagi nisbat bilan aniqlanadi:

$$K = I_{a\Sigma}/I_a = 2$$

Agarda pazlari soni  $z=36$  bo'lgan asinxron motor (5.6-rasm) uchun A faza toki ikkilamchi kuchlanishining o'lchangan qiymati  $I$  kontrollerning ishlashi uchun kam, ya'ni standart o'lchovlar va nazorat uchun belgilangan qiymatdan kam (ya'ni  $I_{st} = 0,1$  A), unda  $I$  kontroller dasturi uchun  $I^I$ ,  $I^{11}$  va  $I^{111}$  kontaktlari ulanadi, u holda ikkilamchi kuchlanishning yig'indi toki quyidagi ifoda asosida aniqlanadi:

$$I_{a\Sigma} = U_{a\Sigma} / \left(\frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}\right)$$

Bunda,  $R_3$  —  $W_1$  o'lchash chulg'amining asinxron motor birlamchi A fazasi tokini o'zgartirish uchun joylashtirilgan bitta  $W_{13}$  mustaqil halqasining qarshiligi.



5.6-rasm- Asinxron motor stator chulg‘amining birlamchi tokining kuchlanish  $U_a$ -ga o‘zgartkichi ikkita mustaqil  $W_{11}$ ,  $W_{12}$  va  $W_{13}$  halqalardan tashkil topadi (pazlar soni  $z=36$ )

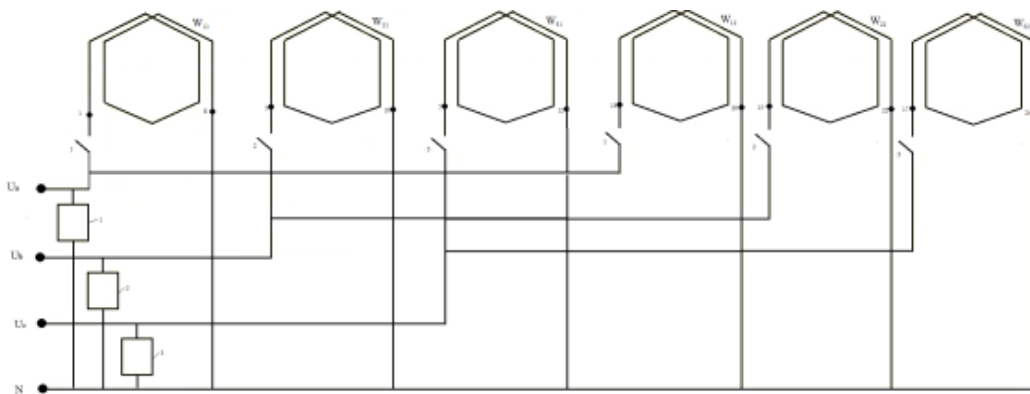
$W_{11} = W_{12}$  yoki  $R_1 = R_2 = 3$ , unda  $K = 0,33$ , ya’ni ikkilamchi kuchlanishning yig‘indi chiqish toki toki tok o‘zgartgichi o‘lchash chulg‘amining ikkilamchi kuchlanishi chiqish tokidan uch baravar katta bo‘ladi.

$$I_{a\Sigma} = 3 I_a$$

Birlamchi tok o‘zgarishining sezgirliigi ikkilamchi kuchlanish yig‘indi chiqish tokining kattaligiga bog‘liq va quyidagi nisbat bilan aniqlanadi:

$$K = I_{a\Sigma}/I_a = 3$$

O‘lchash chulg‘amlari  $I_{b\Sigma}$  va  $I_{c\Sigma}$  lar ikkilamchi kuchlanishlarining chiqish toklari — asinxron motorining  $B$  va  $C$  fazalari toklariga mos keluvchi, 5,5 va 5,6- (rasm)larda taqdim etilgan sxemalarga mos ravishda o‘xshash tarzda aniqlanadi.



5.7-rasm. Uch fazali boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkich halqalarini ketma-ket ulash.

Shunday qilib, asinxron motor birlamchi tokining o'zgarish sezgirligi yig'indi chiqish toki kattaligiga bog'liq holda stator toklari hosil qilgan magnit oqimini nazorat qilish yo'li bilan kontroller parallel kontaktlari orqali o'lchash chulg'ami halqalarini birlashtirish (ulanishi) asosida erishiladi, bunda qarshilik qiymatiga bog'liq bo'lgan, o'lchash chulg'ami mustaqil halqalarining soni va ulanish sxemalariga, ikkilamchi kuchlanish chiqish tokining yig'indi kattaligiga bog'liq qiymati: ikkita (pazlari soni  $z=24$ -ga teng bo'lgan asinxron motor uchun) yoki uchta (pazlari soni  $z=36$ -ga teng bo'lgan asinxron motor uchun) asinxron motorning kuchlanishni tokka o'zgartiruvchi sezgirligini tegishlicha oshirishda o'lchash chulg'amining bitta alohida halqasiga nisbatan (solishtirganda) halqalarni parallel ulash ikkilamchi kuchlanish chiqish tokining ikki karrali yoki uch karrali qiymatini ta'minlaydi.

### **Nosinusoidallik ko'satkichlarini baholashning Fast Fure Translation analitik ifodasi**

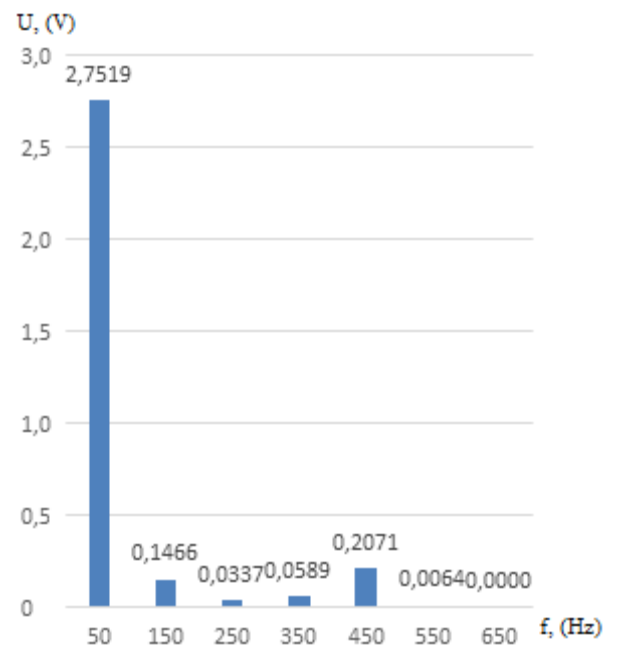
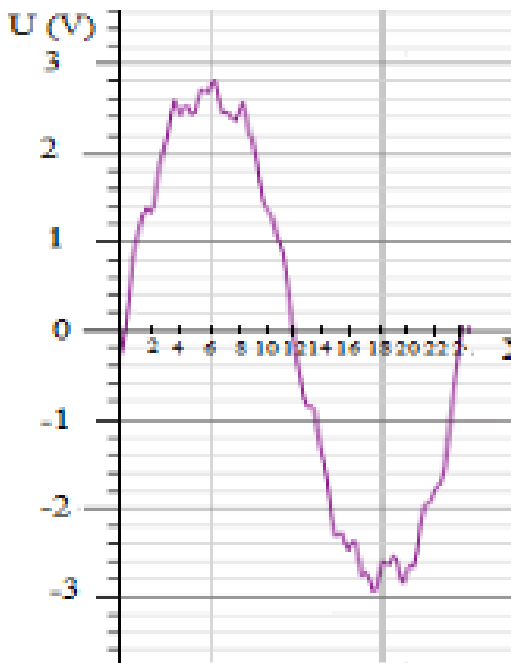
Asinxron motorlarda tok va kuchlanishning yuqori garmoniklari quvvatni qo'shimcha isrof bo'lishiga, stator chulg'amning qizishiga, temir o'zakni yemirilishiga, chulg'amning izolyatsiyasining eskirishini tezlashtirish va boshqalarga olib keladi.

Asinxron motor stator chulg'ami tok nosinusoidalligini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning halqalarini alohida, ketma - ket va parallel ulash orqali hosil qilingan o'zgaruvchan garmonikalarni Fast Fure Translation analitik ifodalarini yozamiz.

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning mustaqil halqasidagi chiqish kuchlanishini amaliy o'lchangan dinamik tavsifidan foydalanib Fure qatorlarga bo'lib olamiz.

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$U_{chi}$	1,1	1,4	2,1	2,4	2,4	2,7	2,42	2,4	2,1	1,2	0,96	0
q			8	4	2	8						





5.8-rasm. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich bitta halqa ulangandagi sinusoidal dinamik tavsifi va diagrammasi

Asinxron motor stator chulg'amlaridagi nosinusoidallik ko'effitsientni  $A_1$  –garmonika uchun yozib chiqamiz.

$$\begin{aligned}
 A'_1 &= \frac{4}{24} \left( 1,1 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 1}{24}\right) + 1,4 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 2}{24}\right) + 2,18 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 3}{24}\right) + 2,44 \right. \\
 &\quad * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 4}{24}\right) + 2,42 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 5}{24}\right) + 2,78 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 6}{24}\right) + 2,42 \\
 &\quad * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 7}{24}\right) + 2,4 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 8}{24}\right) + 2,1 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 9}{24}\right) + 1,2 \\
 &\quad \left. * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 10}{24}\right) + 0,96 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 11}{24}\right) + 0 * \left(\frac{2\pi \cdot 12}{24}\right) \right) = 2,75 \\
 A''_1 &= \frac{4}{24} \left( 1,1 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 1}{24}\right) + 1,4 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 2}{24}\right) + 2,18 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 3}{24}\right) + 2,44 \right. \\
 &\quad * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 4}{24}\right) + 2,42 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 5}{24}\right) + 2,78 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 6}{24}\right) + 2,42 \\
 &\quad * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 7}{24}\right) + 2,4 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 8}{24}\right) + 2,1 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 9}{24}\right) + 1,2 \\
 &\quad \left. * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 10}{24}\right) + 0,96 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 11}{24}\right) + 0 * \left(\frac{2\pi \cdot 12}{24}\right) \right) = 0,06 \\
 A_1 &= \sqrt{(A'_1)^2 + (A''_1)^2} = \sqrt{2,75^2 + 0,06^2} = 2,751
 \end{aligned}$$

bu yerda,  $A_1$  – tadqiq etilayotgan o'zgaruvchan nosinusoidallikning birinchi garmonikasi tashkil etuvchisini amplitudasi.

Huddi  $A_1$ -garmonika hisob kitoblari singari quyidagi garmonikalarni hisoblab topamiz.

$$A_3 = \sqrt{(A'_3)^2 + (A''_3)^2} = \sqrt{(0,146)^2 + (0,0004)^2} = 0,146$$

$$A_5 = \sqrt{(A'_5)^2 + (A''_5)^2} = \sqrt{(0,173)^2 + (-0,0289)^2} = 0,033$$

$$A_7 = \sqrt{(A'_7)^2 + (A''_7)^2} = \sqrt{(0,054)^2 + (-0,0221)^2} = 0,058$$

$$A_9 = \sqrt{(A'_9)^2 + (A''_9)^2} = \sqrt{(0,206)^2 + (-0,013)^2} = 0,0207$$

$$A_{11} = \sqrt{(A'_{11})^2 + (A''_{11})^2} = \sqrt{(0,0063)^2 + (0,000231)^2} = 0,0063$$

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning bitta halqasidagi garmonika koeffitsientlarini aniqlaymiz.

$$K_3 = \frac{A_3}{A_1} * 100\% = \frac{0,146}{2,75} * 100\% = 5,32\%$$

$$K_5 = \frac{A_5}{A_1} * 100\% = \frac{0,033}{2,75} * 100\% = 1,225\%$$

$$K_7 = \frac{A_7}{A_1} * 100\% = \frac{0,058}{2,75} * 100\% = 2,139\%$$

$$K_9 = \frac{A_9}{A_1} * 100\% = \frac{0,207}{2,75} * 100\% = 7,52\%$$

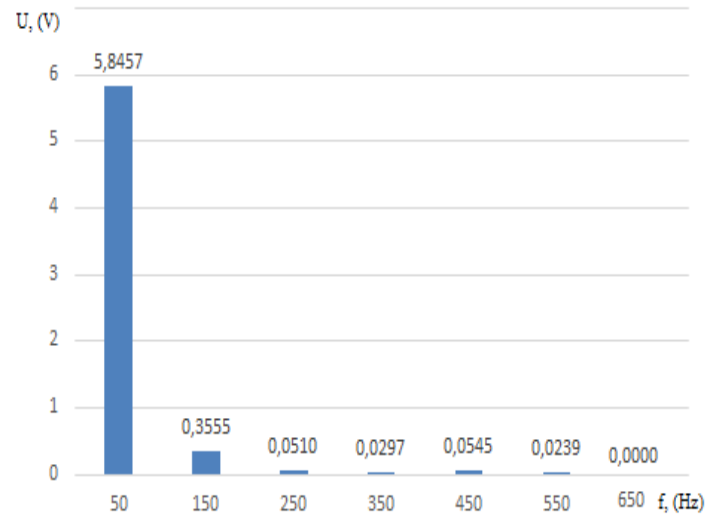
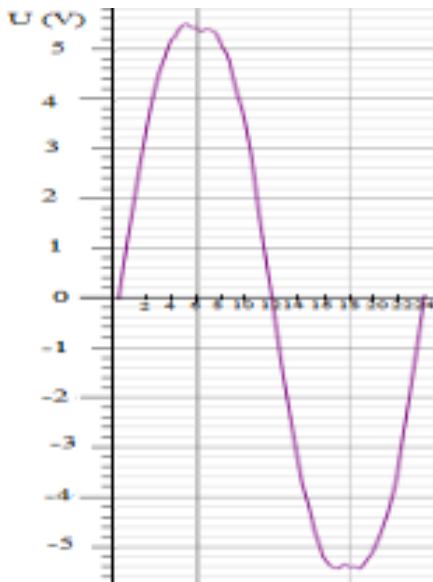
$$K_{11} = \frac{A_{11}}{A_1} * 100\% = \frac{0,0063}{2,75} * 100\% = 0,231\%$$

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning bitta halqasini davriy o'zgaruvchan funksiyasining nosinusoidallik koeffitsienti quyidagicha.

$$K = \sqrt{5,32^2 + 1,225^2 + 2,13^2 + 7,52^2 + 0,213^2} = 9,54\%$$

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning halqlarini ketma-ket ulash va ularning chiqish kuchlanishlarini yozib chiqamiz.

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
U <sub>chiq</sub>	1,6	3,2	4,4	5,1	5,5	5,4	5,39	5,02	4,38	3,4	1,8	0



5.9-rasm. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich ikkita halqaning ketma-ket ulanishidagi sinusoidal tavsif.

Asinxron motor stator chulg'amlaridagi nosinusoidallik koeffitsientni  $A_1$  –garmonika uchun yozib chiqamiz.

$$A'_1 = \frac{4}{24} \left( 1,6 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 1}{24}\right) + 3,2 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 2}{24}\right) + 4,4 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 3}{24}\right) + 5,1 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 4}{24}\right) + 5,5 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 5}{24}\right) + 5,4 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 6}{24}\right) + 5,39 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 7}{24}\right) + 5,02 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 8}{24}\right) + 4,38 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 9}{24}\right) + 3,4 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 10}{24}\right) + 1,8 * \sin\left(\frac{2\pi \cdot 11}{24}\right) + 0 * \left(\frac{2\pi \cdot 12}{24}\right) \right) = 5,845$$

$$A''_1 = \frac{4}{24} \left( 1,6 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 1}{24}\right) + 3,2 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 2}{24}\right) + 4,4 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 3}{24}\right) + 5,1 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 4}{24}\right) + 5,5 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 5}{24}\right) + 5,4 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 6}{24}\right) + 5,39 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 7}{24}\right) + 5,02 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 8}{24}\right) + 4,38 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 9}{24}\right) + 3,4 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 10}{24}\right) + 1,8 * \cos\left(\frac{2\pi \cdot 11}{24}\right) + 0 * \left(\frac{2\pi \cdot 12}{24}\right) \right) = -0,0466$$

$$A_1 = \sqrt{(A'_1)^2 + (A''_1)^2} = \sqrt{5,845^2 + (-0,0466)^2} = 5,845$$

bu yerda,  $A_1$  – tadqiq etilayotgan o'zgaruvchan nosinusoidallikning birinchi garmonikasi tashkil etuvchisini amplitudasi.

Huddi  $A_1$ -garmonika hisob kitoblari singari quyidagi garmonikalarni hisoblab topamiz.

$$A_3 = \sqrt{(A'_3)^2 + (A''_3)^2} = \sqrt{(0,351)^2 + (-0,052)^2} = 0,355$$

$$A_5 = \sqrt{(A'_5)^2 + (A''_5)^2} = \sqrt{(-0,0286)^2 + (0,0422)^2} = 0,051$$

$$A_7 = \sqrt{(A'_7)^2 + (A''_7)^2} = \sqrt{(-0,0071)^2 + (0,028)^2} = 0,029$$

$$A_9 = \sqrt{(A'_9)^2 + (A''_9)^2} = \sqrt{(-0,048)^2 + (0,025)^2} = 0,054$$

$$A_{11} = \sqrt{(A'_{11})^2 + (A''_{11})^2} = \sqrt{(0,023)^2 + (0,0029)^2} = 0,023$$

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning halqalarini

ketma-ket ulashdagi garmonika koeffitsientlarini aniqlaymiz.

$$K_3 = \frac{A_3}{A_1} * 100\% = \frac{0,146}{2,75} * 100\% = 5,31\%$$

$$K_5 = \frac{A_5}{A_1} * 100\% = \frac{0,033}{2,75} * 100\% = 1,20\%$$

$$K_7 = \frac{A_7}{A_1} * 100\% = \frac{0,058}{2,75} * 100\% = 2,11\%$$

$$K_9 = \frac{A_9}{A_1} * 100\% = \frac{0,207}{2,75} * 100\% = 7,53\%$$

$$K_{11} = \frac{A_{11}}{A_1} * 100\% = \frac{0,0063}{2,75} * 100\% = 0,23\%$$

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning halqalarini ketma-ket ulashdagi davriy o'zgaruvchan funksiyasining nosinusoidallik koeffitsienti quyidagicha.

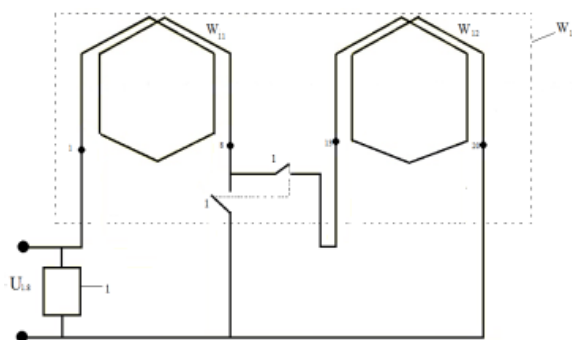
$$K = \sqrt{6,08^2 + 0,87^2 + 0,507^2 + 0,93^2 + 0,4^2} = 6,24\%$$

$$\varepsilon = \frac{K_{mustaqil} - K_{ketma-ket}}{K_{mustaqil}} * 100\% = \frac{9,54 - 6,24}{9,54} * 100\% = 34,59\%$$

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning o'lchov halqalarini ketma-ket ulaganimizda mustaqil halqaga nisbatan nosinusoidallik 34,59 % ga yaxshilanganligini ko'rishimiz mumkin.

### 5.3. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichlarining sezgir elementlarini amaliy sinash

Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi yordamida nazorat qilish va boshqarish uchun qurilmaning fizik modeli ishlab chiqilgan. Ushbu tok o'zgartkichining sezish elementi sifatida olingan o'lchash chulg'amlari ( $W_{o'lch.}=3$ ) asinxron motorning stator pazlarida asosiy stator chulg'ami va paz ponalari orasiga joylashtirilib, har bir faza o'lchash chulg'ami ikkita mustaqil halqa  $U'_a, U''_a$  kirish va chiqish uchlaridan iborat. 5.2–rasmda asinxron motor stator pazlarida boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning tuzilish sxemasi va stator qismi ko'rsatilgan.



a)



b)

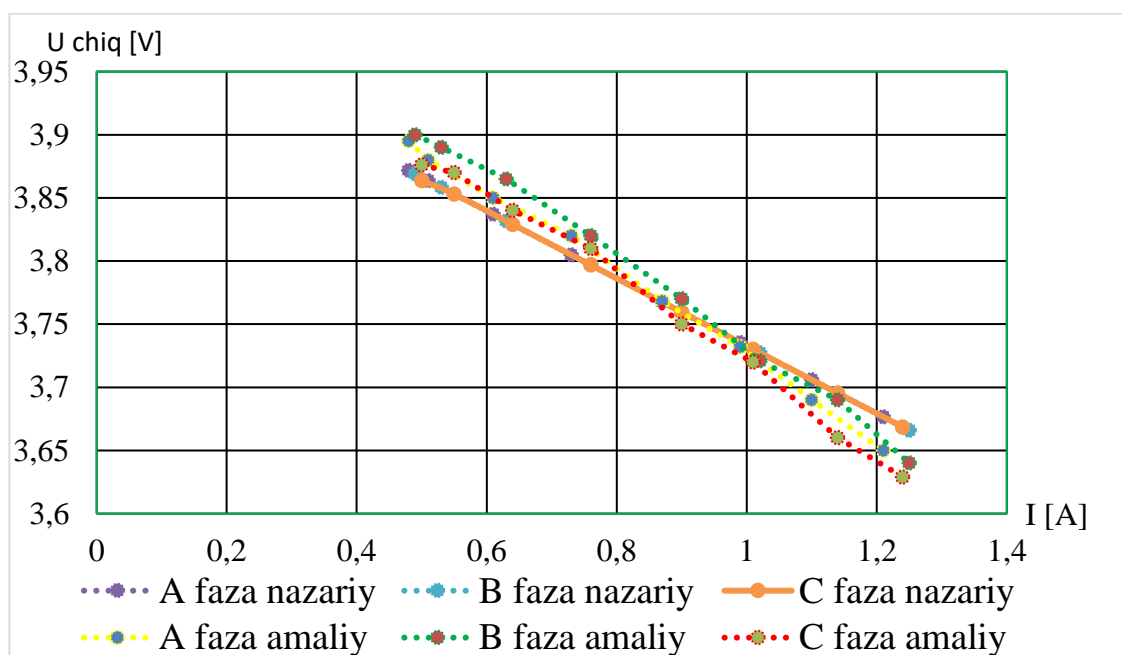
5.10-rasm. Asinxron motor stator pazlarida boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining tuzilish sxemasi (a) va stator pazida joylashtirish (b).

Asinxron motorning uch fazali stator toklarini chiqish kuchlanishlari ko'rinishidagi kattalikka o'zgartkichining sezgir elementi nazorat qilish, boshqarish va himoyalash tizimlariga axborot yetkazish uchun xizmat qiladi. Ushbu tokni kuchlanishga o'zgartkich tuzilishi jihatdan oddiy va tayyorlash texnologiyasi oson bo'lib, asinxron motorning reaktiv quvvatini nazorat qilish va boshqarish tizimlarini uzluksiz signal bilan ta'minlash imkoniyatini yaratadi.

Asinxron motorning ish holatida stator toklarini o'zgarishiga mos holda tok o'zgartkichining chiqish kuchlanishlari qiymati o'zgaradi. O'lchash chulg'ami chiqish kuchlanishlarining miqdori o'lchash asboblari va boshqarish tizimlari uchun

mos ravishda ko'pi bilan 5 [V] kuchlanish ko'rinishidagi signal hosil bo'ladi, shuning uchun o'chov chulg'amini har bir fazsini o'rashda alohida halqalarga ajratib olinib signal olinganda har bir halqa 5 [V] kuchlanish ko'rinishidagi signal olish mumkinligi aniqlandi. Agarda halqalarni o'zara blokirovkalanuvchi kontakot yordamida qo'shib ishlatganimizda ikki barabar katta miqdordagi bohqariluvchi signal olish imkoni yaratildi.

Asinxron motor reaktiv quvvat iste'molini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi yordamida amaliy va nazariy tadqiqi tavsifi quyidagi (5.11-rasm) da keltirilgan



5.11-rasm. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich orqali asinxron motor stator chulg'amining barcha fazalarini amaliy va nazariy xarakteristikalari.

Asinxron motor stator toklarini nosimmetrik ko'rsatkichlarini ifodalovchi uch fazali statik tavsifi quyidagicha tadqiq etilgan.

Asinxron motor reaktiv quvvat iste'molini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi orqali olingan amaliy natija quyidagicha bo'lib ular asinxron motorning texnik ma'lumotlari asosida aniqlangan:

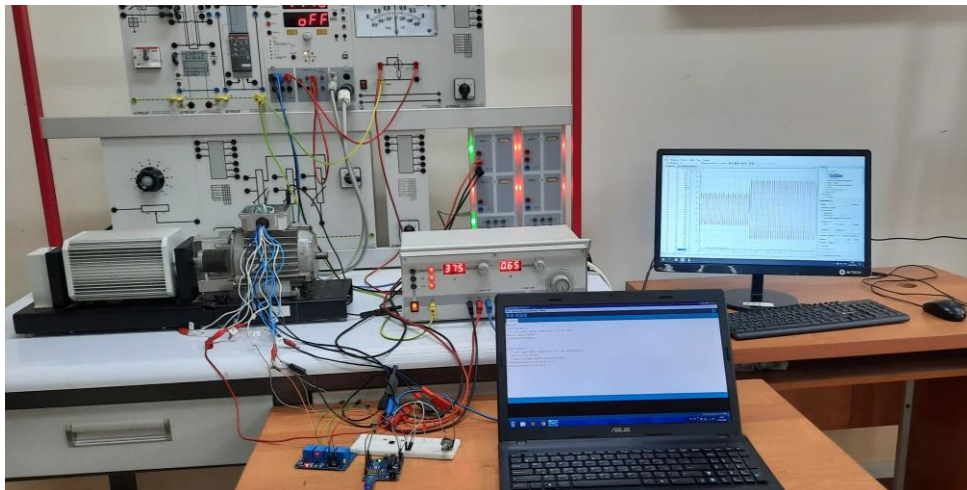
$$\Delta I_y = \frac{I_{nom} - I_{yuk}}{I_{nom}} = \frac{1,123 - 0,6}{1,125} \cdot 100 = 46\%$$

Asinxron motor 46% yuklama bilan ishlaganda, reaktiv quvvat iste'molini chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta U_{chiq} = \frac{U_{nom} - U_{yuk}}{U_{nom}} = \frac{3,9 - 3,744}{3,9} \cdot 100 = 4\%$$

Yani, hisoblar asosida asinxron motor nominal ko'rsatgichga nisbatan 46 % yuklama bilan ishlaganda, yani kam yuklanganda, reaktiv quvvat iste'moli 4% ga oshishi aniqlandi.

Asinxron motor reaktiv quvvatini nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichi yordamida nazorat qilish uchun (5.15-rasm) stator chulg'ami bitta fazasining birlamchi toki  $I_A$  ning ikkilamchi kuchlanish  $U_a$  ga o'zgartgichi o'lchash chulg'ami  $W_1$ , ikkita mustaqil halqa  $W_{11}$  va  $W_{12}$  dan tashkil topgan, ular kontroller  $K_1$  ning o'zaro blokirovkalanuvchi kontaktlari  $K_{11}$  i  $K_{12}$  holatiga bog'liq ravishda alohida yoki ketma-ket ulanadi. Buni amalga oshirish uchun Arduino mikrokontrolleri asosidagi fizik boshqaruv modeli ishlab chiqilan 5.3-rasmda keltirilan.

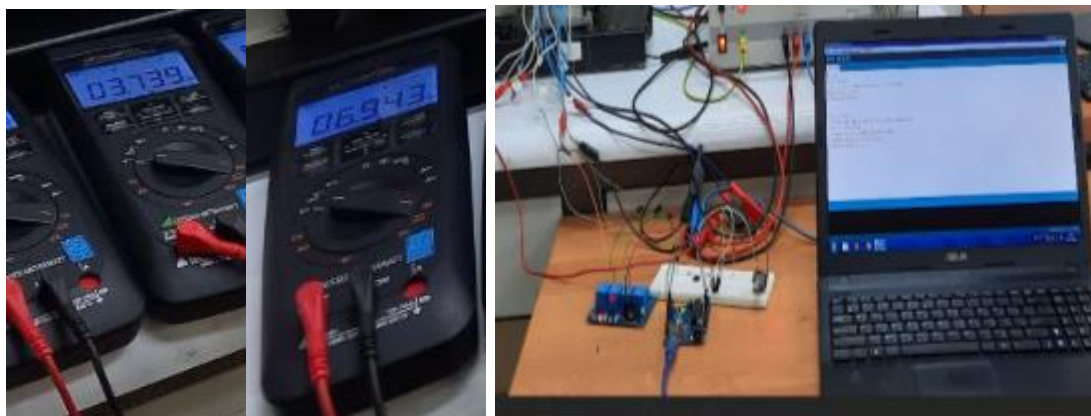


5.15-rasm. Asinxron motor reaktiv quvvatini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining Arduino mikrokontrolleri asosidagi fizik boshqarish modeli.

Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini nazorat va boshqaruvini amalga oshirish uchun boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichni Arduino Uno mikrokontrolleri yordamida yozilgan programma orqali amalga oshirildi. Dastur "C++" programmalash tilida yozildi.



5.16-rasm. Tok o'zgartkichining ikki halqasini mikrokontroller yordamida boshqarilganda chiquvchi kuchlanish qiymatlari.



5.17-rasm. Tok o'zgartkichining ikki halqasini mikrokontroller yordamida boshqarish.

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning asosiy xarakteristikallari

Tarmoq kuchlanish, $\kappa V$	0,38
O'zgartirish oralig'i, A	0÷3000
Statik tavsifi	chiziqli
O'lchov chulg'ami o'ramlar soni,	$W_{o1} = 1\div 2$
Tarmoq chastotasi	50 Hz
O'lchash xatoligi, %	0,45
Sezgirligi, V/degri	$\pm 0,05$
O'lchami, mm	0,07–3,00
Massasi, kg	0,09 – 0,18



## XULOSA

1. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning magnit bo'laklarida hosil qilingan magnit kattalik va parametrlarini tarqalishini tadqiq etish imkonini beruvchi yig'iq va tarqoq parametrli model va uni tuzish algoritmi ishlab chiqildi, o'lchov halqalarini alohida, ketma – ket ulash asosida o'zgartirish bo'lagi parametrlarini tadqiq etish kuchlanish ko'rinishidagi chiqish signali qiymatlarini me'yorlashtirish (5 V) usuli takomillashtirildi.
2. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning chiqishidagi kuchlanish  $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$  signallar nosimmetriklik holatini perpendikulyarlik va bir tekisda tarqalishlik talablari asosida nosimmetrik magnit oqimlar o'zgartkich sezgir elementlari yuzasini kesib o'tishini va o'zgartirish bo'laklarining M.Yu.K. va magnit oqimining qiymatlarini ratsional hisoblash ta'minlandi.
3. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining hosil qilishda o'lchash chulg'amini har bir halqalarini alohida qisimlarga ajratish orqali boshqariluvchan chiqish signalini hosil qilish magnit oqimlarning o'zgartirish bo'lakchalarida tarqalish yo'nalishlari, sezish elementlarining turlariga bog'liqligi tadqiq qilindi.
4. Asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining tavsiflarini tadqiq etishning graf modeli va bu model asosida analitik ifodasi ishlab chiqildi.
5. Asinxron motorning birlamchi tarmoq tokiga boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning ta'sirini ifodalovchi dinamik tavsiflari olindi.
6. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining xatoliklarini aniqlash uchun garf model va uning funksional sxemasi tuzildi, va unga ko'ra o'zgartkichning entropiya xatolik koeffitsienti  $K_e = 2,07$  ga tengligidan umumiy xatoligi  $\Delta_{\epsilon} = 0,45$  ekanligi va tok o'zgartkichini me'yoriy aniqlik sinfi 0,5 dan kichikligi isbotlangan.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YHATI

1. Allal A., Abderrahmane K. Diagnosis of induction motor faults using the motor current normalized residual harmonic analysis method // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. Volume 140, may 2021, 208-219
2. Ammar K. Al-Musawi., Fatih Anayi., Michael Packianather. Three-phase induction motor fault detection based on thermal image segmentation // Infrared Physics & Technolog. Volume 104, 10 January 2020, p 3-7
3. Andrzej Trzynadlowski. Control of induction motors // Books , 1<sup>st</sup> edition – 10 January 2, 2000 pages 3-5.
4. Amirov S.F., Yoqubov M.S., Jabborov N.G‘. Nazariy elektrotexnika // Darslik. Toshkent 2016 p.113-125.
5. Bimal K. Bose. Induction motor drive // Power electronics and motor drives (second edition). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12> pp.7-9.
6. Boixanov Z.U. Elektr energiya ta‘minoti tizimida reaktiv quvvat manbalarining parametrlari Scientific and technical journal machine building №3(4) 2021 й.
7. Boikhanov Z.U. Analysis of reactive power of asymmetrical electrical consumers // Innovative ideas, development in practice: problems, research and solutions .International scientific and practical online conference, Andijan, april 21, 2021
- 8.
9. Gülmezoğlu M., Ergin S. An approach for bearing fault detection in electrical motors // European Transactions on Electrical Power, vol. 17(6), pp. 628–641, 2007.
10. International standard EN–50160, “Instrument transformers – Part 1: Current transformers”.pp.23-27.
11. Jacqueline Jordan Guedes., Marcelo Favoretto Castoldi., Alessandro Goedtel., Cristiano Marcos Agulhari., Danilo Sipoli Sanches. Parameters estimation of three-phase induction motors using differential evolution // Electric Power Systems Research volume 154, 10 January 2018, pages 204-212

12. Juan R.N. Real and reactive power control of induction motor drive// LSU master's theses 2019.93-99pp.

13. Krontiris E., Hanitch R., Paralika M., Rampias I., Stathais E., Nabe A., Kadirov T.M., Khashimov A.A., Karimov Kh.G., Sitdikov R.A., Shaislamov A.Sh., Yusupov B., Gayibov T.Sh., Siddikov I.Kh., Tulaganov M.M., Badalov A.A. Energy Management Training in Uzbekistan // The final report of the Project EC T JEP-10328 – 97. TU – Berlin (Germany), TEI –Athens (Athens, Greece), TashGTU (Tashkent, Uzbekistan), 1997–2001. 213-226 pp.

14.

15. Malikov A., Uzakov R., Boikhanov Z. Effect of changes in the active resistance of stator windings of an asynchronous electric motor on the output signal of a three-phase current converter // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари журнали, Тошкент, 2021. № 3, 63-70 бетлар.

16. Martynas Š., Vytautas B., Algirdas B., Aldas D., Edvardas B., Sarunas P., Nerijus P., Vytautas M. Asymmetric Compensation of Reactive Power Using Thyristor-Controlled Reactors // Symmetry 2020, 12, pp 880-883.

17. Naser Mahdavi Tabatabaei., Ali Jafari Aghbolaghi., Nicu Bizon., Frede Blaabjerg. Reactive Power Control in AC Power Systems: Fundamentals and Current Issues// Springer,– 2017: 634-637 p.

18. Nandi S., Tliyat H., Li X. Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors-A review // IEEE Trans. On Energy Conversion, vol. 20(4), pp. 719-729, 2005.

19. Putman R.E. Industrial Energy Systems Analysis, Optimization and Control, ASME Press, NY,pp.32-36, 2004.

20. Ocak H, Loparo K. A.. A new bearing fault detection and diagnosis scheme based on hidden Markov Modeling of vibration signals // In Proc. Of IEEE Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 3141-3144, 2001.

21. Rejabov Z., Boikhanov Z.U. Dynamic models of an electromechanical electric drive system of an asynchronous motor // The American journal of engineering and technology DOI:[https://doi.org/10.37547/tajet/Volume 03Issue](https://doi.org/10.37547/tajet/Volume%2003Issue)

April 30,2021|pages:134-139

22. Rafael Barreto. Reactive Power Management. Cuba, Amazon. 2011.–48p.

23. Schaumburg H. Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik. Sensoren. Stuttgart: B.G. Teubner, 1992. 324-341 p.

24. Schaumburg H. Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik. Sensor–anwendungen. Stuttgart: B.G. Teubner, 2012.156-174 p.

25. Schaumburg H., Ritchie E., Khamdamov R.,Kh., Adilov A.A., Bistrov D.D., Zakirov T.Z., Abdullaev A.Kh., Musaev M.N., Siddikov I.Kh., Kayumov Sh.Sh., Mazgarov B.A., Kim M.O. Long Distance Training in Uzbekistan // The final report of the Project EC T JEP–10845–99. TUHH – Gamburg – Harburg (Germany), AAU – Aalborg (Denmark), TashGTU (Tashkent, Uzbekistan), 1999 – 2004. 238-253 p.

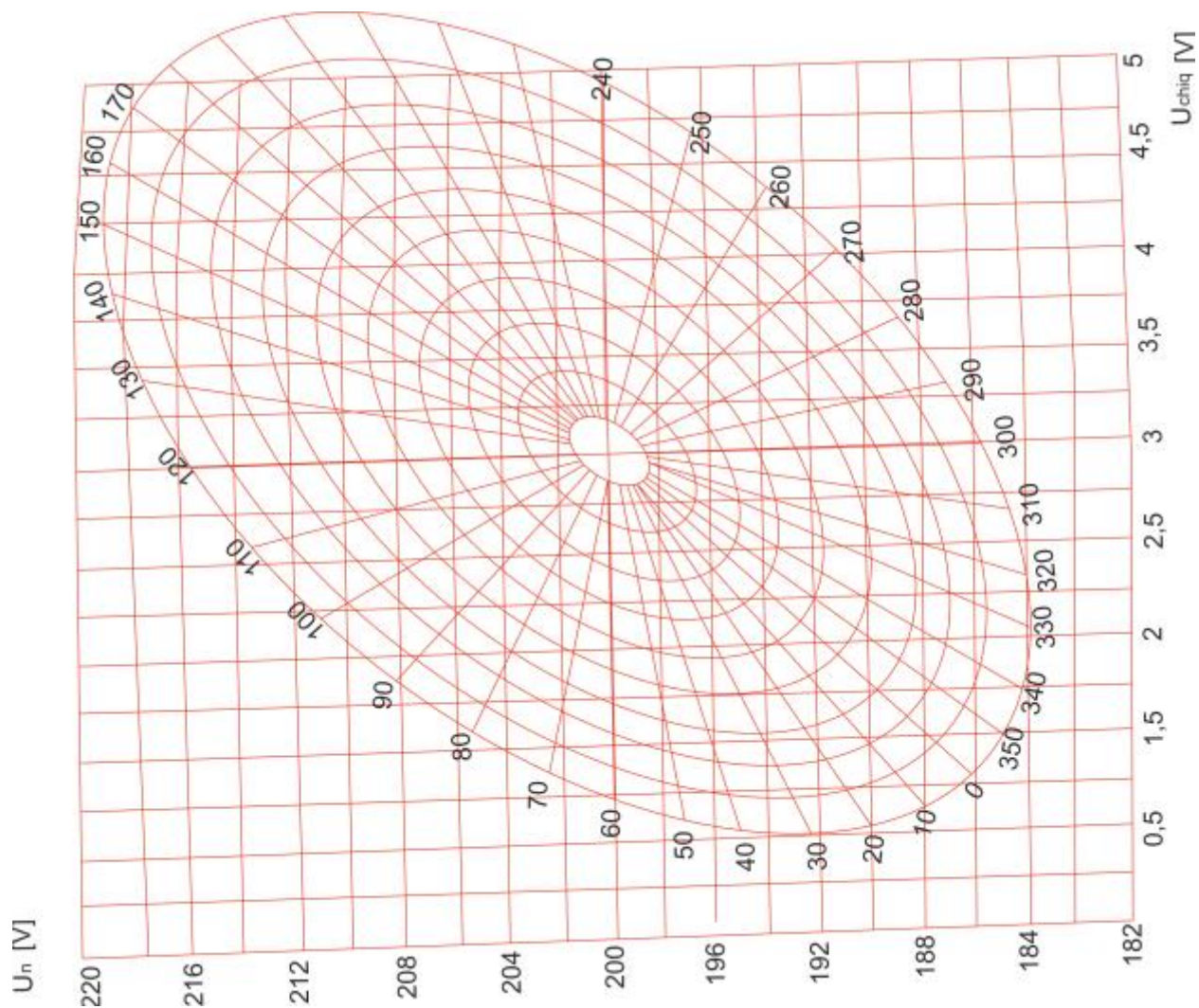
26. Seenivasan V., Ponkumar K ., Venkatraman R., Jeslindrusilanesamalar J. Induction motor condition monitoring and controlling based on IOT // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Volume: 06 Issue: 3 / Mar 2019.pp-3

27. Semih Ergin., Arzu Uzuntas., M. Bilginer Gulmezoglu. Detection of Stator, Bearing and Rotor Faults in Induction Motors // International Conference on Communication Technology and System Design 2011. Procedia Engineering 30 (2012) 1103 – 1109

28. Siddikov I.Kh, Makhsudov M.T, Boikhanov Z.U, Uzaqov R. Features productions reactive power on systems electrical supply with renewable sources energies // ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. India, Vol. 10, Issue 6, June 2020, p 292–296.

29. Siddikov I., Anarboev M.A., Sattarov Kh., Abubakirov A., Khonturaev I., Maxsudov M. «Research of transforming circuits of electromagnets sensor with distributed parameters»10 th International Symposium on intelegent Manufacturing and Service Systems. 9–11 September 2019. Sakarya. Turkey. C.831–837.

## Nomogramma



MUNDARIJA

	<b>KIRISH</b> .....	3
<b>I BOB</b>	<b>ASINXRON MOTOR REAKTIV QUVVATINI NAZORATIDAGI TOK O‘ZGARTKICHLARINI XUSUSIYATLARI</b>	
1.1–§	Asinxron motor reaktiv quvvatining kattaliklari chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichlarini tahlili.....	5
1.2–§	Asinxron motor reaktiv quvvat kompensatsiyalash usullari.....	7
1.3–§	Reaktiv quvvat uch fazali toklarining nosimmetrik kattaliklarini asinxron motor ish rejimiga ta‘sirlari.....	12
	Birinchi bob bo‘yicha xulosalar.....	19
<b>II BOB</b>	<b>ASINXRON MOTOR REAKTIV TOKLARIGA TA‘SIR QILUVCHI TASHQI OMILLAR</b>	21
2.1–§	<b>Asinxron motor reaktiv toklariga ta‘sir qiluvchi tashqi omillar</b>	21
2.2–§	Asinxron motorning nonormal rejimlari.....	25
2.3–§	Asinxron motorning reaktiv toklarining nosimmetrikligi o‘zgartkichlarini turlari va tavsifi .....	31
	Ikkinchi bob bo‘yicha xulosalar.....	38
<b>III BOB</b>	<b>ASINXRON MOTOR REAKTIV TOKLARINING BOSHQARILUVCHAN NOSIMMETRIK CHIQISH KUHLANISHINI HOSIL QILISH JARAYONLARINI MODELLASHTIRISH</b>	
3.1–§	Uch fazali toklarning nosimmetrik rejimlarini manbalari va ularni xususiyatlari.....	39
3.2–§	Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishga o‘zgartirish jarayonlarini modellashtirish.....	51
3.3–§	Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichlarining tuzilmalarini modellashtirish.....	55
<b>IV BOB</b>	<b>ASINXRON MOTOR REAKTIV QUVVATINING NOSIMMETRIK KATTALIKLARINI BOSHQARILUVCHAN CHIQISH KUHLANISHLI TOK O‘ZGARTKICHINING ASOSIY TAVSIFLARI</b>	
4.1–§	Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichining statik tavsiflari.....	66
4.2–§	Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichlarini dinamik tavsiflari.....	71
4.3–§	Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o‘zgartkichlarining xatoliliklari, ishonchlilik ko‘rsatkichlari va samarali ishlashining tadqiqi.....	76
<b>V BOB</b>	<b>ASINXRON MOTOR REAKTIV QUVVATINING NOSIMMETRIK KATTALIKLARINI BOSHQARILUVCHAN</b>	

## **CHIQISH KUCHLANISHLI TOK O'ZGARTKICHLARINING AMALIY TADQIQLAR**

5.1–§	Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichlarining tuzilish tamoyillarini tanlash va qo'llash.....	85
5.2–§	Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichlarini tuzilmasini ishlab chiqish.....	88
5.3–§	Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichlarining sezgir elementlarini amaliy sinash.....	100
	XULOSALAR.....	105
	FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YHATI.....	106
	ILOVALAR.....	109