

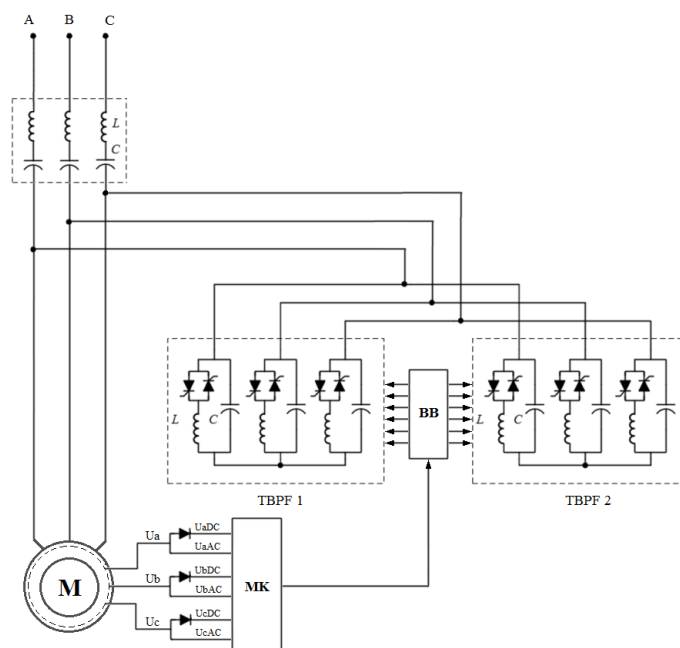
**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
ANDIJON MASHINASOZLIK INSTITUTI**



SIDDIKOV I.X., KARIMJONOV D.D.

**ASINXRON MOTOR REAKTIV QUVVATINING FILTR-
KOMPENSATSIYA QURILMALARINI NAZORAT VA
BOSHQARUVINING ELEKTROMAGNIT O‘ZGARTKICHLARI**

Monografiya



Andijon – 2023

SIDDIKOV I.X., KARIMJONOV D.D.

UO‘K: 621. 398:007(075)

Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat va boshqaruvining elektromagnit o‘zgartkichlari: Monografiya: Andijon “Andijon mashinasozlik instituti nashriyoti” – 2023 yil / 116 b.

Ushbu monografiyada asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat va boshqaruvining elektromagnit o‘zgartkichlarining tahlili, tadqiqot modellari, analitik ifodalari, algoritmlari va dasturiy ta’minotlarini va imkoniyatlari kengaytirilgan turlarini ishlab chiqish, bo‘yicha tadqiqot natijalari keltirilgan. Monografiya bakalavriat talabalari, magistrilar, tayanch doktorantlar, doktorantlar va ilmiy-pedagogik xodimlar uchun mo‘ljallangan.

Monografiya Andijon mashinasozlik instituti Kengashining _____
№ ____ - sonli yig‘ilishida ko‘rib chiqilib tasdiqlangan va chop etishga ruxsat etilgan.

Taqrizchilar: A.Sh. Shukuraliyev – Andijon mashinasozlik instituti “Elektrotexnika, elektromexanika va elektrotexnologiyalar” kafedrasini mudiri, t.f.f.d., dotsent.

D.B. Qodirov – “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti “Elektr ta’minoti va qayta tiklanuvchi energiya manbalari” kafedrasini mudiri, t.f.d.

Siddikov I.X., Karimjonov D.D.

© Andijon mashinasozlik instituti nashriyoti

MUNDARIJA

	KIRISH.....	5
I BOB	ASINXRON MOTOR REAKTIV QUVVATINING FILTR-KOMPENSATSIYA QURILMALARINI NAZORAT VA BOSHQARUV TIZIMINI ELEKTROMAGNITLI TOK O‘ZGARTKICHLARINI HUSUSIYATLARI.....	7
	1.1-§. Asinxron motorning ish jarayonidagi reaktiv quvvati va energiyasini xususiyatlari.....	7
	1.2-§. Asinxron motorda hosil bo‘luvchi reaktiv quvvatni tashkil etuvchi nosimmetrik va nosinusoidal uch fazali toklari.....	13
	1.3-§. Asinxron motor reaktiv quvvatining nazorat va boshqaruvida qo‘llaniluvchi elektromagnitli tok o‘zgartkichlari.....	24
	1.4-§. Monografiya ishining maqsadi va vazifalari.....	31
	Birinchi bob bo‘yicha xulosalar.....	32
II BOB	ASINXRON MOTOR REAKTIV QUVVATINING FILTR-KOMPENSATSIYA QURILMALARINING UCH FAZALI ELEKTROMAGNITLI TOK O‘ZGARTKICHLARINI MODELLASHTIRISH.....	34
	2.1-§. Asinxron motor filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorati va boshqaruvida foydalaniluvchi uch fazali tok o‘zgartkichlarini modellashtirish.....	34
	2.2-§. Asinxron motor iste‘mol reaktiv quvvatining uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarini o‘zgartirish qismlarini modellashtirish.....	40
	2.3-§. Asinxron motor reaktiv quvvatining uch fazali toklarni elektromagnitli o‘zgartkichlarining tuzilmalarini modellashtirish.....	49
	2.4-§. Asinxron motor iste‘mol qilayotgan reaktiv quvvatining uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarini almashtirish sxemasiga asosan modellashtirish.....	52
	Ikkinchi bob bo‘yicha xulosalar.....	57

III BOB	ASINXRON MOTOR REAKTIV QUVVATINING FILTR-KOMPENSATSIYA QURILMALARINING UCH FAZALI ELEKTROMAGNIT TOK O‘ZGARTKICHLARINI TAVSIFLARI.....	59
3.1-§.	Asinxron motor filtr-kompensatsiya qurilmalarining uch fazali tok o‘zgartkichlarini statik tavsiflari tadqiqoti.....	59
3.2-§.	Filtr-kompensatsiya qurilmalaridagi uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarining tadqiqot algoritmi va dinamik tavsiflari.....	66
3.3-§.	Uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarning texnik va metrologik ko‘rsatkichlari.....	77
	Uchinchi bob bo‘yicha xulosalar.....	85
IV BOB	UCH FAZALI ELEKTROMAGNIT TOK O‘ZGARTKICHINI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA TADQIQ QILISH VA AMALIYOTDA QO‘LLASH.....	86
4.1-§.	Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va yuqori garmonika toklari qiymatlarini va quvvat koeffitsientini chiqish signallari orqali baholash.....	86
4.2-§.	Filtr-kompensatsiya qurilmalarini uch fazali tok o‘zgartkichlarini chiqish kattaliklarini raqamli texnologiyalar asosida nazorat qilish va boshqarishni tadqiq qilish.....	101
4.3-§.	Asinxron motor reaktiv quvvatini nazorat qilishda va boshqarishda foydalaniluvchi filtr-kompensatsiya qurilmalariga mos uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarini amaliy tadqiqatlari.....	107
	To‘rtinchi bob bo‘yicha xulosalar.....	113
	XULOSALAR.....	115
	FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YHATI.....	117
	ILOVALAR.....	123

KIRISH

Jahonda elektr energiyasining eng ko‘p tarqalgan iste‘molchilaridan bo‘lgan asinxron motorlarning reaktiv quvvatini nazorat va boshqaruvi hamda ularda qo‘llaniluvchi uch fazali toklarni elektromagnitli o‘zgartkichlarini tadqiqoti bo‘yicha tizimli asosdagi ilmiy tadqiqot ishlari amalga oshirilmoqda. Asinxron motorda magnit maydonini yuzaga keltirish uchun iste‘mol qilinayotgan reaktiv quvvatni ishlab chiqaruvchi va elektr energiyaning sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilashda qo‘llaniluvchi filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat va boshqaruvini uch fazali toklarning kattaliklarini o‘lchash va nazoratining elektromagnitli tok o‘zgartkichlarini aniqligini oshirish, tezkorligini, funksional imkoniyatlarini, o‘zgartirish tuzilmasining tuzilish tamoyilida qo‘llanilayotgan fizik-texnik effektlardan kombinatsion foydalanish, energiya va resurs isroflarini kamaytirish, chiziqli o‘zgaruvchi chiqish signallarini me‘yorlanganligini ta‘minlash tadqiqotlarning ustivor vazifalaridan hisoblanadi.

Jahonda asinxron motorlar iste‘mol qilayotgan elektr energiya reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal tok kattaliklarini o‘lchash, nazorat qilish va boshqarish tizimiga tegishli elementlarni va qurilmalarni takomillashtirishga doir bir qancha ilmiy tadqiqot ishlari amalga oshirilmoqda. Ushbu tadqiqotlarda asinxron motorlar iste‘mol qilayotgan elektr energiya reaktiv quvvatining miqdor va burchak ko‘rsatkichlarini nazorat va boshqaruvidagi filtr-kompensatsiyalovchi qurilmalarini sifatli signallar bilan ta‘minlash asosiy vazifalardan hisoblanadi. Elektr energiyaning reaktiv quvvatini filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat qilish, reaktiv quvvat manbalarining boshqaruv tizimlarida qo‘llanilayotgan signal hosil qilish jarayonlarini keng qamrovli algoritmlar asosida modellashtirish hamda tadqiq etish energiya va resurs tejamliligining muhim masalalaridan hisoblanadi. Elektr energiya reaktiv quvvatning nosimmetrik va nosinusoidal kattaliklarini nazorat va boshqaruvi rivojlangan o‘lchov tizimlarini ilg‘or imkoniyatlarini qo‘llashni talab

etmoqda, ushbu jarayonda birlamchi signal o'zgartirish qurilmalarini yangi turlarini ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish masalalari dolzarb hisoblanadi.

Respublikamizda asinxron motorlar iste'mol qilayotgan elektr energiyaning reaktiv quvvatini iste'molini nazorat va boshqaruv tizimlari elementlari va qurilmalarini rivojlantirish hamda amaliyotga joriy qilishga yo'naltirilgan bir qancha maqsadli chora-tadbirlar keng miqyosda amalga oshirilmoqda. 2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasidagi "sanoat tarmoqlarida yo'qotishlarni kamaytirish va resurslarni ishlatish samaradorligini oshirish bo'yicha "yashil iqtisodiyot"ga o'tish va energiya tejamkorligini ta'minlash dasturi" vazifalarini amalga oshirish belgilangan. Ushbu vazifalarni bajarishda elektr energiyaning uch fazali toklarining elektromagnitli o'zgartkichlarini ishlab chiqish hamda ularni amaliyotda qo'llash muhim masalalardan hisoblanadi.

Asinxron motorlar iste'mol qilayotgan elektr energiya reaktiv quvvatining nazorati va boshqaruvida foydalaniluvchi filtr-kompensatsiya qurilmalariga mos bo'lgan uch fazali toklarning elektromagnitli o'zgartkichlarining chiqish signallarini talab etilgan me'yoriy qiymatlar darajasida bo'lishligini ta'minlash muhim hisoblanadi. Uch fazali toklarni elektromagnitli o'zgartkichlarining chiqish kuchlanish ko'rinishdagi signallarini aniqligini, tezkorligini va chiziqligini ta'minlash ularni o'zgartirishda ishtirok etuvchi fizik-texnik effektlardan umumlashgan holda foydalanish bilan asoslanadi.

Asinxron motorlar reaktiv quvvatining nazorati va boshqaruvidagi filtr-kompensatsiya qurilmalarining nazariy va amaliy tahlili natijalari asosida xulosa qilish mumkinki, asinxron motorlar iste'mol qilayotgan elektr energiya reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat va boshqaruvi uchun sifatli chiqish kuchlanishlarini ta'minlash, asinxron motorlarning texnik imkoniyatlari asosida o'lchash, nazorat qilish va ularni ish holatidagi kattaliklarini monitoringi uchun yuqori aniqlik ko'rsatkichidagi elektromagnit o'zgartkichlarning hususiyatlari, funksional imkoniyatlari, modellari va ushbu o'zgartkichlarning tadqiqotlarini joriy etish muammolari yetarlicha o'rganilmaganlini ko'rsatadi.

I-BOB. ASINXRON MOTOR REAKTIV QUVVATINING FILTR-KOMPENSATSIYA QURILMALARI NAZORAT VA BOSHQARUV TIZIMINI ELEKTROMAGNITLI TOK O‘ZGARTKICHLARINI HUSUSIYATLARI

1.1-§. Asinxron motorning ish jarayonidagi reaktiv quvvati va energiyasini hususiyatlari

Tahlillarda ko‘rsatiladiki, ishlab chiqarilayotgan elektr energiyaning katta qismini korxonalaridagi asinxron motorlarga ega bo‘lgan elektr yuritmalar iste‘mol qiladi. Asinxron motorlar o‘zgaruvchan kuchlanishda, elektromagnit induksiya qonuniga asosan ishlaydi. Bu esa o‘z navbatida asinxron motorlar iste‘mol qilayotgan kuchlanishning belgilangan standartlar asosida sifatli bo‘lishini talab qiladi. Asinxron motorning stator chulg‘amidan nosimmetrik va yuqori garmonika toklarining oqib o‘tishi natijasida asinxron motorning ish rejimlariga salbiy ta‘sir ko‘rsatuvchi magnit oqimlar hosil bo‘ladi, bu esa asinxron motor reaktiv quvvatining oshishiga olib keladi, shuning uchun asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va yuqori garmonika toklarini nazorat qilish va boshqarish uchun texnik yechimlarni ishlab chiqish zarur hisoblanadi. Asinxron motor statoridagi nosimmetrik va yuqori garmonika toklar sababli hosil bo‘luvchi reaktiv quvvatni kompensatsiyalash uchun reaktiv quvvat manbalaridan foydalanish elektr ta‘minoti tizimi uchun samarador tadbirlardan biri hisoblanadi.

Sanoat korxonalarining elektr ta‘minot tizimida yuzaga keluvchi nosimmetriya va nosinusoidal toklar, elektr energiya iste‘molchilarining ish rejimlariga salbiy ta‘sir ko‘rsatadi, ya‘ni ularning reaktiv quvvatini oshishiga, ishlash davrining kamayishiga, ish sifatining pasayishiga hamda yana bir qancha salbiy omillarga olib keladi.

Bizga ma‘lumki, sanoat korxonalarining asosiy elektr energiya iste‘molchilarini, asinxron motorlar tashkil qiladi, chunki bir xil quvvatdagi boshqa turdagi motorlarga nisbatan asinxron motorlarning tan narxining pastligi, geometik

o'lchamlarining kichikligi va ishga tushirish jarayoni murakkab emasligi bilan farqlanadi. Elektr energiya stansiyalarida hosil bo'lgan elektr energiyaning 55-60 % iste'moli asinxron motorlarga to'g'ri keladi. Ular iste'mol qilayotgan to'la quvvatning 25-40 % esa reaktiv quvvat tashkil qiladi.

Asinxron motorlarning nosimmetrik va yuqori garmonika toklarining qiymati standartlarda belgilangan me'yorlarda bo'lmasligi asinxron motorlarning ishlash samaradorligini pasayishiga olib keladi. Shu bois nosimmetrik va nosinusoidal toklarning miqdorini kamaytirish, energiya tejamkorligini oshirishga imkon beradi. Asinxron motorlarning nosimmetrik va yuqori garmonika toklarini aniqlash, nazorat qilish va boshqarish fan va texnika taraqqiyoti rivojlanishining ustuvor yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Bundan kelib chiqadiki, asinxron motorlarning foydali ish koeffitsientining va quvvat koeffitsientining qiymatlarini oshirishda, asinxron motorlarda hosil bo'luvchi yuqori garmonika toklarini filtrlash hamda uning reaktiv quvvatini kompensatsiya qilishda, kodensator batareyalar va boshqa turdagi kompensatsion qurilmalardan foydalanish kerak bo'ladi.

Uch fazali asinxron motorning reaktiv quvvati quyidagi ko'rinishda aniqlanadi:

$$Q_{ASM} = Q_0 + Q_{qt} = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{P_0}{mU_{nom}I_0}\right)^2}}{\frac{P_0}{mU_{nom}I_0}} P_0 + \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{P_{qt}}{mU_{nom}I_{qt}}\right)^2}}{\frac{P_{qt}}{mU_{nom}I_{qt}}} P_{qt} \quad (1.1)$$

bu yerda Q_0 – asinxron motorning salt ishlash rejimidagi reaktiv quvvati, Q_{qt} – asinxron motorning qisqa tutashuv rejimidagi reaktiv quvvati, I_0 va I_{qt} – salt va qisqa tutashuv toklari, P_0 – asinxron motorning salt ishlash rejimidagi aktiv quvvati, P_{qt} – asinxron motorning qisqa tutashuv rejimidagi aktiv quvvati.

Nosimmetrik va nosinusoidal toklar asinxron motorlarni mometini kamaytirib quvvat isrofini oshiradi va ishlash davrini qisqartiradi. Turli garmonikalar sababli sinusoidal shaklga ega bo'lmagan toklar esa stator chulg'amlarining qizishiga va

elektr isroflarining oshishiga olib keladi. Asinxron motorlardagi nosimmetrik va nosinusoidal toklarni aniqlash, nazorat qilish va boshqarish orqali energiya, resurs tejamkorligiga erishish va asinxron yuritmalarning ishlash davrini oshirish muhim ahamiyatga ega bo‘lmoqda.

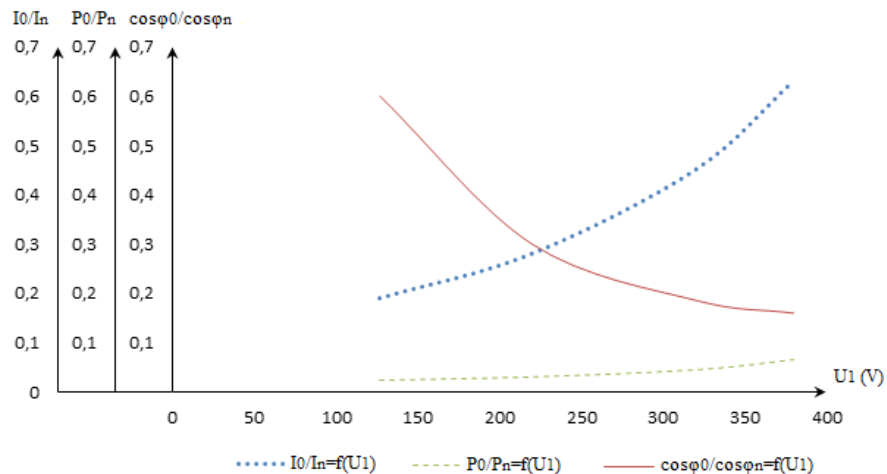
Asinxron motorning salt ishlash toki quyidagicha aniqlanadi, yuklamaning qiymati induktiv harakterli deb olinadi:

$$I_0 = \frac{U_1 - I_1(r_1 + jx_1)}{r_m + jx_m} \quad (1.2)$$

Asinxron motorning salt ishlash rejimidagi quvvat koeffitsientining qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{mU_{nom}I_0} \quad (1.3)$$

Asinxron motorning salt ishlash rejimida $\cos \varphi$ ning qiymati kichik bo‘ladi bu o‘z navbatida reaktiv quvvatning qiymatiga teskari proporsionaldir. Asinxron motorning statoriga berilayotgan U_1 kuchlanishning qiymati ortib borgan sari reaktiv quvvatning qiymati ham ortib boradi (1.1-rasm). Salt ishlash rejimida reaktiv quvvatning qiymati asinxron motorning Q_{nom} nominal reaktiv quvvatiga bog‘liq holda o‘zgarib turadi.



1.1-rasm. Asinxron motorning salt ishlash rejimi grafiklari.

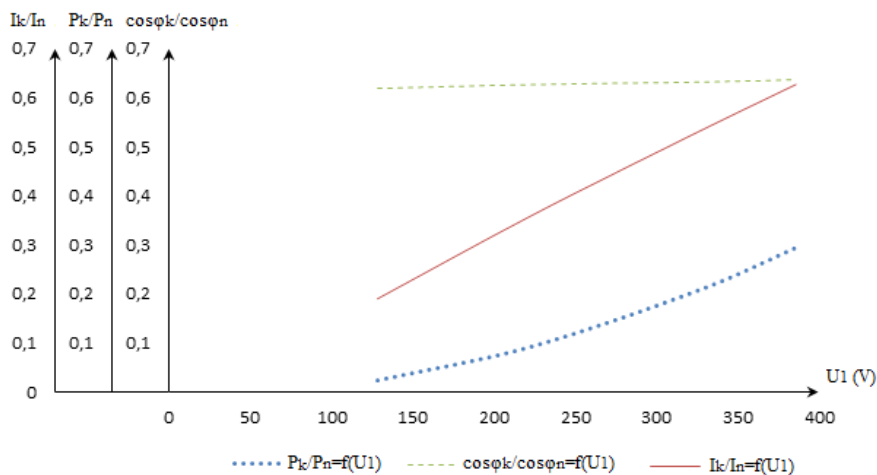
Asinxron motorning qisqa tutashuv toki quyidagicha aniqlanadi, almashtirish sxemasiga asosan rotor chulg‘ami qisqa tutashgan deb olinadi:

$$I_{qt} = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (1.4)$$

Asinxron motorning qisqa tutashuv rejimidagi quvvat koefitsientining qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\cos \varphi_{qt} = \frac{P_{qt}}{mU_N I_{qt}} \quad (1.5)$$

Asinxron motorning qisqa tutashuv rejimida $\cos \varphi$ ma’lum bir qiymatga ega bo‘lib, asinxron motorning statoriga berilayotgan U_1 kuchlanishning qiymati ortib borgan sari quvvat koefitsientining qiymati deyarli o‘zgarmaydi (1.2-rasm), reaktiv quvvatning qiymati esa yuklama tokiga bog‘liq hisoblanadi.



1.2-rasm. Asinxron motorning qisqa tutashuv rejimi grafiklari.

Asinxron motor iste’mol qilayotgan reaktiv quvvat quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$Q_{ASM} = Q_0 + \beta^2 Q_{qt} \quad (1.6)$$

bu yerda $\beta = P/P_{nom}$ – yuklanish koefitsienti.

Asinxron motorning nominal reaktiv quvvati yuqoridagi formula orqali aniqlanadi (asinxron motorning passportida keltirilgan ma’lumotlarga asosan):

$$Q_{nom} = \frac{mU_n I_n}{\eta} \sqrt{(1 - \cos^2 \varphi)} \quad (1.7)$$

bu yerda U_n – nominal manba kuchlanishi, I_n – asinxron motorning nominal toki, $\cos \varphi$ – asinxron motorning nominal ish rejimidagi quvvat koeffitsienti, η – asinxron motorning nominal foydali ish koeffitsienti.

Asinxron motorning salt ishlash rejimida quvvat koeffitsienti, po‘lat o‘zakdagi va mexanik isroflarning kichikligini hamda $\sin \varphi_0 \approx 1$ hisobga olgan holda, uch fazali asinxron motorning reaktiv quvvati quyidagicha aniqlanadi.

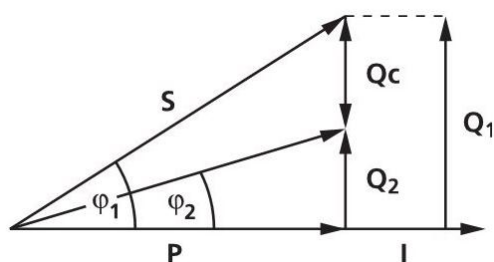
$$Q_{ASM} = \frac{P \operatorname{tg} \varphi}{\eta} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} \left(\frac{I_0}{I_{nom} \cos \varphi} + \beta^2 \cdot \left(\operatorname{tg} \varphi - \frac{I_0}{I_{nom} \cos \varphi} \right) \right) \quad (1.8)$$

Yuqoridagi ifodaga asosan ko‘rinadiki, asinxron motor reaktiv quvvatining qiymati uning yuklanishiga bog‘liq.

$$\beta = \frac{P}{P_{nom}} \approx \frac{I_1}{I_{nom}} \quad (1.9)$$

Yuklanish koeffitsientiga asosan, asinxron motor stator tokining o‘zgarishi, reaktiv quvvat iste‘molining o‘zgarishiga olib keladi.

Asinxron motorlarda reaktiv quvvat iste‘molini kompensatsiyalovchi qurilmalar orqali ta‘minlash bir qancha afzalliklarga ega, bu asinxron motorning foydali ish koeffitsientini va quvvat koeffitsientini oshishiga olib keladi. Asinxron motor statorida turli ta‘sir natijasida yuzaga keluvchi nosimmetrik va nosinusoidal toklarning oshishi bevosita asinxron motor reaktiv quvvatining iste‘molini oshishiga, texnik-iqtisodiy va sifat ko‘rsatgichlariga salbiy ta‘sir ko‘rsatadi.



1.3-rasm. Asinxron motor reaktiv quvvatini kompensatsiya qilishning vektor diagrammasi.

Reaktiv quvvatni korxonada elektr iste'molchilari yaqinida ishlab chiqarish eng samarali usullardan biri hisoblanadi, buning uchun reaktiv quvvatni kompensatsiyalash qurilmalaridan foydalaniladi.

Elektr ta'minot tizimidagi aktiv quvvat asinxron motorlarda foydali ish bajarish uchun, reaktiv quvvat esa magnit konturni magnitlanishiga va magnit maydon hosil qilish uchun sarf bo'ladi. Tarmoq orqali uzatiladigan reaktiv quvvat o'zining reaktiv tashkil etuvchisi hisobiga tokning miqdorini va tarmoqdagi quvvat isroflarini oshishiga olib keladi. Shu sababli hozirgi kunda statik kondensator baterayalari reaktiv quvvatni kompensatsiyalash uchun asinxron motorlarga alohida o'rnatilmoqda (1.3-rasm).

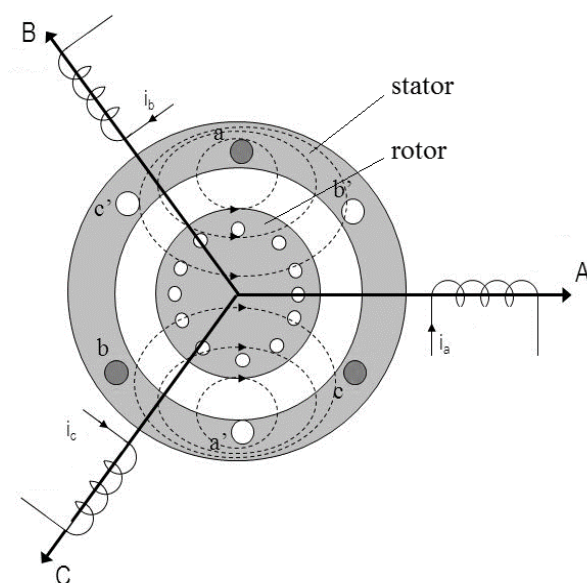
Asinxron motorlar iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatni aniqlash uchun tok o'zgartkich qurilmalaridan foydalaniladi. Hozirda foydalanilayotgan tok o'zgartkich qurilmalari asosan, asinxron motor statoridagi to'la tok miqdorini aniqlaydi, natijada asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvat miqdorini aniqlash imkoniyati cheklanadi. Ushbu turdagi tok o'zgartkichlarini tadqiq qilishda kirish tokining minimal va maksimal qiymatlari qabul qilinadi va aniqlik sinfi $(0,1-1,2) \cdot I_{nom}$ bilan me'yorlanadi. Asinxron motor elektr tarmoq tizimidagi shikastlanishlar sababli tok o'zgartkichlari dinamik rejimda ishlaydi. Asinxron motorlarda hosil bo'luvchi qisqa tutashuvlar elektromagnit tok o'zgartkichlarini dinamik rejimlarda ishlashiga olib keluvchi asosiy sabablardan biri hisoblanadi. Bunday rejimda elektromagnitli tok o'zgartkichlarning ishlash shartlari boshqaruv tizimi sxemalaridagi ishlash shartlaridan sezilarli farq qiladi. Shuning uchun elektromagnitli tok o'zgartkichlarini o'lchash maqsadida foydalanilsa odatda nominaldan katta bo'lmagan birlamchi tokda ishlashi va o'tkinchi jarayon vaqtida o'z funksiyasini bajarishi talab etiladi.

Tahil qilingan ma'lumotlardan hulosalar qilingan holda tadqiq etilayotgan asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorati va boshqaruvi uchun uch fazali toklarni elektromagnit tok o'zgartkichi orqali nosimmetrik va yuqori garmonika toklarini aniqlashda tok o'zgartkichning ishonchliligi, chiqish kuchlanish signalining chiziqchiligi, kuchlanish signallari

asosida me'yorlangan kattalik va yuqori aniqlikni ta'minlovchi birlamchi elementlarini yaratish va amalda qo'llash muhim ahamiyatga egaligi bois ushbu yo'nalishda tadqiqotlar olib borish nihoyatda zarur ahamiyat kasb etmoqda.

1.2-§. Asinxron motorda hosil bo'luvchi reaktiv quvvatni tashkil etuvchi nosimmetrik va nosinusoidal uch fazali toklari

Asinxron motorlar asosiy elektr energiya iste'molchilari hisoblanib, ular simmetrik hamda sinusoidal shakldagi kuchlanishlar ostida ishlash uchun mo'ljallangan, biroq elektr ta'minoti tizimiga turli yuklamalarning ulanishi va asinxron motorlarda yuzaga keluvchi bir qancha nozosliklar sababli asinxron motorlarda nosimmetrik va nosinusoidal toklarning paydo bo'ladi va ular asinxron motorning ish rejimlariga salbiy ta'sir ko'rsatadi.



1.4-rasm. Uch fazali asinxron motorning sxematik diagrammasi.

Asinxron motorning ishlash davridagi turli ta'sirlar sababli yuzaga kelgan nosimmetrik toklarni hosil bo'lishini, turlarini va salbiy ta'sirlarini ko'rib chiqamiz. Asinxron motorning statoriga bir-biridan 120° burchakka farq qiluvchi simmetrik chulg'amlar joylashtirilgan, bu chulg'amlarga kuchlanish berilganda, kuchlanish kattaligiga ko'ra har bir fazada mos magnet oqimlar hosil bo'ladi (1.4-rasm).

Asinxron motorlarda amplitudaviy nosimmetriya va faza burchaklariaro nosimmetriyalari mavjud. Amplitudaviy nosimmetriya toklari asosan stator chulgʻamlaridagi kuchlanishning simmetrik emasligidan yuzaga keladi, bu esa asinxron motorlardagi (1.10) magnit oqimlarning ham nosimmetriyasiga olib keladi.

$$\begin{aligned}\Phi_A(\theta, t) &= \frac{1}{2} \Phi_m \{ \sin(\theta - \omega t) + \sin(\theta + \omega t) \} \\ \Phi_B(\theta, t) &= \frac{1}{2} \Phi_m \left\{ \sin(\theta - \omega t) + \sin\left(\theta + \omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \right\} \\ \Phi_C(\theta, t) &= \frac{1}{2} \Phi_m \left\{ \sin(\theta - \omega t) + \sin\left(\theta + \omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \right\}\end{aligned}\quad (1.10)$$

bu yerda θ – magnit oqim va stator toki orasidagi burchak, Φ_m – asosiy magnit oqim.

Asinxron motorlarda hosil boʻluvchi nosimmetrik toklarni tahlil qilish.

Uch fazali asinxron motorlarda nosimmetrik toklar har bir fazadagi toklarning miqdori bir-biridan farq qilgan vaqtda yuzaga keladi. Asinxron motorlarda nosimmetrik toklarning hosil boʻlish sabablari quyidagilar:

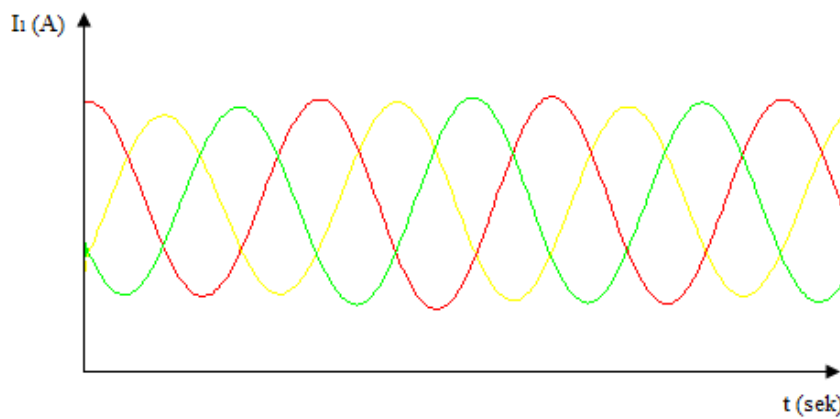
- Stator chulgʻaming shikastlanishi
- Podshipniklarining shikastlanishi
- Magnit konturining shikastlanishi
- Oʻta yuklama rejimida ishlashi
- Taʼminot kuchlanishining simmetrik emasligi

Yuqoridagi sabablarga asosan nosimmetrik toklar asinxron motorlarda quyidagi salbiy taʼsirlarni keltirib chiqaradi:

- Quvvat koeffitsientini kamayishiga olib keladi
- Asinxron motor haroratining oshishiga olib keladi
- Statoridagi momentining kamayishiga olib keladi
- Stator tokini oshishiga olib keladi
- Shovqin va vibratsiya miqdorini oshishiga olib keladi
- Asinxron motor ishlash davrini qisqartiradi

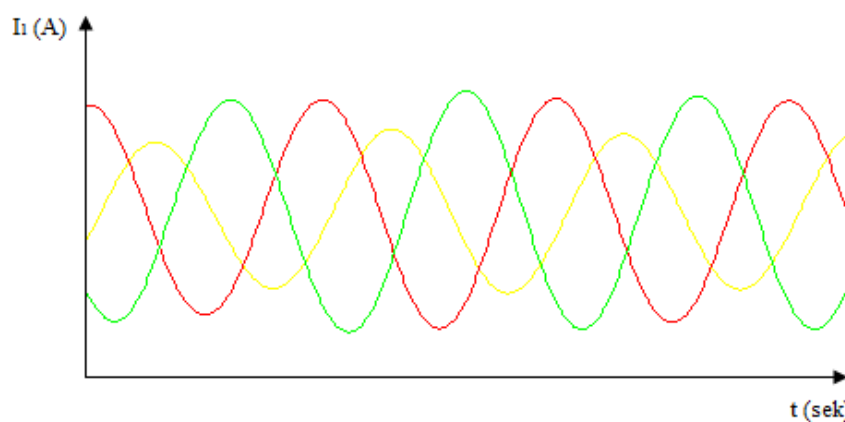
Asinxron motorlarda yuzaga keluvchi nosimmetrik toklar quyidagicha:

1. Amplituda nosimmetriyasi (har bir fazadagi toklar amplituda jihatdan bir-biridan farq qilsa).
2. Faza nosimmetriyasi (har bir fazadagi toklar bir-biridan 120° burchakni tashkil etmasa).



1.5-rasm. Amplitudaviy nosimmetriya toklarining vaqtga bog‘liqlik tavsifi.

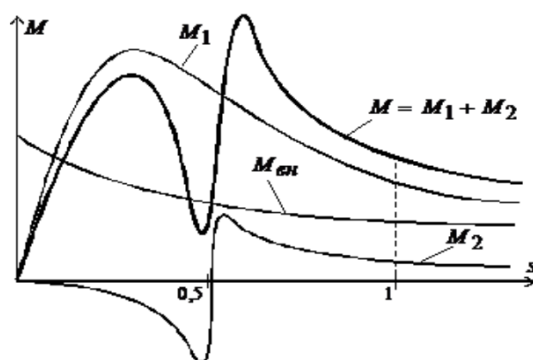
Amplituda bo‘yicha nosimmetrik toklar, har bir fazadagi toklarning miqdori amplituda bo‘yicha bir-biridan farq qilgan holatda yuzaga kelib, nosimmetriya koeffitsienti birdan farqli qiymatni tashkil etadi. Amplituda bo‘yicha nosimmetriya toklari asinxron motorning statorida qarama-qarshi yo‘nalishdagi magnit oqimlarni hosil qiladi bu esa aylanish momenti, mexanik quvvatni kamayishiga asinxron motorning qizishiga olib keladi (1.5-rasm).



1.6-rasm. Faza nosimmetriyasi toklarining vaqtga bog‘liqlik tavsifi.

Faza bo'yicha nosimmetrik toklar, har bir fazadagi toklarning faza burchaklari bir-biridan farq qilgan holatda yuzaga keladi, ya'ni faza toklari orasidagi burchak 120° ni tashkil etmaydi. Faza bo'yicha nosimmetriya toklari amplituda bo'yicha nosimmetrik toklari kabi asinxron motorlarda qarama-qarshi yo'nalishdagi magnit oqimni hosil qiladi, bu esa asinxron motorning momenti va mexanik quvvatini kamayishiga hamda uning qizishiga olib keladi (1.6-rasm). Faza bo'yicha nosimmetriya toklari asinxron motorning ish faoliyatiga amplituda bo'yicha yuzaga keluvchi nosimmetriya toklariga nisbatan salbiy ta'siri katta hisoblanadi. Nosimmetrik toklarning asosiy salbiy ta'sirlari bo'lgan, asinxron motorlarning qizib ketishi va asosiy elektromagnit momentning yo'nalishiga teskari bo'lgan momentni hosil bo'lishi, stator chulg'amining izolyatsiyasiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Asinxron motordagi nosimmetrik toklarning belgilangan miqdordan ortib ketishi uning ishlash davrini qisqarishiga olib keladi. Tarmoq kuchlanishi nosimmetriyasining miqdori 4 % ni tashkil etsa, asinxron motorning ishlash davrini ikki marta qisqarishiga olib keladi.

Nosimmetrik toklar asinxron motor statorida mos va qarama-qarshi yo'nalishdagi elektromagnit moment hosil qilishi natijasida asinxron motorning sirpanish koeffitsienti ham ikkiga bo'linadi va u quyidagi mexanik tavsifda tasvirlangan (1.7-rasm).



1.7-rasm. Uch fazali asinxron motorning nosimmetrik toklar ta'siridagi mexanik tavsifi.

Asinxron motorning elektromagnit maydon yo'nalishiga mos sirpanish koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$s_m = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} = 1 - \frac{\omega_r}{\omega_s} \quad (1.11)$$

Asinxron motorning elektromagnit maydon yoʻnalishiga qarama-qarshi sirpanish koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$s_q = \frac{-\omega_s - \omega_r}{-\omega_s} = 1 + \frac{\omega_r}{\omega_s} \quad (1.12)$$

bu yerda ω_s – statordagi magnit oqimning burchak tezligi, ω_r – rotorning aylanish burchak tezligi.

Asinxron motorning quvvati quyidagicha aniqlanadi:

$$P = P_m + P_q \quad (1.13)$$

$$P_m = \frac{3R_r(U_{1m})^2}{s_m \left\{ \left(\frac{R_r}{s_m} \right)^2 + X_r^2 \right\}} \quad (1.14)$$

$$P_q = \frac{3R_r(U_{1q})^2}{s_q \left\{ \left(\frac{R_r}{s_q} \right)^2 + X_r^2 \right\}} \quad (1.15)$$

bu yerda P_m – mos yoʻnalishdagi aktiv quvvat (1.14), P_q – qarama-qarshi yoʻnalishdagi aktiv quvvat (1.15).

Nosimmetrik toklarning asinxron motor elektromagnit momentiga taʼsiri quyidagicha aniqlanadi:

$$M = M_m + M_q \quad (1.16)$$

$$M_m = \frac{P_m}{\omega_s} = \frac{3R_r(U_{1m})^2}{s_m \left\{ \left(\frac{R_r}{s_m} \right)^2 + X_r^2 \right\}} \frac{1}{\omega_s} \quad (1.17)$$

$$M_q = \frac{P_q}{\omega_s} = \frac{3R_r(U_{1q})^2}{s_q \left\{ \left(\frac{R_r}{s_q} \right)^2 + X_r^2 \right\}} \left(-\frac{1}{\omega_s} \right) \quad (1.18)$$

bu yerda M_m – mos yo‘nalishdagi elektromagnit moment (1.17), M_q – qarama-qarshi yo‘nalishdagi elektromagnit moment (1.18).

Nosimmetrik toklar sababli hosil bo‘lgan qarama-qarshi yo‘nalishdagi moment asosiy elektromagnit momentining miqdorini kamaytiradi va natijada asinxron motorning elektromagnit momentining kamayishiga olib keladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$M = \frac{3R_r(U_{1m})^2}{s_m \left\{ \left(\frac{R_r}{s_m} \right)^2 + X_r^2 \right\}} \frac{1}{\omega_s} - \frac{3R_r(U_{1q})^2}{s_q \left\{ \left(\frac{R_r}{s_q} \right)^2 + X_r^2 \right\}} \frac{1}{\omega_s} \quad (1.19)$$

Nosimmetrik toklar sababli hosil bo‘luvchi quvvat isroflari quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta P = s \left(\frac{3R_r(U_{1m})^2}{s_m \left\{ \left(\frac{R_r}{s_m} \right)^2 + X_r^2 \right\}} + \frac{3R_r(U_{1q})^2}{s_q \left\{ \left(\frac{R_r}{s_q} \right)^2 + X_r^2 \right\}} \right) \quad (1.20)$$

Nosimmetrik toklar sababli asinxron motorning statorida qarama-qarshi yo‘nalishdagi magnit oqimning yuzaga kelishi reaktiv quvvatning oshishiga, bu esa asinxron motorning foydali ish koeffitsientini kamayishiga olib keladi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{(1 - s_m)P_m}{P_m + P_q} \quad (1.21)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{(1 - s_m)}{1 + \left(\frac{U_{1q}}{U_{1m}} \right)^2 \frac{s_m \left\{ \left(\frac{R_r}{s_m} \right)^2 + X_r^2 \right\}}{s_q \left\{ \left(\frac{R_r}{s_q} \right)^2 + X_r^2 \right\}}} \quad (1.22)$$

bu yerda U_m – stator chulg‘amlaridagi mos yo‘nalgan kuchlanish, U_q – stator chulg‘amlaridagi qarama-qarshi yo‘nalgan kuchlanish.

Asinxron motor nosimmetrik toklarining tahlili shuni ko'rsatadiki statorda hosil bo'luvchi qarama-qarshi yo'nalishdagi elektromagnit momentning miqdorini kompensatsiyalash qurilmalari yordamida kamaytirish orqali asinxron motorning foydali ish koeffitsienti miqdorini oshirishga erishish mumkin.

Asinxron motorlarda hosil bo'luvchi nosinusoidal toklarni tahlil qilish.

Uch fazali asinxron motorlarda nosinusoidal toklar statorda hosil bo'luvchi yuqori garmonika toklari sababli yuzaga keladi. Korxonaldagi elektr energiya iste'molchilarida yuqori garmonika toklarining hosil bo'lishi maqsadga muvofiq emas, bu elektr qurilmalarning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini yomonlashishiga olib keladi.

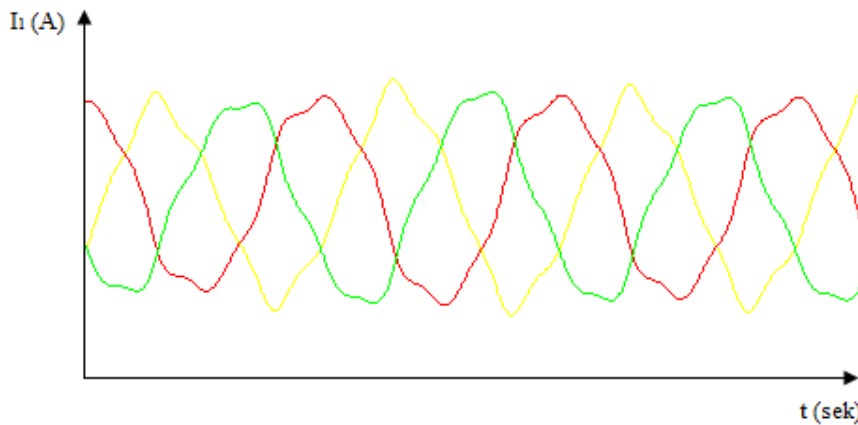
Asinxron motorlarda yuqori garmonika toklari quyidagi ta'sirlarga asosan hosil bo'ladi:

- Asinxron motor yuklamasining ortishi
- Asinxron motor ta'minot transformatori quvvatining kichikligi
- Asinxron motor ta'minot kabelining uzunligi
- Asinxron motorlarni yarim o'tkazgichli elementlardan tashkil topgan qurilmalar orqali boshqarilishi
- Asinxron motorning elektromagnit tizimidagi nosozliklar
- Asinxron motorning mexanik tizimidagi nosozliklar
- Asinxron motor aylanuvchi qismlarining simmetrik emasligi
- Simmetrik bo'lmagan turli yuklamalar ulangan tarmoqda asinxron motorlarning ishlashi

Yuqoridagi sabablarga ko'ra nosinusoidal toklar asinxron motorlarda quyidagi salbiy ta'sirlarni keltirib chiqaradi:

- Aktiv quvvat koeffitsientini kamaytiradi
- Asinxron motor momentining kamayishiga olib keladi
- Asinxron motorning qizishiga olib keladi
- Reaktiv quvvatni kompensatsiyalash hamda ishga tushurish kondensatorlariga ta'sir ko'rsatadi

- Asinxron motor statorining chulg'am izolyatsiyasiga ta'sir ko'rsatadi
- Asinxron motorlarning aktiv va reaktiv energiyalarini aniqlashdagi hisoblagichlarda xatolikni oshishiga olib keladi
- Asinxron motorning himoya tizimidagi kommutatsion apparatlarning noto'g'ri ishlash holatini keltirib chiqaradi



1.8-rasm. Asinxron motor nosinusoidal toklarining vaqtga bog'liqlik tavsifi.

Asinxron motorning ma'lum bir faktorlarga asosan statorida hosil bo'luvchi yuqori garmonika toklari sababli nosinusoidal toklar hosil bo'ladi (1.8-rasm). Asinxron motorlarda asosan toq garmonikalarning salbiy ta'sirini ko'rish mumkin. Juft garmonikalar esa magnit madonida kompensatsiyalanib ketganligi bois ularning ta'siri mavjud emas. Yuqori garmonikalar asosan asinxron motorlarning qizishiga va aktiv quvvat koeffitsientini kamayishiga olib keladi.

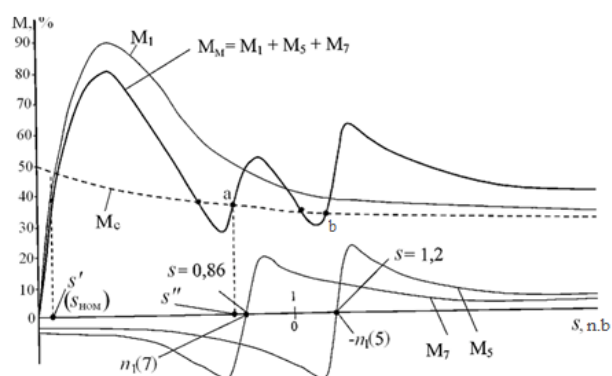
Yuqori garmonikalar quyidagi turlarga bo'linadi:

3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30... nol ketma-ketlik (uchlik) garmonikalari, bunday turdagi garmonikalar elektr tarmog'idagi bir fazali yuklamalar sababli asinxron motorlarda hosil bo'ladi, elektr tarmog'iga ulangan uch fazali yuklamalar uchlik garmonikalar hosil qilmaydi. Bu turdagi yuqori garmonikalar past oqim qiymatiga ega, shuning uchun bu turdagi yuqori garmonikalar asosiy magnit oqimga deyarli ta'sir ko'rsatmaydi.

4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31... mos ketma-ketlik garmonikalari, bunday turdagi yuqori garmonikalar asinxron motorning asosiy magnit oqimi yoʻnalishidagi magnit oqimlar hosil qiladi, yuqori garmonikalar hosil qilgan yuqori chastotali magnit oqimlar asinxron motorning temperaturasining ortishiga olib keladi.

2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29... qarama-qarshi ketma-ketlik garmonikalari, bunday turdagi yurori garmonikalar asinxron motorning asosiy magnit oqimi yoʻnalishiga qarama-qarshi boʻlgan magnit oqimlar hosil qiladi, ushbu yuqori garmonikalar hosil qilgan yuqori chastotali qarama-qarshi yoʻnalishdagi magnit oqimlar asinxron motorning elektromagnit momentining kamayishiga hamda temperaturasi va reaktiv quvvatining ortishiga olib keladi.

Har bir yuqori toq garmonika toki mos ravishda statorda elektromagnit momentlarni hosil qiladi. Ushbu momentlar oʻz navbatida har bir toq garmonikalar uchun mos boʻlgan sirpanish koeffitsientlariga ega va u quyidagi mexanik tavsifda tasvirlangan (1.9-rasm).



1.9-rasm. Uch fazali asinxron motorning nosinusoidal toklar taʼsiridagi mexanik tavsifi.

Asinxron motorlarda hosil boʻluvchi yuqori garmonika toklarining asinxron motorlarga taʼsiri quyidagicha:

Uch fazali asinxron motorning asosiy magnit oqimiga nol ketma-ketlikdagi va juft garmonikalarining taʼsiri deyarli mavjud emas, asosan 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31... yuqori toq garmonikalar salbiy taʼsir koʻrsatadi. Nosinusoidal toklar

sababli hosil bo'lgan mos yo'nalishdagi momentlar $6n+1$ ifoda orqali, qarama-qarshi yo'nalishdagi momentlar $6n-1$ ifoda orqali aniqlandi.

Asinxron motorning elektromagnit maydon yo'nalishiga mos yuqori garmonikalar hosil qilgan sirpanish koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$s_{6n+1} = \frac{\omega_{6n+1} - \omega_r}{\omega_{6n+1}} = 1 - \frac{\omega_r}{\omega_{6n+1}} \quad (1.23)$$

Asinxron motorning elektromagnit maydon yo'nalishiga qarama-qarshi yuqori garmonikalar hosil qilgan sirpanish koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$s_{6n-1} = \frac{-\omega_{6n-1} - \omega_r}{-\omega_{6n-1}} = 1 + \frac{\omega_r}{\omega_{6n-1}} \quad (1.24)$$

bu yerda S_{6n+1} – mos yo'nalishdagi yuqori garmonikalar hosil qilgan sirpanish koeffitsienti (1.23), S_{6n-1} – qarama-qarshi yo'nalishdagi yuqori garmonikalar hosil qilgan sirpanish koeffitsienti (1.24).

Qarama-qarshi yo'nalishdagi momentlar asosiy elektromagnit momentning kamayishiga olib keladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\sum M = M_{asosiy} + \sum_{n=1}^N M_{m.(6n+1)} - \sum_{n=1}^N M_{q.(6n-1)} \quad (1.25)$$

$$M_{m.(6n+1)} = \frac{3R_r (U_{1m.(6n+1)})^2}{s_{m.(6n+1)} \left\{ \left(\frac{R_r}{s_{m.(6n+1)}} \right)^2 + X_r^2 \right\}} \frac{1}{\omega_{(6n+1)}} \quad (1.26)$$

$$M_{q.(6n-1)} = \frac{3R_r (U_{1q.(6n-1)})^2}{s_{q.(6n-1)} \left\{ \left(\frac{R_r}{s_{q.(6n-1)}} \right)^2 + X_r^2 \right\}} \left(-\frac{1}{\omega_{(6n-1)}} \right) \quad (1.27)$$

bu yerda M_{asosiy} – asinxron motorning asosiy elektromagnit momenti, $M_{m.(6n+1)}$ – mos ketma-ketlikdagi (1.26), yuqori garmonikalar hosil qilgan elektromagnit moment, $M_{m.(6n-1)}$ – qarama-qarshi ketma-ketlikdagi (1.27), yuqori garmonikalar hosil qilgan elektromagnit moment.

Asinxron motorda hosil bo‘luvchi nosinusoidal toklarning umumiy garmonik buzilish qiymati quyidagich aniqlanadi va uning qiymati % da ifodalanadi:

$$THD_I = \sqrt{\sum_{n=2}^N \left(\frac{I_k}{I_1}\right)^2} \quad (1.28)$$

Uch fazali asinxron motorlarda yuqori garmonika toklari quvvat koeffitsientining kamayishiga olib keladi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$\cos \varphi_I = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + (THD_I)^2}} \quad (1.29)$$

Uch fazali asinxron motorlarda yuqori garmonikalarning ta’siri sababli elektr va elektromagnit quvvat isroflarining ortishi va mexanik quvvatning kamayishi yuzaga keladi.

Yuqori garmonika toklari natijasidagi aktiv quvvat quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{chiqish} = (1 - s_1)P_1 - \sum (1 - s_{6n-1})P_{6n-1} + \sum (1 - s_{6n+1})P_{6n+1} \quad (1.30)$$

Yuqori garmonika toklari natijasidagi foydali ish koeffitsienti quyidagicha:

$$\eta = \frac{P_{chiqish}}{P_{kirish}} = \frac{(1 - s_1)P_1 - \sum (1 - s_{6n-1})P_{6n-1} + \sum (1 - s_{6n+1})P_{6n+1}}{P_1 - \sum P_{6n-1} + \sum P_{6n+1}} \quad (1.31)$$

bu yerda $P_{chiqish}$ – asinxron motor valida hosil bo‘luvchi aktiv quvvat (1.30), P_{kirish} – asinxron motor tarmoqdan iste’mol qilayotgan aktiv quvvat.

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki asinxron motorning statorida hosil bo‘lgan yuqori garmonika toklarining miqdorini kamaytirish orqali aktiv quvvat koeffitsientini oshirishga, asinxron motorning qizishini oldini olishga va yuqori garmonika toklarini filtrlash orqali elektr tarmoqdagi elektr energiya iste’molchilarining samarador ish faoliyatini ta’minlashga erishiladi.

1.3-§. Asinxron motor reaktiv quvvatining nazorat va boshqaruvida qo'llaniluvchi elektromagnitli tok o'zgartkichlari

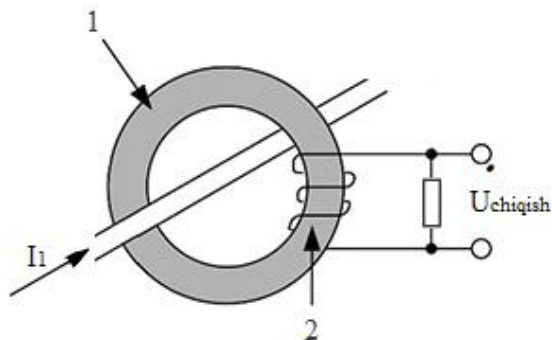
Bugungi kunga kelib elektromexanik va elektron o'lchash asboblari nazorat tizimlarida keng qo'llanilmoqda. Elektron o'lchash asboblari indikator qurilmasi sifatida magnitoelektrlardan foydalanilmoqda. Elektron o'lchash asboblari quyidagi bir qancha afzalliklarga ega.

- a) yuqori sezgirlikka ega.
- b) energiya iste'moli kam.
- c) geometrik o'lchami va massasi kichik.

Asinxron motorlarning iste'mol qilayotgan elektr energiyasining miqdorini aniqlashda tok o'zgartkichlardan foydalanish zarurati tug'iladi. Buning uchun elektr tokini turli signallar ko'rinishiga o'zgartiradigan o'zgartkichlardan foydalaniladi. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal toklarini nazorat qilish va boshqarishda tok o'zgartkich signallaridan foydalaniladi. Hozirda asinxron motor stator toklarining qiymatini aniqlashda quyidagi tok o'zgartkichlardan foydalanilmoqda.

Tokni kuchlanishga o'zgartiruvchi tok o'zgartkich, bu turdagi tok o'zgartkichlarning ishlash tamoyili shundayki, o'lchanayotgan birlamchi tokni o'ramlar soniga proporsional ikkilamchi tok oqimiga o'zgartiradi. Bunday o'lchov qurilmasiga tok transformatori misol bo'la oladi (1.10-rasm).

O'zgaruvchan tok magnit o'zak orqali birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning soniga proporsional ravishda ikkilamchi tokka aylanadi, ikkinchi chulg'amda hosil bo'luvchi tok oqimi belgilangan aktiv qarshilikdan o'tishi natijasida o'lchanayotkan tokka proporsional kattalikdagi chiqish kuchlanishi hosil bo'ladi. Afzalliklari chiqish signali chiziqli, tuzilish sxemasi va o'lchash prinsipi sodda. Kamchiliklari o'zgarmas toklarni aniqlay olmaydi, geometrik o'lchamlari nisbatan katta.

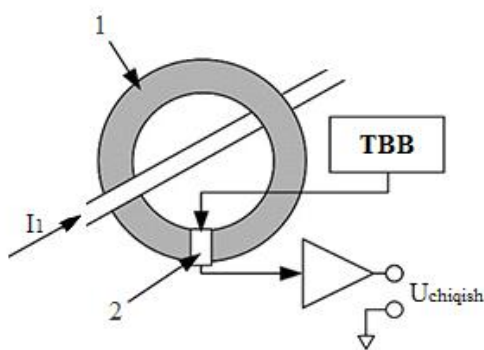


1.10-rasm. Tokni kuchlanishga o'zgartiruvchi tok o'zgartkich.
1) magnit o'zak, 2) o'lchov chulg'ami.

Mavjud tok o'zgartkichlarga nisbatan farqi:

- O'zgaruvchan toklarni o'lchaydi (o'zgarmas toklarni o'lchay olmaydi)
- Tan narxining pastligi
- Tarmoq chastotasi 50/60 Hz ga mo'ljallangan joylarda ishlatiladi
- O'zgartkichning ishlashi magnit oqimini kompensatsiya qilish bilan bog'liqligi bo'is uning chiqish signalining tavsifi chiziqlidir

Holl elementli tok o'zgartkichi, bu turdagi tok o'zgartkich o'lchanayotgan tokga mos o'zakdagi magnit oqim ta'sirida hosil bo'lgan magnit maydonni Holl effekti yordamida kuchlanishga aylantirish printsipi bo'yicha ishlaydi.



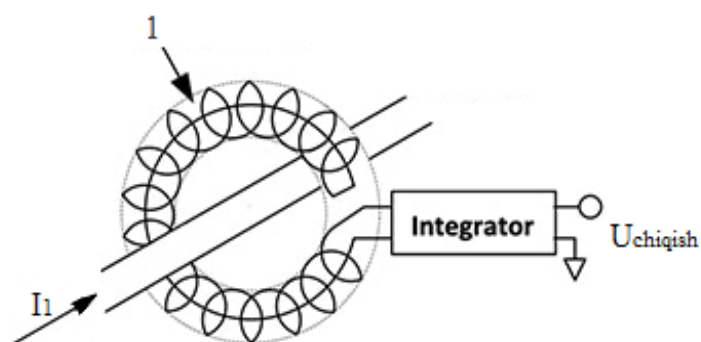
1.11-rasm. Holl elementli tok o'zgartkich.
1) magnit o'zak, 2) Holl elementi.

O'lchanayotgan tok magnit o'zakda hosil qilgan Φ magnit oqimi, magnit o'zakdagi bo'shliqqa kiritilgan Holl elementi orqali o'tkanda magnit oqimga mutanosib

kuchlanish hosil bo‘ladi. Odatda Holl elementli tok o‘zgartkichlardan chiquvchi kuchlanishning qiymati kichikligi bois uni kuchaytiruvchi qurilmalar bilan yetarli me‘yorga keltiriladi. Ushbu chiqish kuchlanishining qiymati o‘lchanadigan tokka proporsionaldir. Afzalliklari o‘zgaruvchan va o‘zagarmas toklarni o‘lchay oladi. Kamchiliklari o‘lchash aniqligi past, Holl elementining xususiyatlaridan kelib chiqqan holda datchikning ishlashi harorat va vaqt o‘tishi kabi omillar ta’sirida o‘zgarib turadi (1.11-rasm).

Mavjud tok o‘zgartkichlarga nisbatan farqi:

- Holl elementli tok o‘zgartkich orqali o‘zgaruvchan tokni va o‘zagarmas tokni o‘lchash mumkin.
- Holl elementli tok o‘zgartkichlar arzon
- Magnit o‘zak B-H xususiyatlarining ta’siri tufayli o‘lchash aniqligi past.
- Holl elementining xususiyatlaridan kelib chiqqan holda, datchikning ishlashi harorat va vaqt o‘tishi kabi omillar ta’sirida o‘zgarib turadi, bu esa uzoq muddatli o‘lchovlar uchun mos kelmaydi.
- Magnit o‘zak yuklama sifatida harakterlangani bois yuqori chastotali diapozanda foydalanib bo‘lmaydi.



1.12-rasm. Rogowski chulg‘amli tok o‘zgartkich.

1) Rogowski chulg‘ami.

Rogowski chulg‘amli tok o‘zgartkichi, bunday tok o‘zgartkichlarning ishlash printsipti shunday ya’ni, o‘lchanayotkan tok atrofida hosil bo‘lgan magnit maydon

Rogowski chulgʻamini kesib oʻtadi va bu tokning oʻzgarish tezligiga va oʻtkazgich oʻrtasidagi oʻzaro induktsiyaga proporsional kuchlanish hosil qiladi (1.12-rasm).

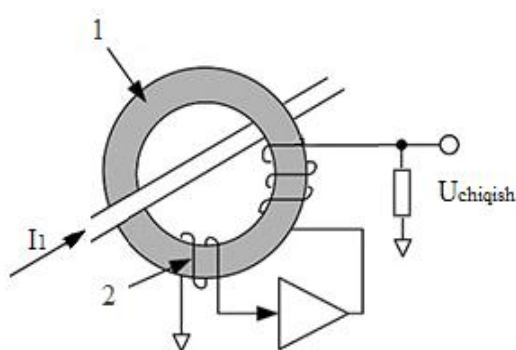
Oʻlchanadigan tokning qiymati bu Rogowski chulgʻamida hosil boʻluvchi kuchlanishning integraliga proporsionaldir. Oʻlchanayotgan oʻtkazgich atrofida hosil boʻluvchi magnit oqimi Rogowski chulgʻamini kesib oʻtish natijasida chulgʻamda kuchlanish signali hosil boʻladi. Ushbu induksiyalangan kuchlanish oʻlchanayotgan tok uchun vaqt differensial qiymatiga (di/dt) aylanganligi sababli, integrator orqali oʻlchanayotgan tokka proporsional boʻlgan chiqish kuchlanishi aniqlanadi. Afzalliklari magnit toʻyinishi yuzaga kelmaydi, Rogowski chulgʻami egiluvchan va moslashuvchan. Kamchiliklari oʻzgarmas tokni oʻlchay olmaydi, oʻlchash aniqligi chulgʻaming geometrik shakliga bogʻliqligi sababli past.

Mavjud tok oʻzgartkichlarga nisbatan farqi:

- Magnit oʻzakning mavjud emasligi sabab magnit toʻyinishi yuzaga kelmaydi.
- Magnit yoʻqotishdan yuzaga keladigan qizish, toʻyinganlik va gisterezis holatlari mavjud emas.
- Rogowski chulgʻami egiluvchan va moslashuvchan.
- Rogowski chulgʻam tok oʻzgartkichlari oʻzgaruvchan tokni oʻlchaydi, oʻzgarmas tokni oʻlchay olmaydi.
- Rogowski chulgʻam tok datchiklarining oʻlchash aniqligi Rogowski chulgʻaming geometrik shakliga bogʻliqligi sababli past koʻrsatkichga ega.
- 10 A gacha boʻlgan toklarni oʻlchay oladi.

Oʻzgaruvchan tok nol magnit oqimli tok oʻzgartkich, oʻzgaruvchan tok nol magnit oqimi oʻlchov tok oʻzgartkichining past chastotali xususiyatlarini yaxshilaydi. Oʻlchanayotkan tok oʻtkazgich magnit oʻzakda magnit oqimni hosil qiladi, oʻlchov chulgʻaming birinchi va ikkinchi chulgʻamidagi magnit oqimlar qarama-qarshi yoʻnalishda boʻladi bu orqali oʻzakda hosil boʻluvchi ikkilamchi toklarning miqdori nol qiymatga keltiriladi (1.13-rasm). Chiqish kuchlanishi asosida oʻtkazgichdagi tokning miqdori aniqlanadi. Afzalliklari magnit oʻzakning B-H xususiyatlari chiqish signaliga taʼsir qilmaydi va chiqish signalining aniqligi yuqori.

Kamchiliklari murakkab tuzilish sxemasiga ega, asinxron motorlardagi sochiluvchan magnit oqimni qiymatini yuqori aniqlikda o'lchay olmaydi.



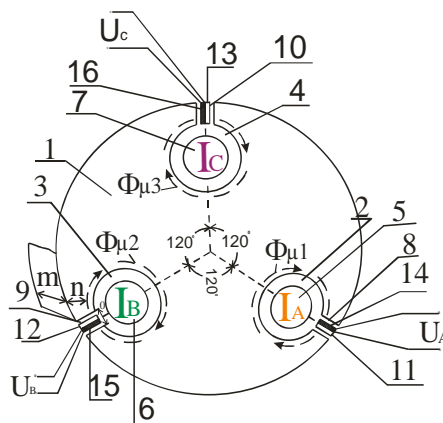
1.13-rasm. Nol magnit oqimli tok o'zgartkich.

1) magnit o'zak, 2) nol magnit oqimni ta'minlovchi chulg'am.

Mavjud tok o'zgartkichlarga nisbatan farqi:

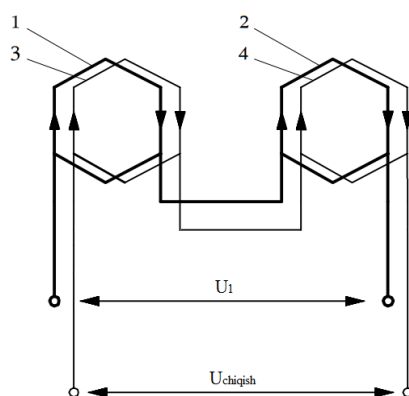
- O'zgartkichning ishlashi magnit o'zakkdagi ikkilamchi tok hosil qilgan magnit oqimni bekor qilishga bog'liq bo'lganligi sababli, o'zgaruvchan tok nol oqim o'zgartkichlari mukammal chiziqlilikka ega va magnit o'zakning B-H xususiyatlari chiqish signaliga ta'sir qilmaydi.
- O'zgaruvchan nol magnit oqim o'zgartkichlari past chastotalarda ham kichik faza xatosi bilan tavsiflanadi.
- O'zgaruvchan nol magnit oqim o'zgartkichlarining aniqligi yuqori.
- O'lchov chulg'ami hosil qilgan magnit oqim yo'nalishiga qarama-qarshi magnit oqim hosil qilish uchun qo'shimcha chulg'amga ega.

Funksional imkoniyatlari kengaytirilgan elektromagnit o'zgartkichlar. O'lchash elementi sifatida elektr ta'minoti tizimi birlamchi toklarini chiqish kuchlanishi ko'rinishidagi signalga o'zgartirish uchun mo'ljallangan. FIKEMO' da bir biridan 120° burchakka farq qiluvchi C simon teshiklar va ularning markazidan o'tuvchi har bir faza uchun mos o'tkazgichlardan tashkil topgan. C simon teshiklarga joylashtirilgan izolyatsiyalangan plastinkalar sezgir elementlardan va o'lchov chulg'amlaridan dan tashkil topgan (1.14-rasm).



1.14-rasm. FIKEMO‘ ning ko‘rinishi.

Ushbu turdagi tok o‘zgartkichda, elektr tarmoqlaridan o‘tayotgan birlamchi toklarga mos o‘lchov chulg‘amlaridan kuchlanish ko‘rinishidagi signallar olinadi. Chiqish kuchlanishining miqdori nazorat va boshqaruv qurilmalari uchun mos qiymatda bo‘ladigan qilib loyihalangani. Afzaliklari bir vaqtning o‘zida uch fazali toklar o‘lchay oladi, tok o‘zgartkich orqali nosimmetrik toklarni baholay olish imkoniyati mavjud. Kamchiliklari konstruktiv murakkab tuzilishga ega, asinxron motorlarda hosil bo‘luvchi sochiluvchan magnet oqimning qiymatini yuqori aniqlikda o‘lchay olmaydi.



1.15-rasm. Asinxron motor uch fazali elektromagnet tok o‘zgartkichi.

Asinxron motor uch fazali tok o‘zgartkichlari, stator chulg‘amlari bilan mos tartibda pazlarga joylashtiriladi. Tok o‘zgartkichdan chiquvchi kuchlanish signali stator tokini ifodalaydi. Chiqish kuchlanish signali asosiy va sochilish magnet

oqimiga va tok o'zgartkichning chulg'amlari soniga bog'liq. Afzalliklari asinxron motorlardagi sochiluvchan magnit oqimni o'lchay oladi, sodda va tan narxining arzonligi. Kamchiliklari o'lchov aniqligiga tashqi muhit haroratining ta'siri mavjud (1.15-rasm).

Mavjud tok o'zgartkichlarga nisbatan farqi:

- Asinxron motor reaktiv quvvatini yuqori aniqlikda aniqlay oladi.
- Asinxron motor uch fazali tok o'zgartkichining tan narxi arzon.
- Asosan asinxron motorlarda qo'llaniladi
- Chiqish kuchlanish signalining tavsifi chiziqlidir.

Yuqoridagi tok o'zgartkichlardan kelib chiqib quyidagi solishtirma tahlil amalga oshirildi (1.1-jadval).

1.1-jadval

№	Nomi	O'lchash diapozoni (A)	O'lchash chastotasi (Hz)	Reaksiya vaqti (msek)	Aniqligi (%)	O'lchash tok turi
1	Tokni kuchlanishga o'zgartiruvchi tok o'zgartkich	0÷10000	50÷400	100÷350	0.2÷0.5	AC/PWM
2	Holl elementli tok o'zgartkich	0÷20	0÷10 ⁵	10 ⁻³	0.2÷1	AC/DC/PWM
3	Rogowski chulg'amli tok o'zgartkich	0.1÷3000	10÷10 ⁵	0.05÷0.1	0.1÷1	AC/PWM
4	Nol magnit oqimli tok o'zgartkich	0÷10000	50÷400	100÷300	0.05÷0.1	AC/PWM
5	Funksional imkoniyatlari kengaytirilgan elektromagnit o'zgartkich	0÷100	0÷10 ³	0.1÷0.01	0.1÷0.5	AC/DC/PWM
6	Asinxron motor elektromagnit tok o'zgartkichi	0÷3	0÷10 ⁵	10 ⁻³	0.05÷0.5	AC/DC/PWM

Tok o'zgartkichlarning solishtirma tahliliga asosan ko'rish mumkinki tok o'zgartkichlarning texnik imkoniyatidan kelib chiqqan holda ulardan foydalanish imkoniyatini to'g'ri baholash muhim ahamiyatga ega. Elektr ta'minoti tizimida qo'llanilib kelinayotgan tokni kuchlanishga o'zgartiruvchi o'zgartkichlar geometrik o'lchamlari kattaligi va energiya iste'moli yuqori ekanligi, o'lchash diapazonining keng emasligi hamda chiqish signali reaktiv tokni aniq ifodalamasligi bilan tavsiflanadi ularni asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal toklarini aniqlashda qo'llash yetarlicha foyda keltirmaydi.

Shu sababga ko'ra, tok o'zgartkichlarini keng miqyosda qo'llanilishida toklarni o'lchash quyidagi maqsadlarga xizmat qiladi: uch fazali elektr tarmog'i elektroavtomatikasi va elektr ta'minoti tizimi elektr qurilmalari ish rejimini nazorat qilish, elektr energiyasi iste'molini boshqarish va hisobga olish, elektr ta'minoti tizimi elektr qurilmalari texnik xarakteristikalarini baholash.

O'zgartirishlar xatoligi, elektr energiya iste'molini hisobga olish va nazorat qilishda, elektr ta'minoti tizimi elektr qurilmalari sinovlarida 0,1...0,5 % dan oshmasligi kerak. Elektr ta'minoti tizimlari elektr qurilmalari tezkor nazorati va himoyasida elektr avtomatika elementlari va qurilmalari aniqligi juda yuqori bo'lishi zarur.

Uch fazali tok o'zgartkichlari chiqish signali yuklama qarshiligining o'zgarishida amplituda va burchak xatoliklari kichik bo'lishi, ishonchli bo'lishi, vaqt va tashqi ta'sirlarga asosiy xarakteristikasi mo'tadil bo'lishi, tezkorligi yuqori bo'lishi talab etiladi.

1.4-§. Monografiya ishining maqsadi va vazifalari

Monografiya ishining maqsadi asinxron motor reaktiv quvvatining nazorat va boshqaruvidagi filtr-kompensatsiya qurilmalari uchun uch fazali toklarni elektromagnit o'zgartkichlarining tadqiqot modellarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning asosiy vazifalari quyidagilar hisoblanadi:

filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorati va boshqaruvidagi asinxron motor reaktiv quvvatining uch fazali toklarni elektromagnitli o'zgartkichlarini tuzilish tamoyillari hamda ulardagi mavjud jarayonlarni tadqiq etish;

asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat va boshqaruvi uchun uch fazali toklarni elektromagnit o'zgartkichlari modeli tuzilmasini yaratish;

filtr-kompensatsiya qurilmalarining nazorat va boshqaruvini uch fazali toklarni elektromagnit o'zgartkichlarini statik, dinamik va metrologik tavsiflarini tadqiq etish;

asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatining uch fazali toklari o'zgartirish qurilmasi tarkibidagi o'zgartirish bo'laklarini tadqiq qilish va ularning modellarini yaratish;

asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat va boshqaruvi uchun o'lchov aniqligi va o'zgartirish funksiyaviy imkoniyatlari kengaytirilgan tuzilmalariga ega elektromagnitli o'zgartkichlarining sifatli chiqish signallarini amaliyotda qo'llash.

Birinchi bob bo'yicha xulosalar

1. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal toklarini kattaliklari hamda ularni nazorat qilish va boshqarish tizimlari uchun uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarini to'g'ri tanlash va loyihalashga doir muammolarni yechish kerak bo'ladi. Asinxron motorning reaktiv quvvatini filtr-kompensatsiya qurilmalari yordamida nazorat qilish va boshqarish metodlari hamda elementlari shuni ifodalaydiki, reaktiv quvvatni tashkil etuvchi nosimmetrik va nosinusoidal toklarning qiymatlarini aniqlash hamda boshqaruv tizimlari uchun aniqlik ko'rsatkich qiymati yuqori, me'yorlangan va chiziqli tavsifga ega bo'lgan signallarni nazorat va boshqaruv qurilmalariga tezkor ta'minlanlash talab etiladi.

2. Asinxron motordagi nosimmetrik va nosinusoidal toklarning miqdori bevosita reaktiv quvvat miqдорiga bog'liqligi sababli, asinxron motor reaktiv quvvatning nosimmetrik va nosinusoidal toklarining paydo bo'lishini va ularning asinxron motor ish rejimlariga salbiy ta'sirlarini aniqlash hamda tahlil qilish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

3. Asinxron motorning filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorati va boshqaruvidagi uch fazali toklarni elektromagnit tok o'zgartkichlarining maqbul bo'lgan turlarini, afzaliklari va kamchiliklarini aniqlash, ularni yangi turlarini ishlab chiqish va asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal toklari qiymatlarini aniqlashda aniqligi yuqori va chiziqli tavsifga ega bo'lgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarini qo'llash talab etiladi.

4. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal toklari o'zgartkichlarida sodir bo'luvchi signal o'zgartirish jarayonlarini va o'zgartkich elementlarining tuzilish asoslarini tahlil qilish natijasida, asinxron motor uch fazali elektromagnitli tok o'zgartkich chiqish kuchlanish signallarining aniqliligi, tezkorliligi va chiziqililigi belgilangan talablarga mosligi aniqlandi.

5. Asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari nazorati va boshqaruvida foydalaniluvchi uch fazali toklarni elektromagnitli o'zgartkichlarini asosiy tasniflari tadqiq etish va ularning yangi tuzilmalari yaratish monografiyaning maqsadi va vazifalarini belgilaydi.

II-BOB. ASINXRON MOTOR REAKTIV QUVVATINING FILTR-KOMPENSATSIYA QURILMALARINING UCH FAZALI ELEKTROMAGNITLI TOK O‘ZGARTKICHLARINI MODELLASHTIRISH

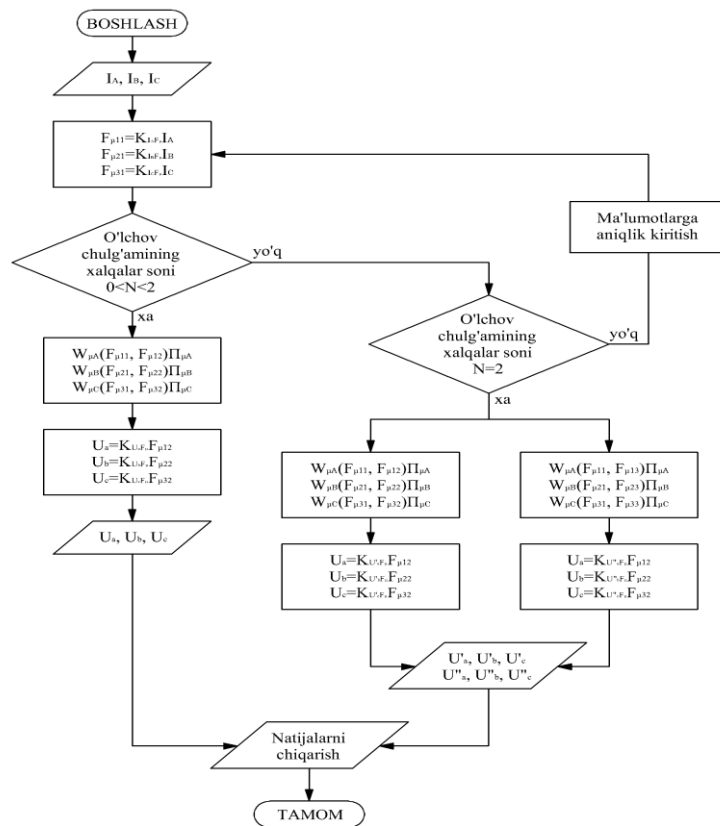
2.1-§. Asinxron motor filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorati va boshqaruvida foydalaniluvchi uch fazali tok o‘zgartkichlarini modellashtirish

Elektromagnit tok o‘zgartkichdagi zanjirlarning yig‘indisidan tashkil topgan, murakkab magnit konturlarini tahlil qilishda bir qancha noqulaylik va kamchiliklar mavjud, bu esa asinxron motorlarning reaktiv quvvatini nazorat va boshqaruv tizimlarida stator tokini kuchlanishga o‘zgartiruvchi o‘zgartkichlarning magnit tizimi xususiyatlarini hisobga olib natijalarni aniqlashda qiyinchiliklar tug‘diradi. Hozirgi kunga kelib hisoblash tizimlarining bir qancha turlari mavjud, bu orqali magnit kattaliklarning xossalari, hususiyatlarini va shu bilan birga ularga ta’sir etuvchi omillarni inobatga olgan holda, natijalarni aniqlash imkoniyati mavjud. Bunday ko‘p faktorlarni e’tiborga olgan holda hisob-kitoblarni amalga oshirish, natijalarni aniqlash jarayonini murakkablashtiradi. Shu sababli magnit, elektr va elektromagnit zanjirlarining ifodalarini hisoblash, matematik modellarini yaxshilash hamda nazariy hisob-kitob natijalarini aniqligini oshirish va soddalashtirish muhim ahamiyat kasb etadi.

Uch fazali asinxron motor stator tokini chiqish kuchlanishiga o‘zgartirish zanjirlarini tahlil qilish va hisoblash graflar nazariyasi orqali amalga oshirishga asoslangan. Graflar nazariyasi orqali asinxron motor stator tokini chiqish kuchlanishiga o‘zgarishidagi zanjirlarni tahlil qilish va hisoblash, jarayonni aniq ko‘rish imkoniyatini yaratadi. Shu sababdan asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari uchun uch fazali tok elektromagnit o‘zgartkichlari bir nechta parametrlar va kattaliklar bilan xarakterlanadi, ya’ni elektr, elektromagnit, magnit, mexanik, issiqlik va texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlar bilan.

Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari uchun uch fazali tok elektromagnit o'zgartkichlarining murakkab va o'zgaruvchan kattaliklarni tadqiq etishda zamonaviy hisoblash va loyihalash komplekslaridan foydalanish muhim ahamiyatga ega. Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari nazorat va boshqaruv tizimidagi elektromagnit tok o'zgartkichlarning elektr, eletromagnit va magnit o'zgartirish elementlari hamda ulardagi jarayonlar va kattaliklarni tadqiq etishning matematik ifodalari ushbu bobda keltirilgan.

Uch fazali asinxron motor elektromagnit tok o'zgartkichlarida stator tokini chiqish kuchlanishiga o'zgarish jarayonida o'zgartkichning ma'lum bir bo'laklari tuzilishini inobatga olish muhim ahamiyatga ega. Modellashtirish asosan elektromagnit tok o'zgartkichning belgilovchi kattaliklari va paremetlariga asosan, graflar nazariyasi orqali ishlab chiqilgan modellar yordamida amalga oshiriladi.



2.1-rasm. Sezgir element xalqalarining soniga ko'ra uch fazali asinxron motor stator tokini chiqish kuchlanishlariga o'zgarish jarayonining algoritmi.

Uch fazali asinxron motor elektromagnit tok o'zgartkichlarida kirish kattaliklari hisoblangan stator toklarini I_A , I_B , va I_C , stator pazlariga mos tartibda joylashtirilgan sezgir element xalqalaridan chiquvchi signallarning soniga ko'ra mos tartibda uchta va oltita chiqish kuchlanishlariga o'zgarish jarayoni quyidagi algoritm orqali amalga oshiriladi (2.1-rasm).

Uch fazali asinxron motorning stator tokini ifodalovchi chiqish kuchlanishlarining soni uchta tashkil etsa, har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqalariga ega tok o'zgartkich hisoblanadi, agar chiqish kuchlanishlarining soni oltita bo'lsa, har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega tok o'zgartkich hisoblanib, sezgir element xalqalarini parallel, ketma-ket va differensial ulash mumkin bo'ladi.

Elektromagnit tok o'zgartkichining stator tokini chiqish kuchlanishiga o'zgarish jarayonining modelini shakllantirish, yuqoridagi algortim va o'zgartirish bo'lagining geometrik tuzilmasi asosida quyidagicha amalga oshiriladi:

Elektromagnit tok o'zgartkichining modeli o'zgartirish bo'lagidagi jarayonlar kirish va chiqish kattaliklari orqasidagi bo'g'liqliklar asosida, ya'ni stator tokini chiqish kuchlanishiga o'zgarish jarayoni modeli element bo'laklarining soniga, geometrik o'lchamlariga va tadqiq etilayotgan kattaliklarning xususiyatlariga bog'liq holda shakllantiriladi. Chiqish signallari o'zgartirish bo'laklarini belgilovchi qator, ustun va tugunlar soni aniqlanayotgan kattaliklarning taqsimlanishiga asosan shakllantiriladi.

Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining tuzilmasini modellashtirish. Uch fazali asinxron motorning statoriga U_1 tarmoq kuchlanishi berilganda, mos ravishda har bir fazada hosil bo'lgan I_1 stator tokini stator magnit o'zagida hosil bo'luvchi $F_{\mu s}$ magnit yurituvchi kuchga aylanish modeli quyidagicha:



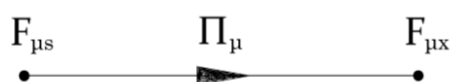
2.2-rasm. I_1 stator tokini $F_{\mu s}$ magnit yurituvchi kuchga aylanish jarayoni modeli.

Asinxron motor stator toki I_1 bilan stator magnit o‘zagidagi $F_{\mu s}$ magnit yurituvchi kuchning bog‘liqligi ifodasi quyidagicha:

$$F_{\mu s} = K_{I_1 F_{\mu}} \cdot I_1, \quad (2.1)$$

bu yerda $K_{I_1 F_{\mu}}$ – stator tokini magnit kattalikka o‘zgarishining zanjirlararo bog‘lanish koeffitsienti.

Stator magnit o‘zagida hosil bo‘lgan $F_{\mu s}$ magnit yurituvchi kuchning, havo oralig‘idagi $F_{\mu x}$ magnit yurituvchi kuchga aylanish modeli quyidagicha:



2.3-rasm. Stator magnit o‘zagidagi $F_{\mu s}$ magnit yurituvchi kuchni havo oralig‘idagi $F_{\mu x}$ magnit yurituvchi kuchga aylanish modeli.

Havo oralig‘idagi $F_{\mu x}$ magnit yurituvchi kuchni U_{chiq} chiqish kuchlanishiga aylanish jarayoni modeli quyidagicha:



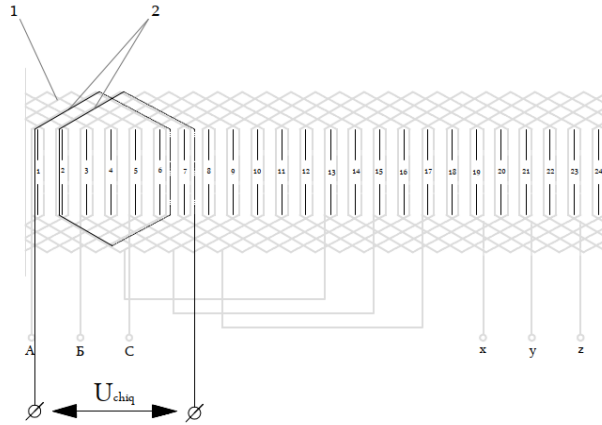
2.4-rasm. Havo oralig‘idagi $F_{\mu x}$ magnit yurituvchi kuchni U_{chiq} chiqish kuchlanishiga aylanish jarayoni modeli.

Havo oralig‘idagi $F_{\mu x}$ magnit yurituvchi kuchni U_{chiq} chiqish kuchlanishiga bog‘liqligi ifodasi quyidagicha:

$$U_{chiq} = K_{U_{chiq} F_{\mu}} \cdot F_{\mu x} \quad (2.2)$$

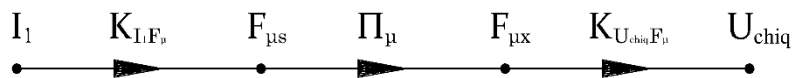
bu yerda $K_{U_{chiq} F_{\mu}}$ – magnit kattaliklarni U_{chiq} ikkilamchi chiqish kuchlanishiga o‘zgarishining zanjirlararo bog‘lanish koeffitsienti.

1. Bitta sezgir element xalqasiga ega bo‘lgan asinxron motor elektromagnit tok o‘zgartkichida I_1 stator toki kattaligini, U_{chiq} chiqish kuchlanish kattaligiga o‘zgarish jarayonini modellashtirish.



2.5-rasm. Asinxron motor stator pazlariga mos tartibda joylashtirilgan, bitta sezgir element xalqasiga ega bo‘lgan uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkich (A faza uchun). 1 – statorning chulg‘amlari, 2 – sezgir element xalqasi.

Asinxron motorning I_1 stator toki, stator magnit o‘zagidagi $F_{\mu s}$ magnit yurituvchi kuchi, havo oralig‘idagi $F_{\mu x}$ magnit yurituvchi kuchi va U_{chiq} chiqish kuchlanishini elektromagnit maydonda o‘zgarish modeli graflar nazariyasiga asosan quyidagi ko‘rinishda tuziladi.

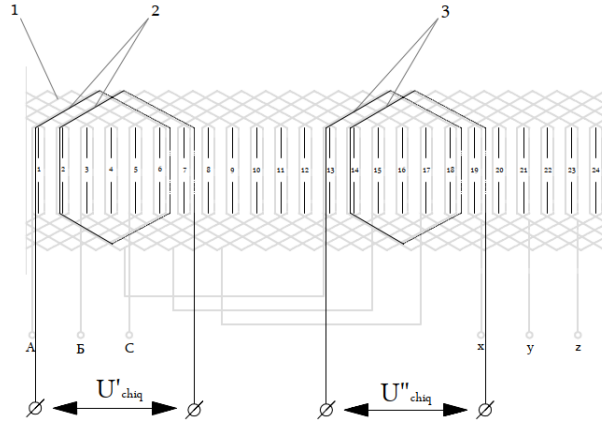


2.6-rasm. I_1 stator toki va stator o‘zagidagi va havo oralig‘idagi $F_{\mu s}$ va $F_{\mu x}$ magnit yurituvchi kuchlarni U_{chiq} chiqish kuchlanishiga o‘zgarish jarayoni modeli.

Asinxron motorning stator chulg‘amlari bilan mos tartibda joylashtirilgan, har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqasidan chiquvchi va stator tokini ifodalovchi U_{chiq} kuchlanishining analitik ifodasi quyidagicha:

$$U_{chiq} = K_{U_{chiq}F_{\mu}} \Pi_{\mu} K_{I_1F_{\mu}} I_1 \quad (2.3)$$

2. Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega bo‘lgan asinxron motor elektromagnit tok o‘zgartkichida I_1 stator toki kattaligini, U'_{chiq} va U''_{chiq} chiqish kuchlanishlari kattaliklariga o‘zgarish jarayonini modellashtirish.

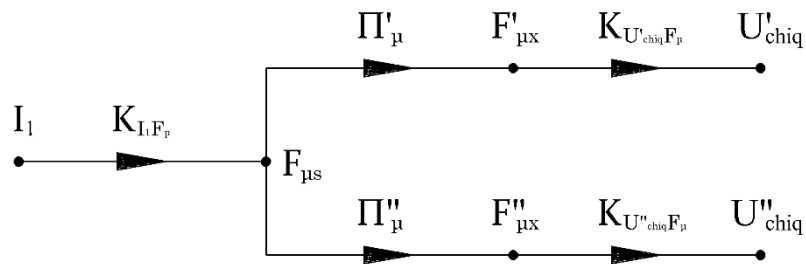


2.7-rasm. Asinxron motorning qutblararo pazlariga mos holda joylashtirilgan, ikkita sezgir element xalqali uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich (A faza uchun). 1 – statorning chulg'amlari, 2 – sezgir elementning birinchi xalqasi, 3 – sezgir elementning ikkinchi xalqasi.

Asinxron motorning har bir fazasi uchun mos ikkita sezgir element xalqlari quyidagicha stator pazlariga joylashtiriladi:

- statorning qutblararo qismida
- stator chulg'amlari joylashgan pazlarda bir-biriga qarama-qarshi tartibda

Asinxron motorning I_1 stator toki, stator magnit o'zagidagi $F_{\mu s}$ magnit yurituvchi kuchi, havo oralig'idagi $F'_{\mu x}$ va $F''_{\mu x}$ magnit yurituvchi kuchlari hamda U'_{chiq} va U''_{chiq} chiqish kuchlanishlarini elektromagnit maydonda o'zgarish modeli graflar nazariyasiga asosan quyidagi ko'rinishda tuziladi.



2.8-rasm. I_1 stator toki hamda stator magnit o'zagidagi $F_{\mu s}$ va havo oralig'idagi $F'_{\mu x}$, $F''_{\mu x}$ magnit yurituvchi kuchlarni U'_{chiq} va U''_{chiq} chiqish kuchlanishlariga o'zgarish jarayoni modeli.

Sezgir element xalqalarining parametrlari bir-biriga teng bo'lsa ulardan chiquvchi U'_{chiq} va U''_{chiq} kuchlanishlarning miqdori deyarli bir-biriga teng, yo'nalish jihatdan qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi.

Asinxron motorning stator chulg'amlari bilan mos tartibda joylashtirilgan sezgir elementning birinchi halqasidan chiquvchi va stator tokini ifodalovchi U'_{chiq} kuchlanishining analitik ifodasi quyidagicha:

$$U'_{chiq} = K_{U'_{chiq}F_{\mu}} \Pi'_{\mu} K_{I_1 F_{\mu}} I_1 \quad (2.4)$$

bu yerda $K_{U'_{chiq}F_{\mu}} - F'_{\mu x}$ havo oralig'idagi magnit yurituvchi kuchni U'_{chiq} chiqish kuchlanishiga aylanishining zanjirlararo bog'lanish koeffitsienti, $\Pi'_{\mu} - U'_{chiq}$ chiqish kuchlanishiga tegishli magnit parametr.

Asinxron motorning stator chulg'amlari bilan mos tartibda joylashtirilgan sezgir elementning ikkinchi halqasidan chiquvchi va stator tokini ifodalovchi U''_{chiq} kuchlanishining analitik ifodasi quyidagicha:

$$U''_{chiq} = K_{U''_{chiq}F_{\mu}} \Pi''_{\mu} K_{I_1 F_{\mu}} I_1 \quad (2.5)$$

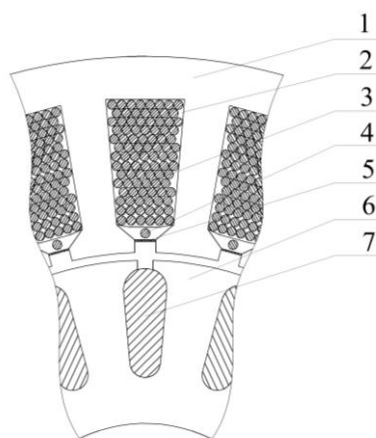
bu yerda $K_{U''_{chiq}F_{\mu}} - F''_{\mu x}$ xavo oralig'idagi magnit yurituvchi kuchni U''_{chiq} chiqish kuchlanishiga aylanishining zanjirlararo bog'lanish koeffitsienti, $\Pi''_{\mu} - U''_{chiq}$ chiqish kuchlanishiga tegishli magnit parametr.

Yuqoridagi algoritm (2.1-rasm) va olib borilgan tadqiqotlarga asosan asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik kattaliklarini nazorat va baholash uchun Windows operatsion tizimida ishlovchi model yaratildi va ushbu model dasturi uchun Intellektual mulk agentligi tomonidan elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturga guvohnoma olindi (№ DGU 16087).

2.2-§. Asinxron motor iste'mol reaktiv quvvatining uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarini o'zgartirish qismlarini modellashtirish

Uch fazali asinxron motor elektromagnit tok o'zgartkichini graflar nazariyasiga asosan modellashtirishda tuzilmaning shakli ko'rinishida shakllantirish jarayonni

yaqqol ko‘rishga va hisob-kitoblarning qisqarishiga va tok o‘zgartkichga ta’sir etuvchi barcha faktorlarni inobatga olishga imkoniyat yaratadi. Sezgir elementlari asinxron motorning stator pazi va ponasining oralig‘idagi joyga joylashtiriladi, bu orqali asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal toklarini aniq ifodalovchi chiqish kuchlanishi olish mumkin bo‘ladi. Sezgir element orqali chiquvchi kuchlanish signalining yuqori aniqligi va chiziqli chiqish tavsifi asinxron motor stator tokini samarali chiqish kuchlanish kattaligiga aylanishini ta’minlaydi.



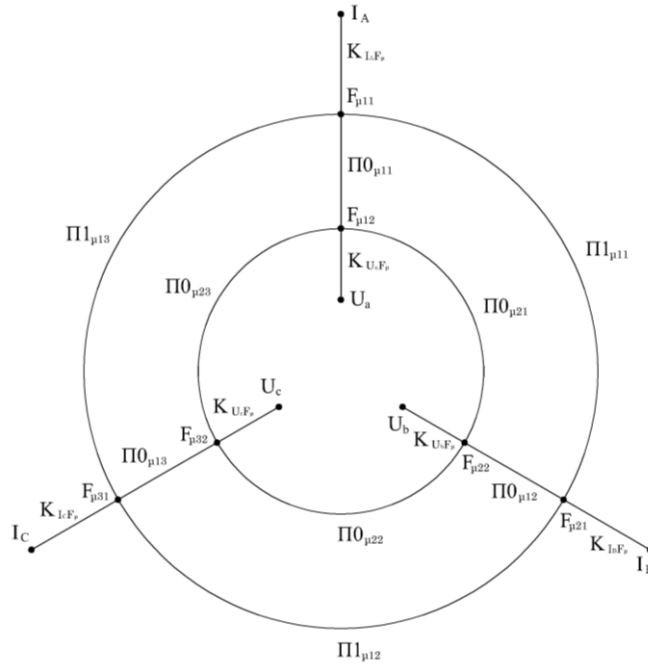
2.9-rasm. Asinxron motor elektromagnit tok o‘zgartkich sezgir elementlarining stator pazlarida joylashishi.

1 – stator, 2 – stator pazlari, 3 – stator chulg‘amlari, 4 – sezgir element, 5 – klin, 6 – rotor, 7 – rotor pazlari.

Asinxron motorning stator tokini chiqish signaliga o‘zgarish jarayoni har bir bo‘laklarining modellalarini umumlashtirish asosida uch fazali stator toklarini chiqish signallariga aylanish jarayonlarining va o‘zgartkichlarning tuzilmalarining modellari quyidagicha tuziladi:

1. Har bir faza uchun mos bitta sezgir element halqasiga ega, uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkich sezgir elementlarida hosil bo‘lgan chiqish signallarini magnit yurituvchi kuchlar yuzaga keltiradi. Elektromagnit maydonda mavjud elektr va magnit kattaliklarni o‘zaro bog‘liqlik jarayonalari va elektromagnit tizimiga tegishli parametrlarning geometrik o‘lchamlariga asosli ravishda Kirxgof va Om qonunlariga ko‘ra aniqlanadi. Stator magnit o‘zagidagi va xavo oralig‘idagi magnit

yurituvchi kuchlar, stator toki va chiqish kuchlanishining o‘zaro munosabatlari har bir faza uchun graf modelga asosan quyidagicha ifodalanadi:



2.10-rasm. Har bir faza uchun mos bitta sezgir element halqasiga ega bo‘lgan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichi chiqish kuchlanishining tashkil etuvchilarini hosil qilish graf modeli.

Graf modelga asosan magnit yurituvchi kuchlarni tadqiq etishning analitik ifodalari quyidagicha tuziladi:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{\mu 11} - F_{\mu 12}}{\Pi O_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 11} - F_{\mu 21}}{\Pi I_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 11} - F_{\mu 31}}{\Pi I_{\mu 13}} = K_{I_A F_{\mu}} I_A; \\ \frac{F_{\mu 21} - F_{\mu 22}}{\Pi O_{\mu 12}} + \frac{F_{\mu 21} - F_{\mu 31}}{\Pi I_{\mu 12}} + \frac{F_{\mu 21} - F_{\mu 11}}{\Pi I_{\mu 11}} = K_{I_B F_{\mu}} I_B; \\ \frac{F_{\mu 31} - F_{\mu 32}}{\Pi O_{\mu 13}} + \frac{F_{\mu 31} - F_{\mu 11}}{\Pi I_{\mu 13}} + \frac{F_{\mu 31} - F_{\mu 21}}{\Pi I_{\mu 12}} = K_{I_C F_{\mu}} I_C; \\ \frac{F_{\mu 12} - F_{\mu 11}}{\Pi O_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 12} - F_{\mu 22}}{\Pi O_{\mu 21}} + \frac{F_{\mu 12} - F_{\mu 32}}{\Pi O_{\mu 23}} = K_{U_a F_{\mu}} U_a; \\ \frac{F_{\mu 22} - F_{\mu 21}}{\Pi O_{\mu 12}} + \frac{F_{\mu 22} - F_{\mu 32}}{\Pi O_{\mu 22}} + \frac{F_{\mu 22} - F_{\mu 21}}{\Pi O_{\mu 21}} = K_{U_b F_{\mu}} U_b; \\ \frac{F_{\mu 32} - F_{\mu 31}}{\Pi O_{\mu 13}} + \frac{F_{\mu 32} - F_{\mu 12}}{\Pi O_{\mu 23}} + \frac{F_{\mu 32} - F_{\mu 22}}{\Pi O_{\mu 22}} = K_{U_c F_{\mu}} U_c; \end{array} \right. \quad (2.6)$$

$$F_{\mu,i,j} = K_{I_i F_\mu} I_i \quad (2.7)$$

$$U_{\mu,i,j} = K_{U_{i.chiq} F_\mu} F_{\mu,i,j} \quad (2.8)$$

$$\Pi_{\mu,i,j} = \omega L_{\mu,i,j} = X_{\mu,i,j} \quad (2.9)$$

$$\Pi 1_{\mu,i,j} = \frac{l 1_{\mu,i,j}}{\mu 1_{\mu,i,j} S 1_{\mu,i,j}} \quad (2.10)$$

$$\Pi 0_{\mu,i,j} = \frac{l 0_{\mu,i,j}}{\mu 0_{\mu,i,j} S 0_{\mu,i,j}} \quad (2.11)$$

bu yerda $\Pi_{i,j}$ – stator o‘zagi magnit parametrlarining qarshiliklari.

Chiqish kuchlanishini stator tokiga bog‘liqligini aniqlash, yuqoridagi tenglamalar sistemasiga (2.6) asosan quyidagicha ifodalanadi:

$$A_{i,j} \cdot F_{\mu,i,j} = \begin{bmatrix} I_i \\ U_{i.chiq} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

bu yerda $F_{\mu,i,j}$ – magnit yurituvchi kuchlar va $A_{i,j}$ – magnit parametrlarining qarshiliklari tashkil etgan matritsa quyidagicha aniqlanadi:

$$A_{i,j} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdot & \cdot & A_{1m} \\ A_{21} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ A_{n1} & \cdot & \cdot & \cdot & A_{nm} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

bu yerda $A_{n,m}$ – sistemaning koeffitsientlari hisoblanadi va ular quyidagicha aniqlanadi (2.1-Jadval):

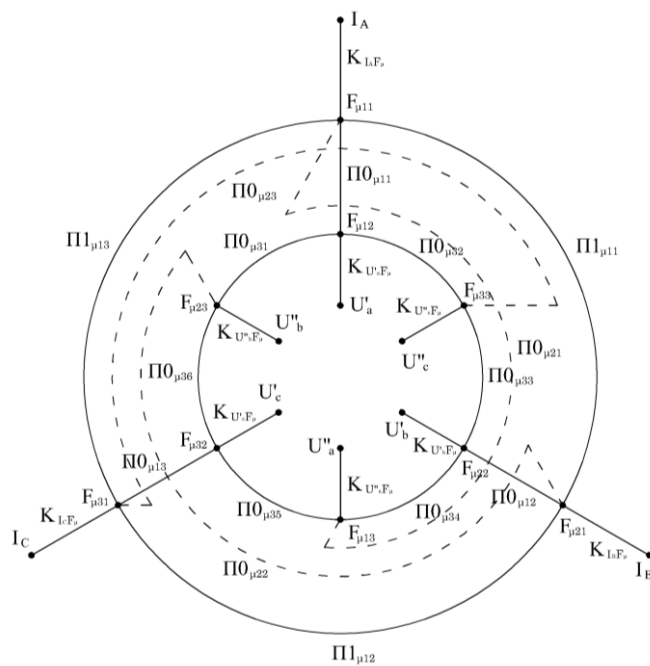
2.1-Jadval

$A_{11} = \left(\frac{1}{\Pi 0_{\mu 11}} + \frac{1}{\Pi 1_{\mu 11}} + \frac{1}{\Pi 1_{\mu 13}} \right) \frac{1}{K_{I_A F_\mu}};$ $A_{12} = -\frac{1}{\Pi 1_{\mu 11} K_{I_A F_\mu}};$ $A_{13} = -\frac{1}{\Pi 1_{\mu 13} K_{I_A F_\mu}};$ $A_{14} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 11} K_{I_A F_\mu}};$ $A_{15} = 0;$ $A_{16} = 0;$	$A_{21} = -\frac{1}{\Pi 1_{\mu 11} K_{I_B F_\mu}};$ $A_{22} = \left(\frac{1}{\Pi 0_{\mu 12}} + \frac{1}{\Pi 1_{\mu 12}} + \frac{1}{\Pi 1_{\mu 11}} \right) \frac{1}{K_{I_B F_\mu}};$ $A_{23} = -\frac{1}{\Pi 1_{\mu 12} K_{I_B F_\mu}};$ $A_{24} = 0$ $A_{25} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 12} K_{I_B F_\mu}};$ $A_{26} = 0;$
$A_{31} = -\frac{1}{\Pi 1_{\mu 13} K_{I_C F_\mu}};$ $A_{32} = -\frac{1}{\Pi 1_{\mu 12} K_{I_C F_\mu}};$ $A_{33} = \left(\frac{1}{\Pi 0_{\mu 13}} + \frac{1}{\Pi 1_{\mu 13}} + \frac{1}{\Pi 1_{\mu 12}} \right) \frac{1}{K_{I_C F_\mu}};$ $A_{34} = 0;$ $A_{35} = 0;$ $A_{36} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 13} K_{I_C F_\mu}};$	$A_{41} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 11} K_{U_a F_\mu}};$ $A_{42} = 0;$ $A_{43} = 0;$ $A_{44} = \left(\frac{1}{\Pi 0_{\mu 11}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 23}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 21}} \right) \frac{1}{K_{U_a F_\mu}};$ $A_{45} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 21} K_{U_a F_\mu}};$ $A_{46} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 23} K_{U_a F_\mu}};$
$A_{51} = 0;$ $A_{52} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 12} K_{U_b F_\mu}};$ $A_{53} = 0;$ $A_{54} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 21} K_{U_b F_\mu}};$ $A_{55} = \left(\frac{1}{\Pi 0_{\mu 12}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 21}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 22}} \right) \frac{1}{K_{U_b F_\mu}};$ $A_{56} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 22} K_{U_b F_\mu}};$	$A_{61} = 0$ $A_{62} = 0;$ $A_{63} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 13} K_{U_c F_\mu}};$ $A_{64} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 23} K_{U_c F_\mu}};$ $A_{65} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 22} K_{U_c F_\mu}};$ $A_{66} = \left(\frac{1}{\Pi 0_{\mu 13}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 22}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 23}} \right) \frac{1}{K_{U_c F_\mu}};$

Yuqoridagi ifodalar asosida har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqasiga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining magnit yurituvchi kuchlarini tadqiq qilish mumkin bo'ladi.

2. Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega, uch fazali asinxron motor elektromagnit tok o'zgartkichidagi stator tokini ifodalovchi chiqish kuchlanishlarining, stator magnit o'zagidagi va xavo oralig'idagi magnit yurituvchi kuchlar bilan o'zaro munosabatlari 2.11-rasmda keltirilgan.

Graf modelga asosan har bir faza uchun mos, ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichidagi magnit yurituvchi kuchlar ya'ni, magnit o'zagidagi va xavo oralig'idagi shu bilan birga stator toklari va chiqish signallarining o'zaro munosabatlari tasvirlangan.



2.11-rasm. Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega bo'lgan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichi chiqish kuchlanishlarining tashkil etuvchilarini hosil qilish graf modeli.

Graf modelga asosan magnit yurituvchi kuchlarni tadqiq etishning analitik ifodalari quyidagicha tuziladi:

$$\left\{ \begin{array}{l}
\frac{F_{\mu 11} - F_{\mu 21}}{\Pi \Pi_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 11} - F_{\mu 31}}{\Pi \Pi_{\mu 13}} + \frac{F_{\mu 11} - F_{\mu 12}}{\Pi \Pi_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 11} - F_{\mu 13}}{\Pi \Pi_{\mu 21}} = K_{I_A F_\mu} I_A ; \\
\frac{F_{\mu 21} - F_{\mu 11}}{\Pi \Pi_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 21} - F_{\mu 31}}{\Pi \Pi_{\mu 12}} + \frac{F_{\mu 21} - F_{\mu 22}}{\Pi \Pi_{\mu 12}} + \frac{F_{\mu 21} - F_{\mu 23}}{\Pi \Pi_{\mu 22}} = K_{I_B F_\mu} I_B ; \\
\frac{F_{\mu 31} - F_{\mu 21}}{\Pi \Pi_{\mu 12}} + \frac{F_{\mu 31} - F_{\mu 11}}{\Pi \Pi_{\mu 13}} + \frac{F_{\mu 31} - F_{\mu 32}}{\Pi \Pi_{\mu 13}} + \frac{F_{\mu 31} - F_{\mu 33}}{\Pi \Pi_{\mu 23}} = K_{I_C F_\mu} I_C ; \\
\frac{F_{\mu 12} - F_{\mu 11}}{\Pi \Pi_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 12} - F_{\mu 23}}{\Pi \Pi_{\mu 31}} + \frac{F_{\mu 12} - F_{\mu 33}}{\Pi \Pi_{\mu 32}} = K_{U'_a F_\mu} U'_a ; \\
\frac{F_{\mu 22} - F_{\mu 21}}{\Pi \Pi_{\mu 12}} + \frac{F_{\mu 22} - F_{\mu 33}}{\Pi \Pi_{\mu 33}} + \frac{F_{\mu 22} - F_{\mu 13}}{\Pi \Pi_{\mu 34}} = K_{U'_b F_\mu} U'_b ; \\
\frac{F_{\mu 32} - F_{\mu 31}}{\Pi \Pi_{\mu 13}} + \frac{F_{\mu 32} - F_{\mu 13}}{\Pi \Pi_{\mu 35}} + \frac{F_{\mu 32} - F_{\mu 23}}{\Pi \Pi_{\mu 36}} = K_{U'_c F_\mu} U'_c ; \\
\frac{F_{\mu 13} - F_{\mu 11}}{\Pi \Pi_{\mu 21}} + \frac{F_{\mu 13} - F_{\mu 22}}{\Pi \Pi_{\mu 34}} + \frac{F_{\mu 13} - F_{\mu 32}}{\Pi \Pi_{\mu 35}} = K_{U''_a F_\mu} U''_a ; \\
\frac{F_{\mu 23} - F_{\mu 21}}{\Pi \Pi_{\mu 22}} + \frac{F_{\mu 23} - F_{\mu 32}}{\Pi \Pi_{\mu 36}} + \frac{F_{\mu 23} - F_{\mu 12}}{\Pi \Pi_{\mu 31}} = K_{U''_b F_\mu} U''_b ; \\
\frac{F_{\mu 33} - F_{\mu 31}}{\Pi \Pi_{\mu 23}} + \frac{F_{\mu 33} - F_{\mu 12}}{\Pi \Pi_{\mu 32}} + \frac{F_{\mu 33} - F_{\mu 22}}{\Pi \Pi_{\mu 33}} = K_{U''_c F_\mu} U''_c ;
\end{array} \right. \quad (2.14)$$

$$U'_{\mu.i,j} = K_{U'_{i..chiq} F_\mu} F_{\mu.i,j} \quad (2.15)$$

$$U''_{\mu.i,j} = K_{U''_{i..chiq} F_\mu} F_{\mu.i,j} \quad (2.16)$$

bu yerda $U'_{\mu.i,j}$, $U''_{\mu.i,j}$ – birinchi va ikkinchi xalqalardagi kuchlanishlar.

Chiqish kuchlanishlarini stator tokiga bog‘liqligini aniqlash, yuqoridagi tenglamalarga sistemasiga asosan quyidagicha ifodalanadi:

$$A_{i,j} \cdot F_{\mu.i,j} = \begin{bmatrix} I_i \\ U'_{i.chiq} \\ U''_{i.chiq} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

bu yerda $F_{\mu.i,j}$ – magnit yurituvchi kuchlar va $A_{i,j}$ – magnit parametrlarining qarshiliklari tashkil etgan matrissa quyidagicha aniqlanadi:

$$A_{i,j} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdot & \cdot & A_{1m} \\ A_{21} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ A_{n1} & \cdot & \cdot & \cdot & A_{nm} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

bu yerda $A_{n,m}$ – sistemaning koeffitsientlari hisoblanadi va ular quyidagicha aniqlanadi:

2.2-Jadval

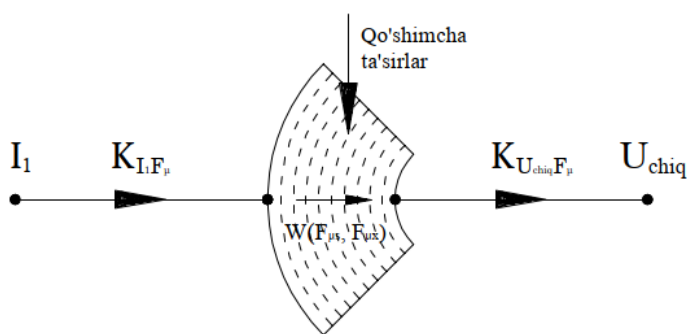
$A_{11} = \left(\frac{1}{\Pi 1_{\mu 11}} + \frac{1}{\Pi 1_{\mu 13}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 11}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 21}} \right) \frac{1}{K_{I_A F_{\mu}}};$ $A_{12} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 11} K_{I_A F_{\mu}}};$ $A_{13} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 21} K_{I_A F_{\mu}}};$ $A_{14} = -\frac{1}{\Pi 1_{\mu 11} K_{I_A F_{\mu}}};$ $A_{15} = 0;$ $A_{16} = 0;$ $A_{17} = -\frac{1}{\Pi 1_{\mu 13} K_{I_A F_{\mu}}};$ $A_{18} = 0;$ $A_{19} = 0;$	$A_{21} = -\frac{1}{\Pi 1_{\mu 11} K_{I_B F_{\mu}}};$ $A_{22} = 0;$ $A_{23} = 0;$ $A_{24} = \left(\frac{1}{\Pi 1_{\mu 11}} + \frac{1}{\Pi 1_{\mu 12}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 12}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 22}} \right) \frac{1}{K_{I_B F_{\mu}}};$ $A_{25} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 12} K_{I_B F_{\mu}}};$ $A_{26} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 22} K_{I_B F_{\mu}}};$ $A_{27} = -\frac{1}{\Pi 1_{\mu 12} K_{I_B F_{\mu}}};$ $A_{28} = 0;$ $A_{29} = 0;$
$A_{31} = -\frac{1}{\Pi 1_{\mu 13} K_{I_C F_{\mu}}};$ $A_{32} = 0;$ $A_{33} = 0;$ $A_{34} = -\frac{1}{\Pi 1_{\mu 12} K_{I_C F_{\mu}}};$ $A_{35} = 0;$ $A_{36} = 0;$ $A_{37} = \left(\frac{1}{\Pi 1_{\mu 12}} + \frac{1}{\Pi 1_{\mu 13}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 13}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 23}} \right) \frac{1}{K_{I_C F_{\mu}}};$ $A_{38} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 13} K_{I_C F_{\mu}}};$ $A_{39} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 23} K_{I_C F_{\mu}}};$	$A_{41} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 11} K_{U'_a F_{\mu}}};$ $A_{42} = \left(\frac{1}{\Pi 0_{\mu 11}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 31}} + \frac{1}{\Pi 0_{\mu 32}} \right) \frac{1}{K_{U'_a F_{\mu}}};$ $A_{43} = 0;$ $A_{44} = 0;$ $A_{45} = 0;$ $A_{46} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 31} K_{U'_a F_{\mu}}};$ $A_{47} = 0;$ $A_{48} = 0;$ $A_{49} = -\frac{1}{\Pi 0_{\mu 32} K_{U'_a F_{\mu}}};$

$A_{51} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 21} K_{U''_a F_\mu}};$ $A_{52} = 0;$ $A_{53} = \left(\frac{1}{\Pi O_{\mu 21}} + \frac{1}{\Pi O_{\mu 34}} + \frac{1}{\Pi O_{\mu 35}} \right) \frac{1}{K_{U''_a F_\mu}};$ $A_{54} = 0;$ $A_{55} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 34} K_{U''_a F_\mu}};$ $A_{56} = 0;$ $A_{57} = 0;$ $A_{58} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 35} K_{U''_a F_\mu}};$ $A_{59} = 0;$	$A_{61} = 0;$ $A_{62} = 0;$ $A_{63} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 34} K_{U'_b F_\mu}};$ $A_{64} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 12} K_{U'_b F_\mu}};$ $A_{65} = \left(\frac{1}{\Pi O_{\mu 12}} + \frac{1}{\Pi O_{\mu 34}} + \frac{1}{\Pi O_{\mu 33}} \right) \frac{1}{K_{U'_b F_\mu}};$ $A_{66} = 0;$ $A_{67} = 0;$ $A_{68} = 0;$ $A_{69} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 33} K_{U'_b F_\mu}};$
$A_{71} = 0;$ $A_{72} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 31} K_{U''_b F_\mu}};$ $A_{73} = 0;$ $A_{74} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 22} K_{U''_b F_\mu}};$ $A_{75} = 0;$ $A_{76} = \left(\frac{1}{\Pi O_{\mu 22}} + \frac{1}{\Pi O_{\mu 36}} + \frac{1}{\Pi O_{\mu 31}} \right) \frac{1}{K_{U''_b F_\mu}};$ $A_{77} = 0;$ $A_{78} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 36} K_{U''_b F_\mu}};$ $A_{79} = 0;$	$A_{81} = 0;$ $A_{82} = 0;$ $A_{83} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 35} K_{U'_c F_\mu}};$ $A_{84} = 0;$ $A_{85} = 0;$ $A_{86} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 36} K_{U'_c F_\mu}};$ $A_{87} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 13} K_{U'_c F_\mu}};$ $A_{88} = \left(\frac{1}{\Pi O_{\mu 13}} + \frac{1}{\Pi O_{\mu 35}} + \frac{1}{\Pi O_{\mu 36}} \right) \frac{1}{K_{U'_c F_\mu}};$ $A_{89} = 0;$
$A_{91} = 0;$ $A_{92} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 32} K_{U''_c F_\mu}};$ $A_{93} = 0;$ $A_{94} = 0;$ $A_{95} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 33} K_{U''_c F_\mu}};$ $A_{96} = 0;$ $A_{97} = -\frac{1}{\Pi O_{\mu 23} K_{U''_c F_\mu}};$ $A_{98} = 0;$ $A_{99} = \left(\frac{1}{\Pi O_{\mu 23}} + \frac{1}{\Pi O_{\mu 32}} + \frac{1}{\Pi O_{\mu 33}} \right) \frac{1}{K_{U''_c F_\mu}};$	

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining hosil qilingan graf modeli va analitik ifodalari asosida o'zgartkichdagi $F_{\mu,i,j}$ magnit yurituvchi kuchlarni tadqiq qilish imkoniyati mavjud bo'ladi.

2.3-§. Asinxron motor reaktiv quvvatining uch fazali toklarni elektromagnitli o'zgartkichlarining tuzilmalarini modellashtirish

Asinxron motorda hosil bo'luvchi reaktiv quvvatning miqdoriga bevosita ta'sir ko'rsatuvchi nosimmetik va yuqori garmonika toklarini chiqish signallariga aylanishidagi, elementlar hamda kattaliklarning zanjirlararo bog'lanishlarini tadqiq etishda va shu bilan bir qatorda o'zgartkich tuzilmasini tashkil etuvchi fizik-texnik effektlarni o'rganish talab etiladi. Birlamchi uch fazali toklarni chiqish kuchlanishlariga 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 hamda parametrlarining o'zaro munosabatlarini o'z ichiga oladi. Ushbu algoritmlar asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat qilish va boshqarish jarayonlariga mos keladi.



2.12-rasm. Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqasiga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichida kechuvchi fizik–texnik effekt jarayonlarining graf modeli.

Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichi tuzilmalarining fizik–texnik effektlarini modellashtirishda, elektromagnit o'zgartkichning tuzilmasida mavjud fizik–texnik effektlar e'tiborga olingan parametrik tuzilish sxemasi, elektr kattalik va qo'shimcha ta'sirlarning parametrlarini o'zgartirish, ularni o'zaro bog'lanish tuzilmasining graf model ishlab chiqiladi. Asinxron motorning elektromagnit tok o'zgartkichini tuzilmasi va FTE lar asosida tuzilgan modelllarining ko'rinishi 2.12 va 2.13-rasmlarda keltirilgan.

$$U_{chiq} = K_{U_{chiq}F_{\mu}} W(F_{\mu s}, F_{\mu x}) K_{I_1 F_{\mu}} I_1 \quad (2.19)$$

bu yerda U_{chiq} – chiqish kuchlanishining tashkil etuvchisi; $K_{U_{chiq}F_{\mu}}$ – Magnit yurituvchi kuch va chiqish kuchlanishi tashkil etuvchisi orasidagi zanjirlararo bog'lanish koefitsienti, $K_{I_1 F_{\mu}}$ – stator toki va magnit yurituvchi kuchi tashkil etuvchisi orasidagi zanjirlararo bog'lanish koefitsienti – tokni kuchlanishga o'zgartirish asosini tashkil etuvchi FTE; $W(F_{\mu s}, F_{\mu x})$ – magnit o'zgartirish bo'lagining uzatish funksiyasi.

Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqasiga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichi graf modeli uchun magnit yurituvchi kuch va o'zgartkich chiqish kuchlanishi orasidagi bog'liqlikning matematik ifodasi yuqoridagi (2.6-rasm) algoritmgaga asosan aniqlanadi.

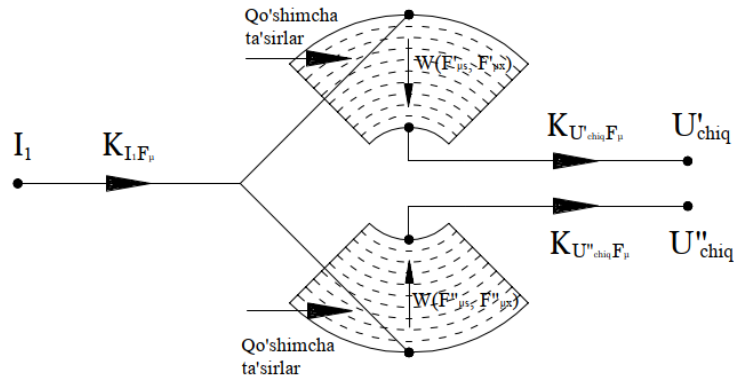
Asinxron motor stator chulg'amlari bilan mos tartibda joylashtirilgan har bir faza uchun mos, ikkita sezgir element xalqalariga ega va stator toklarini ifodalovchi chiqish signali uch fazali elektromagnit o'zgartkichlariga tegishli tuzilmalarni FTE jarayonlarini modellashtirish.

$$U'^{chiq} = K_{U'^{chiq}F_{\mu}} W(F'_{\mu s}, F'_{\mu x}) K_{I_1 F_{\mu}} I_1 \quad (2.20)$$

$$U''^{chiq} = K_{U''^{chiq}F_{\mu}} W(F''_{\mu s}, F''_{\mu x}) K_{I_1 F_{\mu}} I_1 \quad (2.21)$$

bu yerda U'^{chiq} va U''^{chiq} – chiqish kuchlanishlarining tashkil etuvchilari; $K_{U'^{chiq}F_{\mu}}$ va $K_{U''^{chiq}F_{\mu}}$ – Magnit yurituvchi kuchlar va chiqish kuchlanishlari tashkil etuvchilari orasidagi zanjirlararo bog'lanish koefitsientlari, $K_{I_1 F_{\mu}}$ – stator toki va magnit yurituvchi kuchi tashkil etuvchisi orasidagi zanjirlararo bog'lanish koefitsienti –

tokni kuchlanishga o'zgartirish asosini tashkil etuvchi FTE; $W(F_{\mu S}, F_{\mu X})$ va $W(F_{\mu S}, F_{\mu X})$ – magnit o'zgartirish bo'lagining uzatish funksiyalari.



2.13-rasm. Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichida kechuvchi fizik–texnik effekt jarayonlarining graf modeli.

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichi graf modeli uchun magnit yurituvchi kuchlar va o'zgartkich chiqish kuchlanishlari orasidagi bog'liqlikning matematik ifodasi yuqoridagi (2.8-rasm) algoritmgga asosan aniqlanadi.

Stator pazlaridagi sezgir elementning chiqish signaliga ta'sir ko'rsatuvchi haroratning qiymati qo'shimcha ta'sirlar toifasiga mansub hisoblanib elektromagnit tok o'zgartkichning chiqish signallarining aniqlik ko'rsatkichiga salbiy ta'sir ko'rsatadi, turli ta'sirlar sabab asinxron motordagi ichki hamda tashqi muhit haroratlari elektromagnit tok o'zgartkichidan chiquvchi signallarga bevosita bog'liq va bu Π_{μ} – magnit tizimining parametriga ta'sir ko'rsatadi. Chiqish kuchlanish signallarini haroratga bog'liqligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\Pi_{\mu} = \frac{1}{((1 + \alpha t + \beta t^2) R_{\mu} + R_{\mu \delta})} \quad (2.22)$$

bu yerda t – sezgir elementga ta'sir etuvchi temperatura, α, β – termik koeffitsientlar, $R_{\mu} = l_{\mu} / \mu S$ – aktiv magnit qarshiligi, l_{μ} – magnit o'tkazgichning uzunligi, S – yuza, $R_{\mu \delta} = \delta / \mu_0 S$ – havo oralig'ining magnit qarshiligi, δ – havo oralig'ining qiymati.

$$U_{chiq} = \frac{1}{((1 + \alpha t + \beta t^2)R_{\mu} + R_{\mu\delta})} K_{U_{chiq}F_{\mu}} K_{I_1F_{\mu}} I_1 \quad (2.23)$$

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega bo'lgan asinxron motor tok o'zgartkichidan chiquvchi kuchlanishlarining temperaturaga bog'liqligi quyidagicha aniqlanadi:

$$U'_{chiq} = \frac{1}{((1 + \alpha t' + \beta (t')^2)R'_{\mu} + R_{\mu\delta})} K_{U'_{chiq}F_{\mu}} K_{I_1F_{\mu}} I_1 \quad (2.24)$$

$$U''_{chiq} = \frac{1}{((1 + \alpha t'' + \beta (t'')^2)R''_{\mu} + R_{\mu\delta})} K_{U''_{chiq}F_{\mu}} K_{I_1F_{\mu}} I_1 \quad (2.25)$$

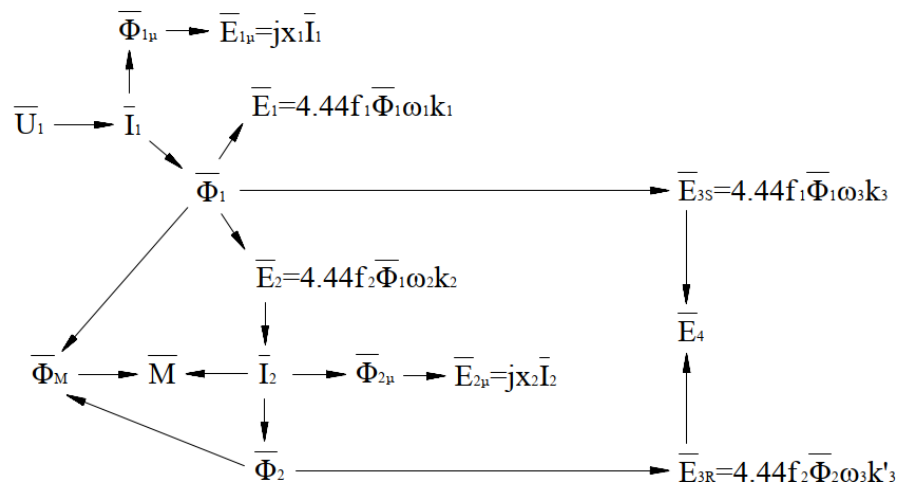
Tadqiq etilgan asinxron motorning har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalaridan tashkil topgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich kattalik va parametrlarni o'zgarish jarayonlari, modellari, va ularning tuzish algoritmlaridan ko'rinib turibdiki, kirish kattaliklari va parametrlari, o'zgartirish elementlarida stator tokini chiqish kuchlanishlariga o'zgarishida o'zgartkich tuzilmalarini qurish, signal o'zgartirish tuzilmalarida qaysi turdagi fizik-texnik effektlar qo'llanishi kerakligini bilish talab etiladi. Agar o'zgartkich tuzilmasidagi fizik-texnik effektlar aniq bo'lsa, ushbu holatda graf model o'zgartkich parametrlari hamda kattaliklarining o'zaro bog'liqligi, o'zgartkich tuzilmalariga tegishli elementlarni hisobga olish asnosida ishlab chiqiladi. Buning natijasida kirish kattaliklarini chiqish kattaliklariga o'zgartirish elementlarini graf model ko'rinishi va ularning o'zgarish jarayonlarini ketma-ketligini ta'minlash orqali amalga oshiriladi.

2.4-§. Asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatining uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarini almashtirish sxemasiga asosan modellashtirish

Matlab dasturi orqali asinxron motor uch fazali tok o'zgartkichlarini almashtirish sxemasiga asosan modellashtirish statoridagi, rotoridagi va sezgir

elementlaridagi elektr va elektromagnit kattaliklarni nazariy hisoblashni soddalashtiradi va simulyatsion modellar yordamida aniqlash imkonini beradi. Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari uchun uch fazali tok elektromagnit o'zgartkichning chiqish elektr kattaliklarini aniqlashda asinxron motor elektromagnit tok o'zgartkichning almashtirish sxemasi ahamiyatli hisoblanadi, buning natijasida nazariy hisob-kitoblar va simulyatsion model orqali asinxron motorning turli ish rejimlaridagi elektromagnit tok o'zgartkichi chiqish kuchlanishlarining parametrlarini aniqlash vaqti qisqaradi.

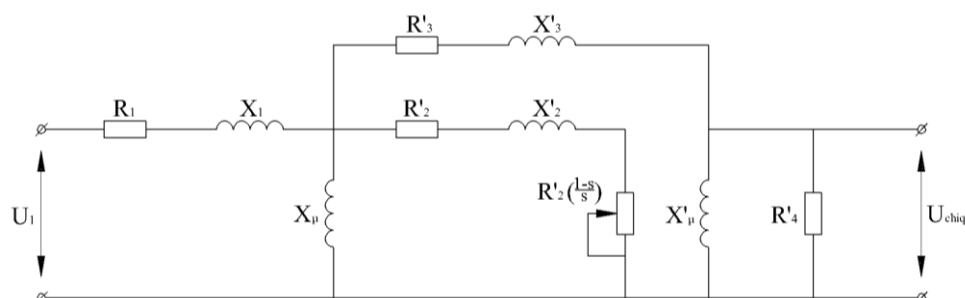
Asinxron motorning stator chulg'amidagi U_1 kuchlanish, chulg'amda I_1 tokni hosil qiladi, o'z navbatida tok kuchi asosiy Φ_1 va sochilish Φ_μ magnit oqimlari hosil qiladi. Magnit oqim stator va rotor o'rtasida "ko'prik" vazifasini bajaradi va ular orasidagi energiya almashinuvini ta'minlaydi (2.14-rasm).



2.14-rasm. Sezgir element halqalarida hosil bo'luvchi elektr yurituvchi kuchlarning sxemasi.

Asinxron motorning stator chulg'amlarida hosil bo'lgan magnit oqim sezgir elementda mos yo'nalishdagi elektr yurituvchi kuchni hosil qiladi, rotorda hosil bo'lgan magnit oqim esa sezgir elementda teskari yo'nalishdagi elektr yurituvchi kuchni hosil qiladi va buning qiymati bir nechta kattaliklarga bog'liq bo'ladi, ya'ni rotorning aylanishlar soniga, rotorda hosil bo'luvchi magnit maydoniga va rotordagi chastotaning miqdoriga. Ushbu kattaliklarning o'zgarishi sezgir elementdan chiquvchi kuchlanishning qiymatiga ta'sir etadi.

Yuqoridagi graf modelga va elektr yurituvchi kuchlarning hosil bo‘lish sxemasiga asosan har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichining T-simon almashtirish sxemasi tuzilgan va quyida keltirilgan.



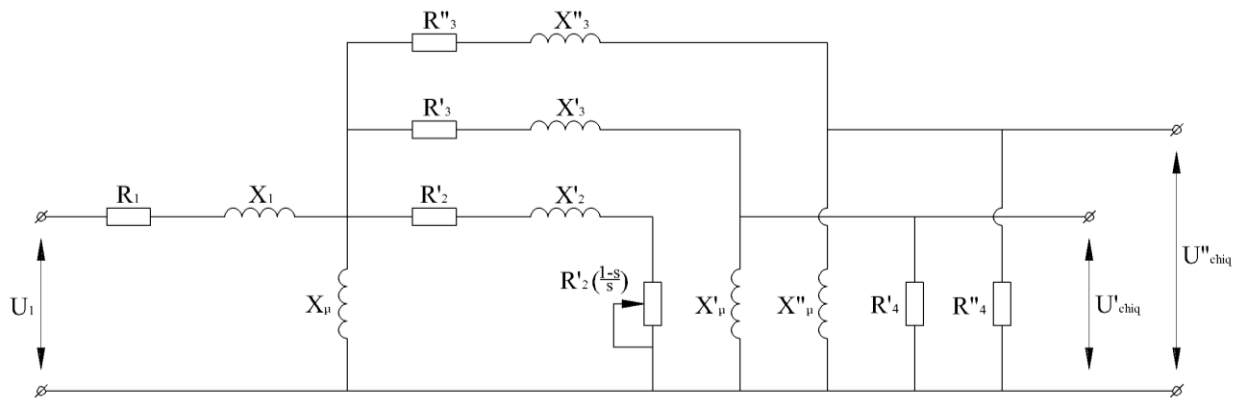
2.15-rasm. Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichining almashtirish sxemasi.

bu yerda R_1 – stator chulg‘aming aktiv qarshiligi, X_1 – stator chulg‘aming reaktiv qarshiligi, X_m – magnitlanish qarshiligi, R_2 – rotor chulg‘aming keltirilgan aktiv qarshiligi, X_2 – rotor chulg‘aming keltirilgan reaktiv qarshiligi, R_3 – sezgir elementning keltirilgan aktiv qarshiligi, X_3 – sezgir elementning keltirilgan reaktiv qarshiligi, X_m – sezgir element hosil qilgan, keltirilgan magnitlanish qarshiligi, R_4 – havo oralig‘ining keltirilgan aktiv qarshiligi, U_1 – manba kuchlanishi, U_{chiq} – chiqish kuchlanishi.

Sezgir elementida hosil bo‘luvchi elektr yurituvchi kuch, stator tokining qiymatiga va stator chulg‘amidagi kuchlanish kattaligiga proporsionaldir. Stator, rotor va sezgir element xalqasida hosil bo‘luvchi elektr yurituvchi kuchlar va toklar quyidagi tenglamalar asosida aniqlanadi;

$$\begin{aligned}
 U_1 &= -\varepsilon_1 + I_1 X_1 + I_1 R_1 & U_{chiq} &= \varepsilon_4 - I'_m X'_m \\
 0 &= \varepsilon_2 - I'_2 X'_2 - I'_2 \frac{R'_2}{S} & I_1 &= I_m + I'_2 + I'_3 \\
 0 &= \varepsilon_3 - I'_3 X'_3 - I'_3 R'_3 & I'_3 &= I'_m + I'_4
 \end{aligned}
 \tag{2.26}$$

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichining T-simon almashtirish sxemasi quyida keltirilgan.



2.16-rasm. Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning almashtirish sxemasi.

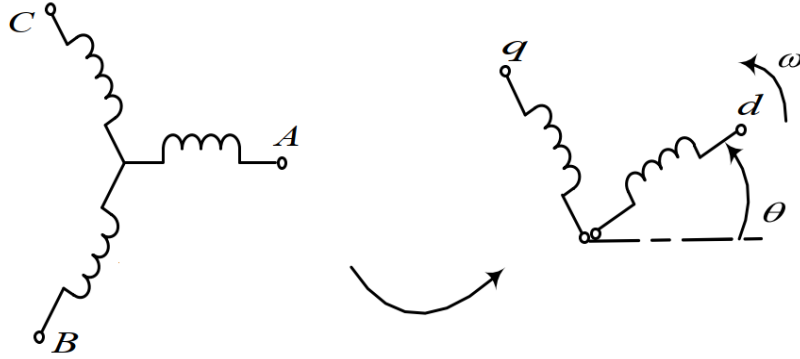
bu yerda R_1 – stator chulg‘a mining aktiv qarshiligi, X_1 – stator chulg‘a mining reaktiv qarshiligi, X_m – magnitlanish qarshiligi, R_2 – rotor chulg‘a mining keltirilgan aktiv qarshiligi, X_2 – rotor chulg‘a mining keltirilgan reaktiv qarshiligi, R_3 va R_3 – birinchi va ikkinchi sezgir elementlarning keltirilgan aktiv qarshiliklari, X_3 va X_3 – birinchi va ikkinchi sezgir elementlarning keltirilgan reaktiv qarshiliklari, X_m va X_m – birinchi va ikkinchi sezgir elementlar hosil qilgan, keltirilgan magnitlanish qarshiliklari, R_4 va R_4 – birinchi va ikkinchi sezgir elementlar joylashgan qismdagi havo oraliqlarining keltirilgan aktiv qarshiliklari, U_1 – manba kuchlanishi, U_{chiq} va U_{chiq} – chiqish kuchlanishlari.

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlardagi elektr yurituvchi kuchlar va toklar quyidagicha aniqlanadi;

$$\begin{aligned}
 U_1 &= -\varepsilon_1 + I_1 X_1 + I_1 R_1 & U'_{chiq} &= \varepsilon'_4 - I'_m X'_m \\
 0 &= \varepsilon_2 - I'_2 X'_2 - I'_2 \frac{R'_2}{s} & U''_{chiq} &= \varepsilon''_4 - I''_m X''_m \\
 0 &= \varepsilon'_3 - I'_3 X'_3 - I'_3 R'_3 & I_1 &= I'_m + I'_2 + I'_3 + I'_3 \quad (2.27) \\
 0 &= \varepsilon''_3 - I''_3 X''_3 - I''_3 R''_3 & I'_3 &= I'_m + I'_4 \\
 & & I''_3 &= I''_m + I''_4
 \end{aligned}$$

Almashtirish sxemasi va yuqoridagi tenglamalarga asosan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichi chiqish kuchlanishlarini kattaliklarini

aniqlashda, Park o'zgartirish tenglamalaridan foydalaniladi. Bunda uch fazali asinxron motorning (A, B, C) elektr kattaliklari to'g'ri, kvadratik va nol (dq0) kattaliklariga o'zgartiriladi, natijada asinxron motorning aylanish tezligini hisobga olgan holda modellashtirish imkoniyati mavjud bo'ladi (2.17-rasm).



2.17-rasm. Uch fazali asinxron motor (A, B, C) elektr kattaliklari to'g'ri, kvadratik va nol (dq0) kattaliklariga o'zgartirish.

Park o'zgartirish ifodalari orqali stator elektr kattaliklari bilan elektromagnit tok o'zgartkichdan chiquvchi signal kattaliklari quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi:

$$\begin{bmatrix} U_{q1} \\ U_{d1} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 \cos \theta & \cos \theta + \sqrt{3} \sin \theta \\ 2 \sin \theta & \sin \theta + \sqrt{3} \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{AB} \\ U_{BC} \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\cos \theta}{2} & \frac{\sin \theta}{2} \\ -\frac{\cos \theta + \sqrt{3} \sin \theta}{2} & -\frac{\cos \theta - \sqrt{3} \sin \theta}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{qi} \\ I_{di} \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

$$I_c = I_A + I_B \quad (2.30)$$

$$\begin{bmatrix} U_{qchiq} \\ U_{dchiq} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 \cos \beta & \cos \beta + \sqrt{3} \sin \beta \\ 2 \sin \beta & \sin \beta + \sqrt{3} \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{ab} \\ U_{bc} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\cos \beta}{2} & \frac{\sin \beta}{2} \\ -\frac{\cos \beta + \sqrt{3} \sin \beta}{2} & -\frac{\cos \beta - \sqrt{3} \sin \beta}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qi} \\ i_{di} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

$$i_c = i_a + i_b \quad (2.33)$$

bu yerda θ – asinxron motor aylanish chastotasining oniy burchagi, β – sezgir elementida hosil bo'luvchi kuchlanish chastotasining oniy burchagi.

Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining almashtirish sxemasiga asosan Matlab dasturidagi simulyatsion modeli quyidagicha;

$$\begin{aligned}
 U_{q1} &= R_1 i_{q1} + \frac{d}{dt} \varphi_{q1} + \omega \varphi_{d1} \\
 U_{d1} &= R_1 i_{d1} + \frac{d}{dt} \varphi_{d1} - \omega \varphi_{q1} \\
 U_{qchiq} &= R_3 i_{qi} + \frac{d}{dt} \varphi_{q1} + \omega \varphi_{q1} \\
 U_{dchiq} &= R_3 i_{d1} + \frac{d}{dt} \varphi_{d1} - \omega \varphi_{d1}
 \end{aligned}
 \tag{2.34}$$

Sezgir element xalqalaridan chiquvchi signal faza jihatdan manba kuchlanishidan β – burchakka ortda qoladi, burchakning qiymati yuklamaga to'g'ri proporsionalligi aniqlandi. Har bir faza uchun mos ikki sezgir element xalqalaridan chiquvchi kuchlanishlar bir-biriga nisbatan 180^0 ga farq qiladi. Har bir faza uchun mos bo'lgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlardan chiquvchi va 120^0 ga farq qiluvchi kuchlanishlar statorning nosimmetrik va nosinusoidal toklarini ifodalashi kelgusi tadqiqotlar uchun vazifa sifatida belgilash maqsadga muvofiq.

Ikkinchi bob bo'yicha xulosalar

1. Asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal tok kattaliklarini, har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalariga ega bo'lgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarining kirish kattaliklari hisoblangan stator toklarini I_A , I_B , va I_C , stator pazlariga mos tartibda joylashtirilgan sezgir element xalqalaridan chiquvchi signallarning soniga ko'ra mos tartibda uchta va oltita chiqish kuchlanishlariga o'zgarish jarayonining tadqiqot algoritmi va tarqoq parametrli modellari yaratildi.

2. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal tok kattaliklarini, har bir faza uchun mos bitta halqali yoki ikkita halqalarga ega bo'lgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarining magnit bo'laklaridagi magnit kattaliklar va parametrlarini tadqiq qilish imkonini beruvchi yig'iq parametrli tuzilmalari modellari va ularning tadqiqot analitik ifodalari shakllantirildi.

3. Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari nazorati va boshqaruvi uchun xar bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalaridan tashkil topgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich kattaliklari, parametrlarni o'zgarish jarayonlari va signal o'zgartirish tuzilmalariga signal o'zgartirish fizik-texnik effektlarning ta'siri tadqiq qilindi.

4. T-simon almashtirish sxemasi ko'ra asinxron motor uch fazali toklarni elektromagnitli o'zgartkichlarini Matlab dasturida chiqish elektr kattaliklarini aniqlashdagi nazariy hisob-kitoblar va asinxron motorning turli ish rejimlaridagi elektromagnit tok o'zgartkichi chiqish kuchlanishlarining parametrlarini aniqlash vaqtini qisqartiruvchi simulyatsion model yaratildi.

5. Filtr-kompensatsiya qurilmalarining har bir fazasi uchun mos ikki sezgir element xalqalaridan chiquvchi kuchlanishlar bir-biriga nisbatan 180° ga farq qilishi aniqlandi. Har bir faza uchun mos bo'lgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlardan chiquvchi va 120° ga farq qiluvchi kuchlanishlar asosida statorning nosimmetrik va nosinusoidal toklarini tadqiq etish analitik ifodasi shakllantirildi.

III-BOB. ASINXRON MOTOR REAKTIV QUVVATINING FILTR-KOMPENSATSIYA QURILMALARINING UCH FAZALI ELEKTROMAGNIT TOK O‘ZGARTKICHLARINI TAVSIFLARI

Tadqiq etilgan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichining matematik modellariga asosan aniqlangan natijalar, asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari nazorat va boshqaruvi uchun zarur hisoblanadi. Uch fazali asinxron motor tok o‘zgartkichining asosiy tavsiflariga uning statik va dinamik tavsiflari, o‘lchash aniqligi va sezgirligi kiradi.

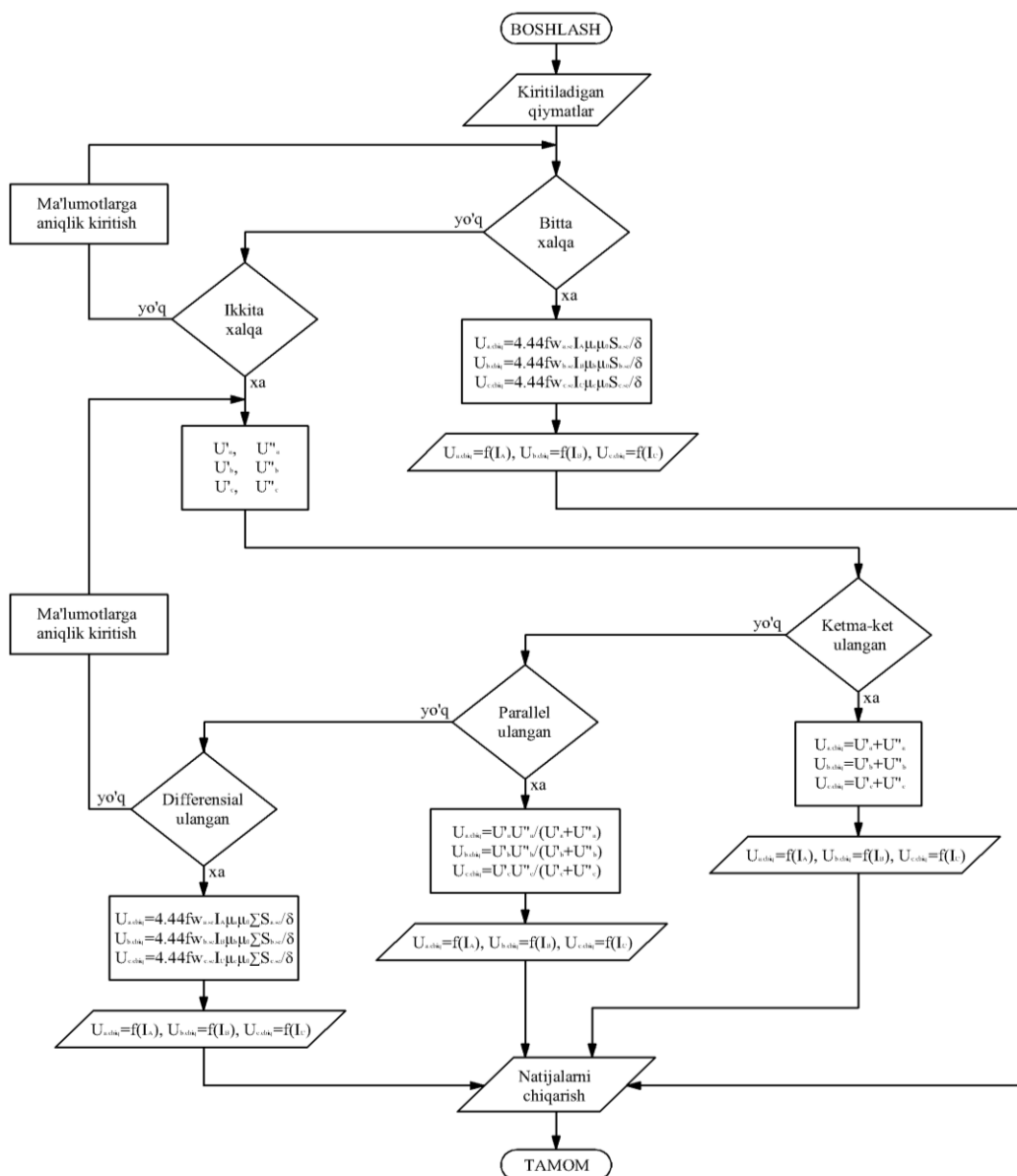
Ishlab chiqilgan fizik hamda matematik modellar yordamida, har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega bo‘lgan uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkich xalqalarini ulanish usullariga ko‘ra ketma-ket, parallel va differensial yoki bitta sezgir element xalqali uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarining chiqish signallarini asinxron motor stator tokiga bog‘liqligi, asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichining statik tavsiflarini tadqiq qilish orqali amalga oshiriladi.

3.1-§. Asinxron motor filtr-kompensatsiya qurilmalarining uch fazali tok o‘zgartkichlarini statik tavsiflari tadqiqoti

Tadqiqotlarga asosan asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorati va boshqaruvida mavjud bo‘lgan uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarning graflar nazariyasi asosida ishlab chiqilgan modelning analitik ifodalari va uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarining statik tavsiflarini tadqiq etish algortimiga asosan statik tavsiflar aniqlanadi (3.1-rasm).

Sezgir element o‘ramlarining soni chiqish signallariga to‘g‘ri proporsionalligi bois, ularning soni stator pazidagi chulg‘am va klin orasidagi boshliqning geometrik o‘lchamiga asosan tanlanadi va bundan tashqari nazorat va boshqaruv qurilmalari uchun sezgir elementdan me‘yorlangan chiqish kuchlanishi 5 V bo‘lgan signallarni olish talab etiladi. Statik tavsiflarni tadqiq etish algoritmidan har bir faza uchun mos

bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalariga ega, statorning qutublararo bo'shliqlariga joylashtirilgan, stator chulg'amlari bilan bir xil, o'zaro ketma-ket va parallel hamda stator chulg'amlari joylashgan pazlarga qarama-qarshi tartibda joylashtirilgan va differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarining chiqish kuchlanish signallarini stator tokiga bog'liqligi keltirilgan, elektromagnit tok o'zgartkichning statik tavsiflari asinxron motorning salt ishlash va yuklama rejimlari oralig'ida aniqlangan.



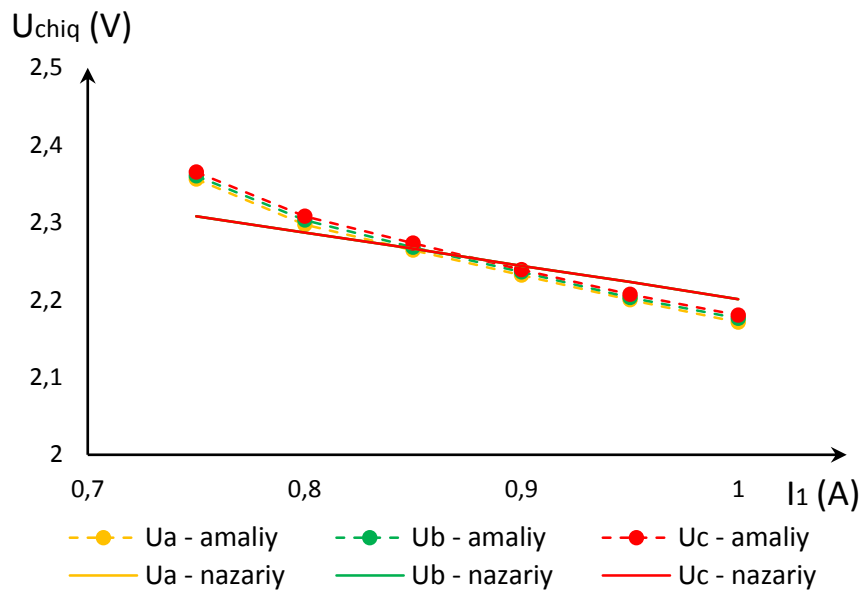
3.1-rasm. Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'gartkichlari statik tavsiflarini tadqiqot algoritmi.

Asinxron motor stator tokini ifodalovchi stator chulgʻamlari bilan mos tartibda joylashtirilgan va har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqasiga ega uch fazali elektromagnit tok oʻzgartkich chiqish kuchlanishlarining bogʻliqlik ifodasi quyida keltirilgan (A faza uchun).

$$U_a = \frac{4.44 f w_{se} I_A \mu \mu_0 S_{se}}{\delta} \quad (3.1)$$

bu yerda f – tarmoq chastotasi, I_A – stator toki, S_{se} – sezgir element xalqasining yuzasi, w_{se} – sezgir element chulgʻamining soni, δ – xavo oraligʻi, μ – magnit oʻtkazuvchanlik, μ_0 – magnit doimiysi.

Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqasiga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok oʻzgartkichining chiqish kuchlanish signallarini, stator tokiga bogʻliqligi 3.2-rasmda koʻrsatilgan.



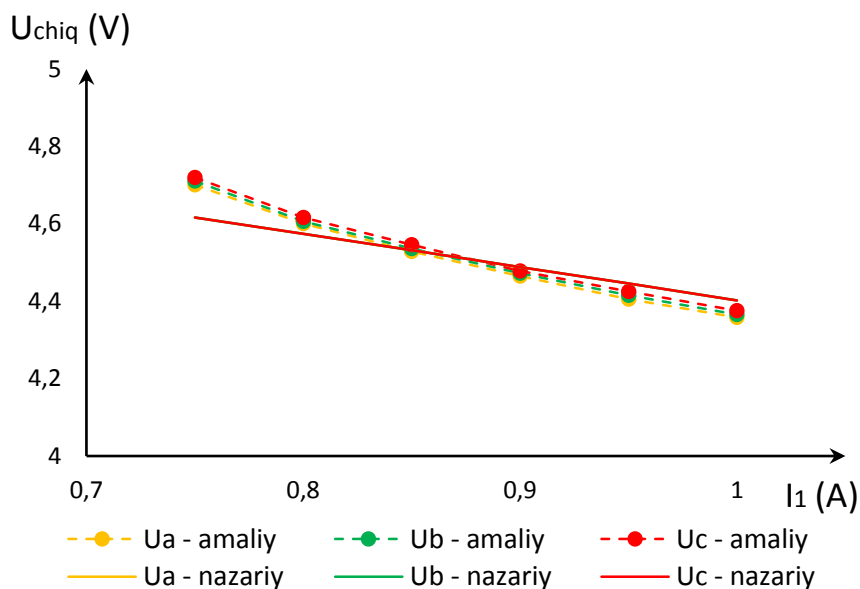
3.2-rasm. Stator toki va har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqasiga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok oʻzgartkich chiqish kuchlanishlari bogʻliqligining statik tavsifi.

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega, qutublararo joylashtirilgan va oʻzaro ketma-ket ulangan elektromagnit tok oʻzgartkichining statik tavsifi quyidagicha aniqlanadi (A faza uchun).

$$U_{chiq} = U'_a + U''_a = \frac{4.44 f I_A \mu_0}{\delta} (w'_{se} \mu' S'_{se} + w''_{se} \mu'' S''_{se}) \quad (3.2)$$

bu yerda f – tarmoq chastotasi, I_A – stator toki, U'_a , U''_a – sezgir elementlardan chiquvchi kuchlanishlar, S'_{se} , S''_{se} – sezgir element xalqalarining yuzalari, w'_{se} , w''_{se} – sezgir element chulgʻamlarining soni, δ – xavo oraligʻi qiymati, μ – magnit oʻtkazuvchanlik, μ_0 – magnit doimiysi.

Qutublararo joylashtirilgan va ketma-ket ulangan ikkita sezgir element xalqali asinxron motor uch fazali elektromagnit tok oʻzgartkichining chiqish signallarini, stator tokiga bogʻliqligi 3.3-rasmda koʻrsatilgan.

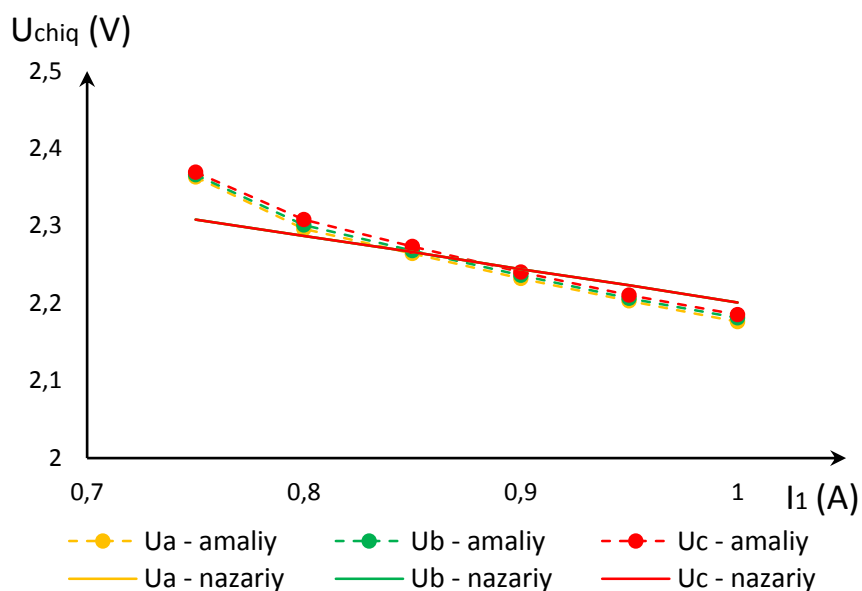


3.3-rasm. Stator toki va ikkita sezgir element xalqalariga ega ketma-ket ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok oʻzgartkich chiqish signallari bogʻliqligining statik tavsifi.

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega, qutublararo joylashtirilgan va oʻzaro parallel ulangan elektromagnit tok oʻzgartkichining statik tavsifi quyidagicha aniqlanadi (A faza uchun).

$$U_{chiq} = \frac{U'_a U''_a}{U'_a + U''_a} = \frac{4.44 f I_A \mu_0 w'_{se} \mu' S'_{se}}{(w'_{se} \mu' S'_{se} + w''_{se} \mu'' S''_{se}) \delta} w''_{se} \mu'' S''_{se} \quad (3.3)$$

Ikkita sezgir element xalqali, statorning qutublararo pazlariga joylashtirilgan va parallel ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining chiqish signallarini stator tokiga bog'liqligi 3.4-rasmda ko'rsatilgan.



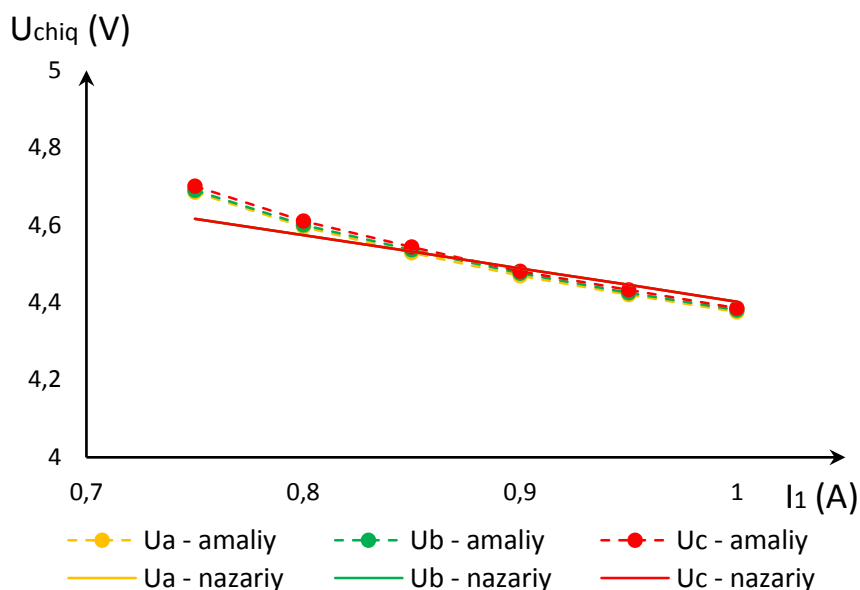
3.4-rasm. Stator toki va ikkita sezgir element xalqalariga ega parallel ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish signallari bog'liqligining statik tavsifi.

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega, stator chulg'am xalqalariga joylashgan pazlarga mos, qarama-qarshi joylashtirilgan va o'zaro differensial ulangan elektromagnit tok o'zgartkichining statik tavsifi quyidagicha aniqlanadi (A faza uchun).

$$U_{chiq} = \frac{4.44 w_{se} f I_A \mu \mu_0 \sum S_{se}}{\delta} \quad (3.4)$$

bu yerda $\sum S$ – sezgir elementlar yuzalarining yig'indisi.

Ikkita sezgir element xalqalariga ega, pazlararo joylashtirilgan va differensial sxemada ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining chiqish signallarini, stator tokiga bog'liqligi 3.5-rasmda ko'rsatilgan.



3.5-rasm. Stator toki va sezgir element xalqalari differensial ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish kuchlanishlari bog'liqligining statik tavsifi.

Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining statik tavsiflari orqali chiqish tavsiflarining chiziqchiligi, metrologik ko'rsatkichlari va elektromagnit tok o'zgartkichning sezgirligi kabi bir nechta ko'rsatkichlar aniqlanadi.

Tadqiq etilgan statik tavsiflarga asosan har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalariga ega bo'lgan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlari chiqish signallarining adekvatligi quyidagicha aniqlandi.

Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqasiga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish kuchlanish signalining adekvatligi quyidagicha (A faza uchun):

$$\delta = \left| \frac{U_{amaliy} - U_{nazariy}}{U_{amaliy}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{2.356 - 2.308}{2.356} \right| \cdot 100\% = 2.037\%$$

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqasiga ega va ketma-ket ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish kuchlanish signalining adekvatligi quyidagicha (A faza uchun):

$$\delta = \left| \frac{U_{\text{amaliy}} - U_{\text{nazariy}}}{U_{\text{amaliy}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{4.7 - 4.616}{4.7} \right| \cdot 100\% = 1.787\%$$

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqasiga ega va parallel ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish kuchlanish signalining adekvatligi quyidagicha (A faza uchun):

$$\delta = \left| \frac{U_{\text{amaliy}} - U_{\text{nazariy}}}{U_{\text{amaliy}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{2.363 - 2.308}{2.363} \right| \cdot 100\% = 2.327\%$$

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqasiga ega va differensial ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish kuchlanish signalining adekvatligi quyidagicha (A faza uchun):

$$\delta = \left| \frac{U_{\text{amaliy}} - U_{\text{nazariy}}}{U_{\text{amaliy}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{4.685 - 4.616}{4.685} \right| \cdot 100\% = 1.472\%$$

Olib borilgan tadqiqot natijalariga asosan har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqasiga, stator chulg'amlari joylashgan pazlarga qarama-qarshi joylashtirilgan va differensial asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich signallarining adekvatlik ko'rsatkichi yuqori ekanligi aniqlandi.

Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich statik tavsiflarini aniqlash tadqiqot algoritmi (3.1-rasm) asosida asinxron motor reaktiv quvvatining nosinusoidal va nosimmetrik ko'rsatkichlari nazorati uchun Windows operatsion tizimida ishlovchi model yaratildi va ushbu model dasturi uchun Intellektual mulk agentligi tomonidan elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturga guvohnoma olindi (№ DGU 20213).

3.2-§. Filtr-kompensatsiya qurilmalaridagi uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarining tadqiqot algoritmi va dinamik tavsiflari

Chiqish signallarining qiymatlarini vaqtga bog'liqlik tavsiflariga asosan asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari nazorati va boshqaruvi uchun uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarini tadqiq qilish muhim hisoblanadi. Asinxron motor va sezgir element parametrlari hamda chiqish kuchlanish signallarining vaqtga bog'liq ravishda o'zgarishi dinamik tavsiflar orqali aniqlanadi.

Dinamik tavsiflar elektromagnit tok o'zgartkichning graf modeli yordamida shakllantirilgan ifodalarni, FTE larni va asinxron motorning turli ish rejimlaridagi elektromagnit tok o'zgartkichining tavsiflarini birlashtirgan holatda nazariy va amaliy tadqiqotlarni olib borish uchun imkoniyati mavjud bo'ladi. Asinxron motor elektromagnit tok o'zgartkichining dinamik tavsiflarini tadqiq qilish orqali, o'tkinchi jarayonlar sababli yuzaga keluvchi nochiziqli signallarning xususiyatlarini va tavsiflarini o'rganish muhim hisoblanadi, chunki nochiziqli va nomutanosib signallar nazorat va boshqaruv qurilmasining ish faoliyatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Elektromagnit tok o'zgartkichga ta'sir ko'rsatuvchi turli xususiyatga ega bo'lgan miqdorlarning o'zaro ta'sirini inobatga olgan holda sezgir elementdan chiquvchi kuchlanish signalining dinamik tavsiflari o'rganiladi, chiqish signallarini xarakterlovchi va o'tish jarayonlarini ifodalovchi differensial tenglamalar tuziladi. Asinxron motor elektromagnit tok o'zgartkichining dinamik tavsiflarini aniqlash nazariy hisob-kitoblar ya'ni, shakllantirilgan graf model, uning analitik ifodalari, Matlab dasturi yordamida ishlab chiqilgan simulyatsion modellar hamda zamonaviy texnologiyalar orqali amaliy aniqlanadigan natijalar asosida olib boriladi.

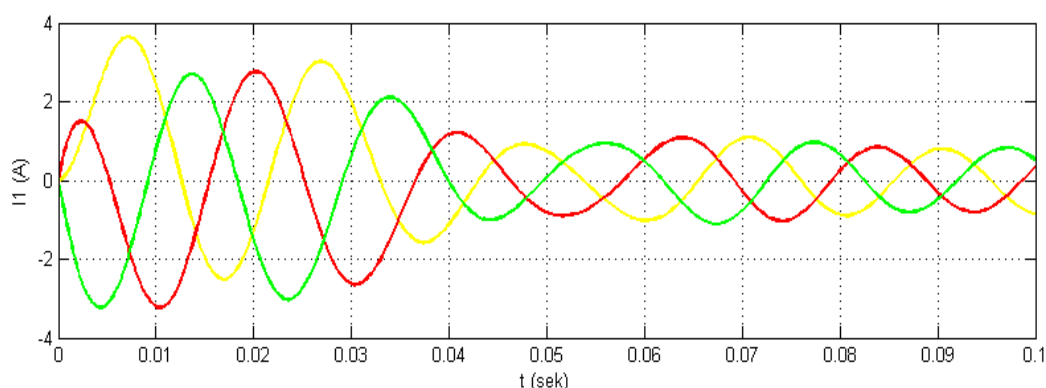
Elektromagnit tok o'zgartkich sezgir elementlarining soni va ulanish sxemasiga asosan asinxron motorning elektr va elektromagnit jarayonlarini tahlil qilish asosida dinamik jarayonlarni to'la tadqiq etishga erishiladi. Bunda bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalariga ega ketma-ket, parallel va

differential ulangan elektromagnit tok o'zgartkichlarining dinamik tavsiflarini aniqlash va ularni solishtirish muhim hisoblanadi.

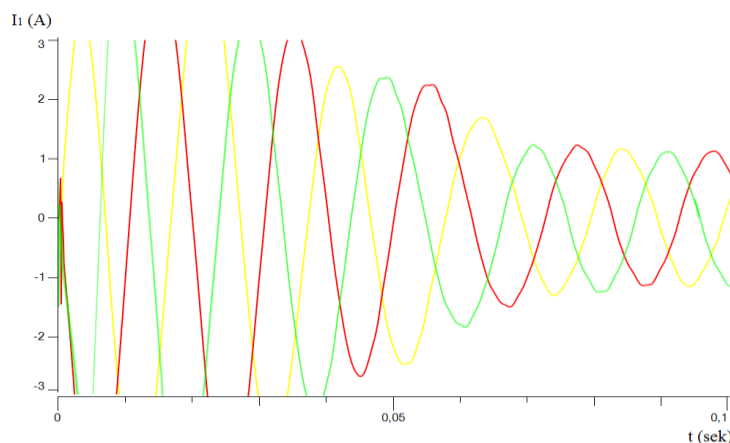
Asinxron motor filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat va boshqaruvi uchun uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarini har bir fazasi uchun mos bo'lgan sezgir element chulg'amlarining soni bir-biriga teng qiymatda olinadi, natijada fazalararo hosil bo'luvchi amplituda va faza nosimmetriyalarini aniqlash imkoniyati mavjud bo'ladi.

Dinamik tavsiflarni tadqiq etishda nominal quvvati $P=250$ W bo'lgan 4A63 tipli, stator chulg'amlari yulduz shaklida ulangan asinxron motor olingan. Stator chulg'amining aktiv qarshiligi $R_1=38.51$ Om, induktiv qarshiligi $X_1=21.05$ Om, rotorning keltirilgan aktiv qarshiligi $R'_2=35.94$ Om, keltirilgan induktiv qarshiligi $X'_2=21.05$ Om, magnitlanish qarshiligi $X_\mu=359.43$ Om, stator chulg'amlarining o'ramlar soni $w_1=169$ ta, nominal aylanishlar soni $n=1380$ ayl/min.

Asinxron motorning nominal kattalik qiymatlarida, stator toklari $t=0.07 \div 0.075$ sek vaqt oralig'ida turg'unlikka erishishi aniqlandi. Stator toklarini turg'unlikka erishish vaqtini Matlab dasturida shakllantirilgan simulyatsion model va CASSYLAB qurilmasi yordamida amaliy aniqlangan ossilogrammalar orqali ko'rish mumkin (3.6-rasm, 3.7-rasm).



3.6-rasm. Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichini almashtirish sxemasi orqali Matlab dasturi yordamida aniqlangan stator toklarining dinamik tavsifi.



3.7-rasm. CASSYLAB qurilmasi orqali amaliy aniqlangan stator toklarining dinamik tavsifi.

Asinxron motorning uch fazali stator toklari $i_A(t), i_B(t), i_C(t)$ hosil qilgan magnit oqimlar natijasida sezgir elementlardan $u_{a.chiq}(t), u_{b.chiq}(t), u_{c.chiq}(t)$ chiqish kuchlanish sigallari olinadi. Har bir fazadagi chiqish kuchlanishga qolgan ikki fazadagi magnit oqimlar ham o'z ta'sirini ko'rsatadi. Bitta sezgir element xalqaga ega va sezgir elementning parametrlariga bog'liq ravishda elektromagnit tok o'zgartkichdan chiquvchi kuchlanishlar quyidagicha:

$$\begin{aligned}
 u_{a.chiq}(t) &= -R_{a.se} \cdot i_{a.se}(t) - L_{a.se} \frac{di_{a.se}(t)}{dt} + w_{se} \left(\frac{d\Phi_b(t)}{dt} + \frac{d\Phi_c(t)}{dt} \right); \\
 u_{b.chiq}(t) &= -R_{b.se} \cdot i_{b.se}(t) - L_{b.se} \frac{di_{b.se}(t)}{dt} + w_{se} \left(\frac{d\Phi_c(t)}{dt} + \frac{d\Phi_a(t)}{dt} \right); \\
 u_{c.chiq}(t) &= -R_{c.se} \cdot i_{c.se}(t) - L_{c.se} \frac{di_{c.se}(t)}{dt} + w_{se} \left(\frac{d\Phi_a(t)}{dt} + \frac{d\Phi_b(t)}{dt} \right);
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

bu yerda $R_{a.se}, R_{b.se}, R_{c.se}, L_{a.se}, L_{b.se}, L_{c.se}$ – stator chulg'aming har bir fazasini aktiv qarshiliklari va induktivliklari, w_{se} – sezgir element chulg'amlarining o'ramlar soni, $i_{a.se}, i_{b.se}, i_{c.se}$ – sezgir elementlarning har bir fazasidagi toklar.

Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqasiga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich graf modeli orqali chiqish kuchlanishlarining dinamik tavsiflarini aniqlash matematik ifodalari quyida keltirilgan:

$$\begin{cases} U_{a.chiq} = K_{U_{a.chiq}F_{\mu}} W(F_{\mu s}, F_{\mu x}) K_{I_{AF_{\mu}}} \left(I_{A.d} \sin \omega t + I_{A.n} e^{-\frac{t}{T}} \right) \\ U_{b.chiq} = K_{U_{b.chiq}F_{\mu}} W(F_{\mu s}, F_{\mu x}) K_{I_{BF_{\mu}}} \left(I_{B.d} \sin(\omega t + 120^0) + I_{B.n} e^{-\frac{t}{T}} \right) \\ U_{c.chiq} = K_{U_{c.chiq}F_{\mu}} W(F_{\mu s}, F_{\mu x}) K_{I_{CF_{\mu}}} \left(I_{C.d} \sin(\omega t - 120^0) + I_{C.n} e^{-\frac{t}{T}} \right) \end{cases} \quad (3.6)$$

bu yerda $I_{A.d}$, $I_{B.d}$, $I_{C.d}$, $I_{A.n}$, $I_{B.n}$, $I_{C.n}$ – statorning har bir faza toklarini davriy va nodavriy tashkil etuvchi qiymatlari.

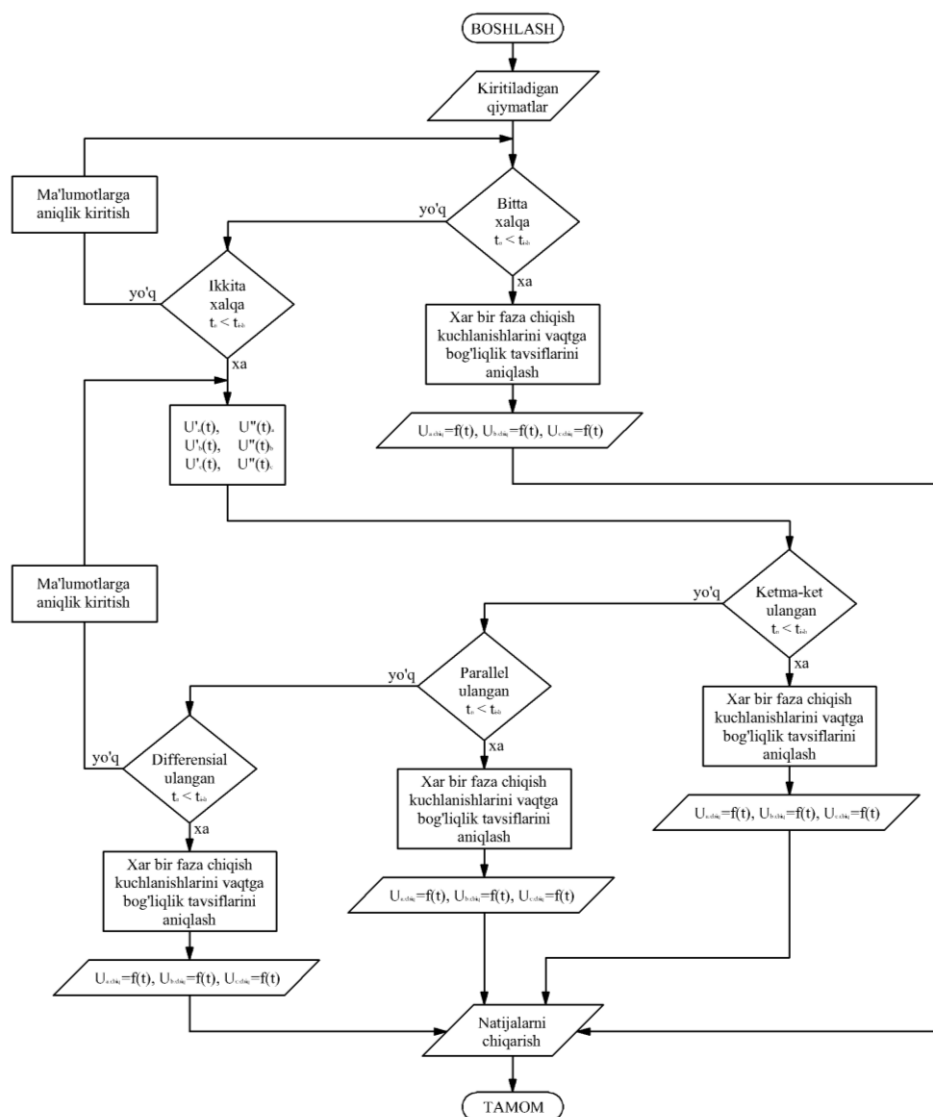
Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkich graf modeli orqali aniqlangan matematik ifodalar yordamida chiqish kuchlanishlarining dinamik tavsifini aniqlash quyida keltirilgan:

$$\begin{cases} U'_{a.chiq} = K_{U'_{a.chiq}F_{\mu}} W(F'_{\mu s}, F'_{\mu x}) K_{I_{AF_{\mu}}} \left(I_{A.d} \sin \omega t + I_{A.n} e^{-\frac{t}{T}} \right) \\ U''_{a.chiq} = K_{U''_{a.chiq}F_{\mu}} W(F''_{\mu s}, F''_{\mu x}) K_{I_{AF_{\mu}}} \left(I_{A.d} \sin(\omega t - 180^0) + I_{A.n} e^{-\frac{t}{T}} \right) \\ U'_{b.chiq} = K_{U'_{b.chiq}F_{\mu}} W(F'_{\mu s}, F'_{\mu x}) K_{I_{BF_{\mu}}} \left(I_{B.d} \sin(\omega t + 120^0) + I_{B.n} e^{-\frac{t}{T}} \right) \\ U''_{b.chiq} = K_{U''_{b.chiq}F_{\mu}} W(F''_{\mu s}, F''_{\mu x}) K_{I_{BF_{\mu}}} \left(I_{B.d} \sin(\omega t - 60^0) + I_{B.n} e^{-\frac{t}{T}} \right) \\ U'_{c.chiq} = K_{U'_{c.chiq}F_{\mu}} W(F'_{\mu s}, F'_{\mu x}) K_{I_{CF_{\mu}}} \left(I_{C.d} \sin(\omega t - 120^0) + I_{C.n} e^{-\frac{t}{T}} \right) \\ U''_{c.chiq} = K_{U''_{c.chiq}F_{\mu}} W(F''_{\mu s}, F''_{\mu x}) K_{I_{CF_{\mu}}} \left(I_{C.d} \sin(\omega t - 300^0) + I_{C.n} e^{-\frac{t}{T}} \right) \end{cases} \quad (3.7)$$

bu yerda $I_{A.d}$, $I_{B.d}$, $I_{C.d}$, $I_{A.n}$, $I_{B.n}$, $I_{C.n}$ – statorning har bir faza toklarini davriy va nodavriy tashkil etuvchi qiymatlari.

Asinxron motorning o‘tkinchi jarayonida uning reaktiv quvvati ham turg‘un bo‘lmagan holda bo‘ladi. Uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichning chiqish

kuchlanish kattaligiga asinxron motorning elektr, elektromagnit mexanik parametrlari ta'sir ko'rsatadi. Stator pazalariga joylashtirilgan sezgir element xalqalarini soni, ularning o'zaro ulanish usullari va joylashish holati elektromagnit tok o'zgartkichning sezgirlikini va chiquvchi signallarning aniqligini bevosita baholaydi.

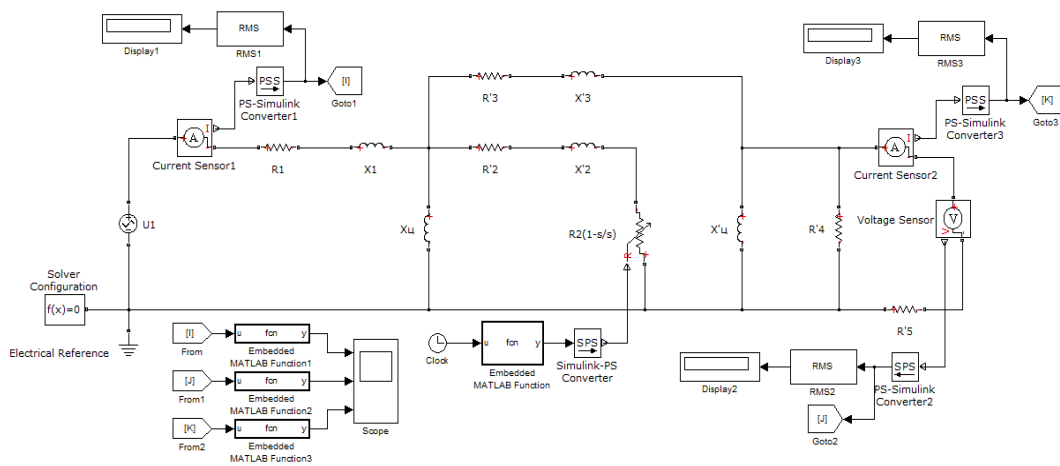


3.8-rasm. Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining dinamik tavsiflarini tadqiq qilish algoritmi.

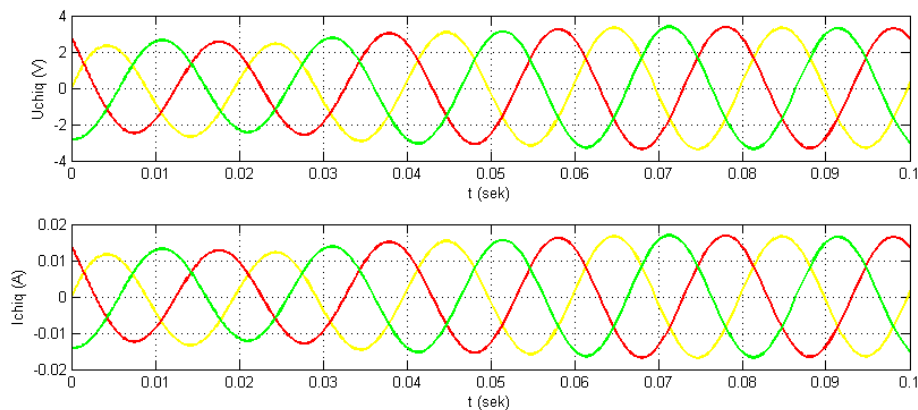
Dinamik tavsiflarni ko'rsatuvchi algoritimga asosan stator chulg'amlari har bir fazasi uchun mos bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalariga ega uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarining dinamik tavsiflari tadqiq

etilgan. Chiqish signallarining turg'unlikka erishish vaqti, xalqalarning stator pazlarida joylashishi va ulanish usullari orqali har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali hamda ikkita sezgir element xalqlariga ega bo'lgan ketma-ket, parallel va differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarning dinamik tavsiflari aniqlash keltirib o'tilgan (3.8-rasm).

Yuqorida keltirilgan ifodalar va algoritm asosida har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning almashtirish sxemasiga asosan Matlab dasturida ishlab chiqilgan simulyatsion modeli va ular orqali aniqlangan dinamik tavsiflari quyida keltirilgan;

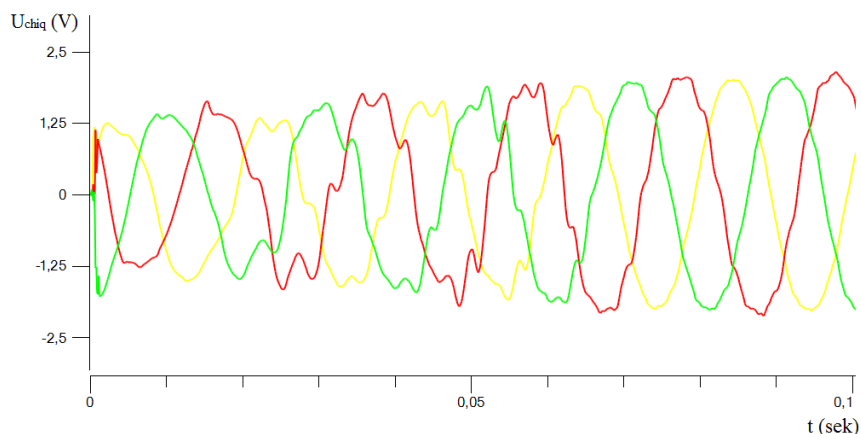


3.9-rasm. Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichni Matlab dasturi yordamida dinamik tavsiflarini tadqiq qilish modeli.



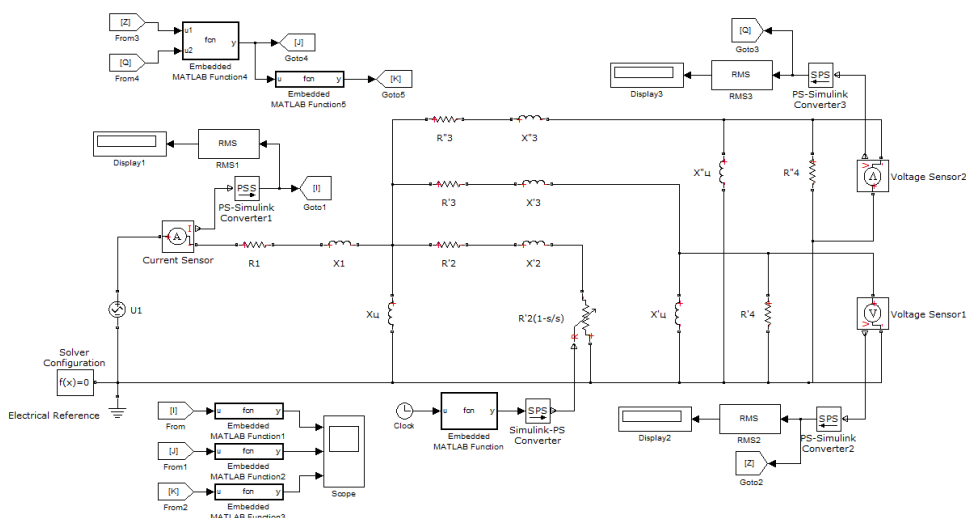
3.10-rasm. Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichni Matlab dasturi yordamida aniqlangan dinamik tavsiflari.

Stator pazlariga joylashtirilgan har bir fazasi uchun mos, bitta xalqaga ega uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichni nominal kattaliklar asosida, CASSYLAB qurilmasi orqali aniqlangan chiqish kuchlanishlarining vaqtga bog'liqlik grafigi keltirilgan (3.11-rasm).

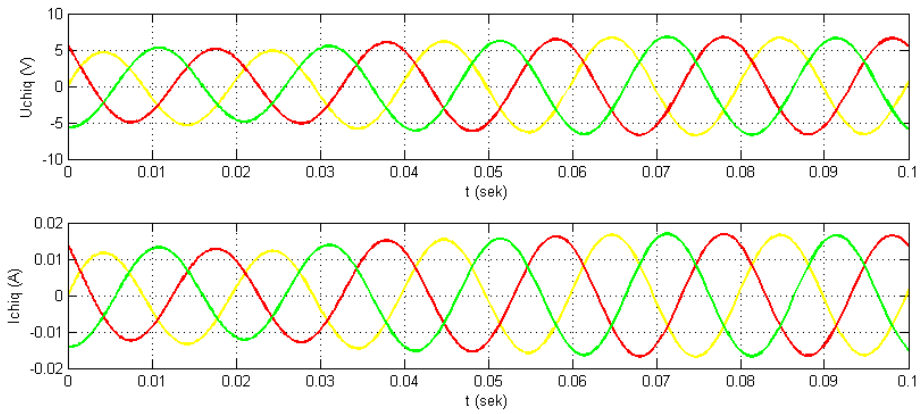


3.11-rasm. CASSYLAB qurilmasi orqali amaliy aniqlangan chiqish kuchlanishining vaqtga bog'liqlik grafigi.

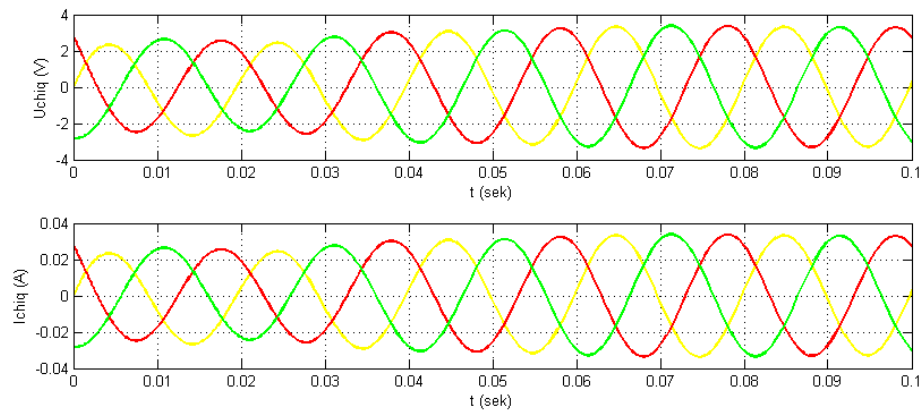
Matlab dasturida yordamida ishlab chiqilgan, stator chulg'amlari bilan mos va qutublararo joylashtirilgan ikkita sezgir element xalqalari ketma-ket va parallel ulangan hamda stator chulg'amlari joylashgan pazlarga qarama-qarshi joylashtirilgan va differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarni tadqiq qilish simulyatsion modeli va ularning dinamik tavsiflari quyida keltirilgan;



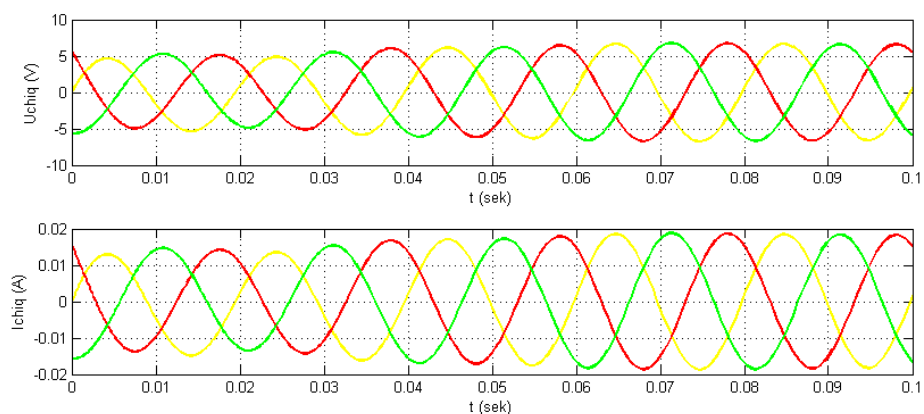
3.12-rasm. Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqlariga ega uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichni Matlab dasturi yordamida dinamik tavsiflarini tadqiq qilish modeli.



3.13-rasm. Sezgir element xalqlari ketma-ket ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning Matlab dasturi yordamida aniqlangan dinamik tavsiflari.

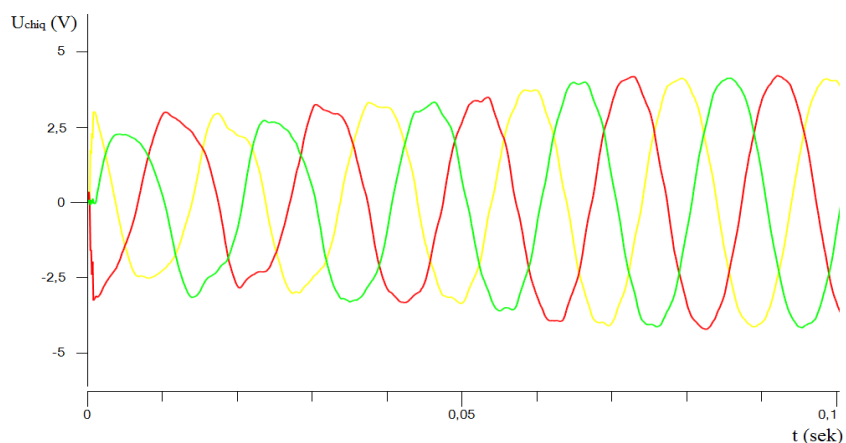


3.14-rasm. Sezgir element xalqlari parallel ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning Matlab dasturi yordamida aniqlangan dinamik tavsiflari.

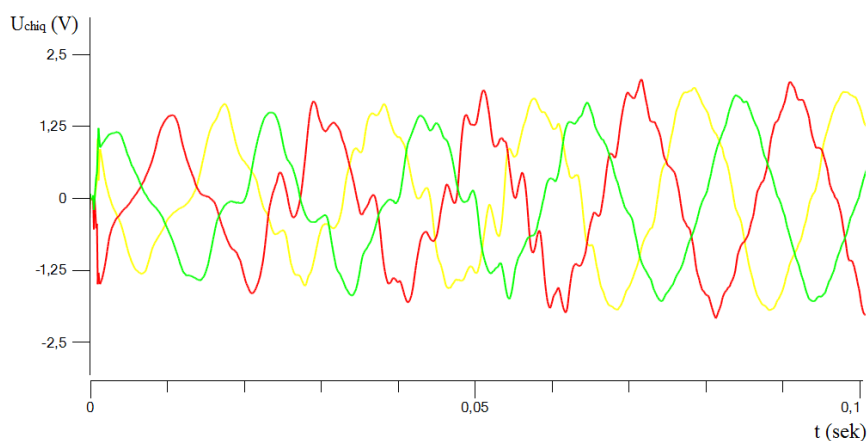


3.15-rasm. Sezgir element xalqlari differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning Matlab dasturi yordamida aniqlangan dinamik tavsiflari.

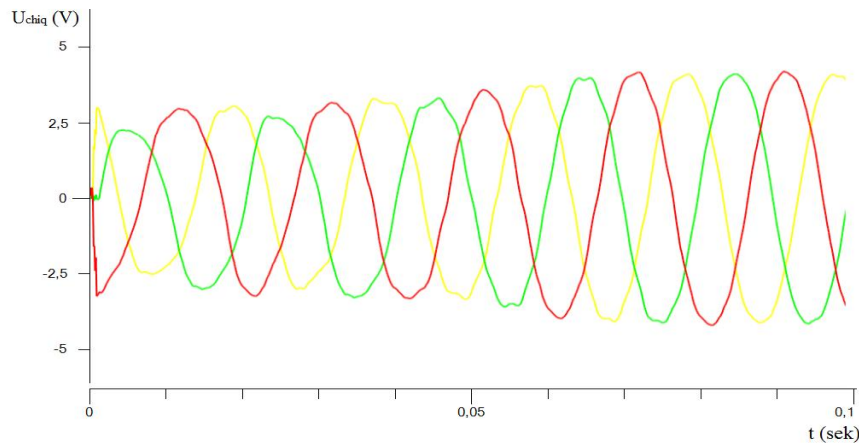
Stator pazlariga joylashtirilgan har bir fazasi uchun mos va ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining xalqalarini ketma-ket, parallel va differensial ulangan va nominal kattaliklar asosida, CASSYLAB qurilmasi orqali aniqlangan chiqish kuchlanishlarining vaqtga bog'liqlik grafiklari quyida keltirilgan (3.16-rasm, 3.17-rasm, 3.18-rasm).



3.16-rasm. Sezgir element xalqalari ketma-ket ulangan, uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning CASSYLAB qurilmasi orqali amaliy aniqlangan chiqish kuchlanishlarining vaqtga bog'liqlik grafigi.



3.17-rasm. Sezgir element xalqalari parallel ulangan, uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning CASSYLAB qurilmasi orqali amaliy aniqlangan chiqish kuchlanishlarining vaqtga bog'liqlik grafigi.



3.18-rasm. Sezgir element xalqalari differensial ulangan, uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning CASSYLAB qurilmasi orqali amaliy aniqlangan chiqish kuchlanishlarining vaqtga bog'liqlik grafigi.

Asinxron motorning ishga tushish vaqtida rotorning aylanishlar soni va stator chulg'amlarining induktivligi bois stator toklarini bir necha barobar oshishi kuzatiladi, rotor ayanishlar sonining nominalga yaqinlashishi va magnit oqimlarning ilashishi natijasida stator toklari sinusoidal ko'rinishga ega bo'ladi.

Nazariy hisob-kitoblar, Matlab dasturining simulyatison modeli va CASSYLAB qurilmasi orqali amaliy aniqlangan natijalar va grafiklar asosida asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining bitta sezgir element xalqali va ikkita sezgir element xalqalariga ega bo'lgan ketma-ket, parallel hamda differensial ulagan sezgir elementlardan chiquvchi kuchlanishlar $U_{chiq}=f(t)$ va stator toklarining $I_1=f(t)$ vaqtga bog'liqlik tavsiflari asosida asinxron motor nominal yuklamadagi ishga tushish vaqti asinxron motorning parametrlariga bog'liq ravishda $t=0.07-0.075$ sekunddan so'ng turg'un holatga erishishi aniqlandi.

Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning dinamik tavsifi, 3.11-rasmga asosan chiqish kuchlanishlarining miqdor jihatdan kichikligini va yuqori garmonikalarning chiqish signalining sinusoidallik shakliga ta'sirini va chiqish kuchlanishining turg'unlikka erishish vaqti $t=0.068$ sekunt ekanligini ko'rishimiz mumkin.

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalarini ketma-ket ulanishidan hosil bo'lgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning CASSYLAB qurilmasi orqali amaliy aniqlangan dinamik tavsifi, 3.16-rasmga asosan chiqish kuchlanishlarining me'yoriy 5 V ga yaqinligini, chiqish kuchlanishining turg'unlikka erishish vaqti $t=0.04$ sekunt ekanligini va asinxron motorni ishga tushish vaqtida uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning chiqish signaliga yuqori garmonikalarning ta'siri bitta xalqali tok o'zgartkichga nisbatan kamligini ko'rishimiz mumkin.

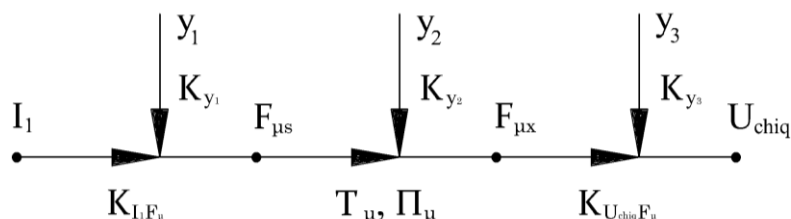
Statorning qutublararo boshliqlariga joylashtirilgan ikkita sezgir element xalqalariga ega va parallel ulangan elektromagnit tok o'zgartkich chiqish signaligining amaliy olingan dinamik tavsifi 3.17-rasmga asosan chiqish kuchlanishi bitta xalqaga ega elektromagnit tok o'zgartkichning chiqish kuchlanishi bilan tengligini, yuqori garmonikalarning chiqish signaliga ta'sirini va turg'unlikka erishish vaqti $t=0.072$ sekunt ekanligini aniqlandi.

Stator chulg'amlari joylashgan pazalarga joylashtirilgan va differensial ulangan ikkita sezgir element xalqalariga ega 3.18-rasmga asosan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish signalining aniqlangan dinamik tavsifi chiqish kuchlanishlarining qiymati, xalqalari ketma-ket ulangan tok o'zgartkich signallari bilan tengligini, yuqori garmonikalarning chiqish signallariga ta'sirini kamligini va turg'unlikka erishish vaqtini $t=0.033$ sekunt ekanligini ko'rishimiz mumkin.

Tadqiqotlar natijalari orqali shunday xulosaga kelamizki, ikkita sezgir element xalqalariga ega, stator chulg'amlari joylashgan pazlarga qarama-qarshi joylashtirilgan va differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning chiqish signallarini turg'unlikka erishish vaqti qisqa ekanligi va yuqori garmonika toklarini chiqish kuchlanish signallariga ta'siri kamligi aniqlandi. Tadqiq etilgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarning chiqish kuchlanish signallari reaktiv quvvatni ifodalashi sababli asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari nazorat va boshqaruvi uchun uch fazali toklarni elektromagnit o'zgartkichlari sifatida foydalanish o'z samarasini beradi.

3.3-§. Uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarning texnik va metrologik ko‘rsatkichlari

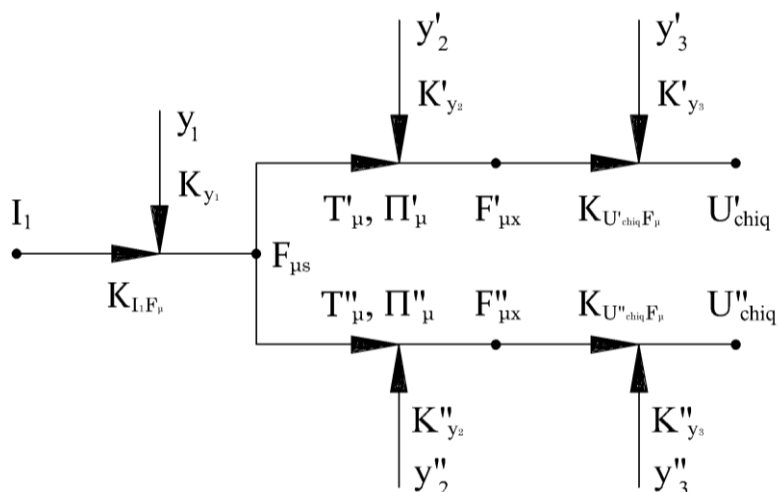
Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarining xatoliklarini taxlil qilish uchun, stator tokini chiqish kuchlanishiga o‘zgarish jarayonining umumlashtirilgan graf modelidan foydalaniladi.



3.19-rasm. Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichining umumlashtirilgan graf modeli.

Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqasiga ega bo‘lgan uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichning kirish kattaligi hisoblangan I_1 stator toki, K_{I,F_μ} koeffitsient orqali, $F_{\mu s}$ stator magnet o‘zagida hosil bo‘luvchi magnet yurituvchi kuchga o‘zgaradi, so‘ngra T_μ, Π_μ zanjirning tuzilmasi orqali statordagi magnet yurituvchi kuch, $F_{\mu x}$ xavo oralig‘ida hosil bo‘luvchi magnet yurituvchi kuchga o‘zgaradi, xavo oralig‘idagi magnet yurituvchi kuch esa K_{U_{chiq},F_μ} zanjirlararo aloqa koeffitsienti orqali chiqish kattaligi bo‘lgan U_{chiq} kuchlanishga o‘zgaradi.

Sezgir element xalqalarining soni ikkita bo‘lgan elektromagnit tok o‘zgartkichida ham kirish kattaligi I_1 stator toki, K_{I,F_μ} koeffitsient orqali, statorda hosil bo‘luvchi $F_{\mu s}$ va $F_{\mu s}^*$ magnet yurituvchi kuchlarga o‘zgaradi, so‘ngra T_μ, Π_μ va T_μ^*, Π_μ^* zanjirning tuzilmalari orqali statordagi magnet yurituvchi kuchlar mos ravishda $F_{\mu x}$ va $F_{\mu x}^*$ xavo oralig‘ida hosil bo‘luvchi magnet yurituvchi kuchlarga o‘zgaradi, xavo oralig‘idagi magnet yurituvchi kuchlar K_{U_{chiq},F_μ} va K_{U_{chiq},F_μ}^* zanjirlararo aloqa koeffitsientlari orqali chiqish kattaligi bo‘lgan U_{chiq} va U_{chiq}^* kuchlanishlarga o‘zgaradi.



3.20-rasm. Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining umumlashtirilgan graf modeli.

Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning axborot grafli modeliga y_1, y_2, y_3 ta'sir etuvchi mustaqil o'zgaruvchilar kiritilgan va bu o'zgaruvchilar kirish kattaligi bo'lgan I_1 stator tokini chiqish kuchlanish signali U_{chiq} ga o'zgarish zanjirida mos ravishda K_{y1}, K_{y2}, K_{y3} koeffitsientlar orqali aks ettirilgan. Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich axborot grafli modellarida esa har bir xalqa uchun mos bo'lgan y'_2, y''_2, y'_3, y''_3 ta'sir etuvchi mustaqil o'zgaruvchilar kiritilgan bu o'zgaruvchilar ham mos ravishda $K'_{y2}, K''_{y2}, K'_{y3}, K''_{y3}$ koeffitsientlar orqali aks ettirilgan.

Uch fazali elektromagnitli tok o'zgartkichlarning xatoliklarini o'rganish va tahlil qilish uchun axborot grafli model bilan bir qatorda o'lchov qurilmalarining axborot nazariyasiga tegishli bo'lgan qoidalardan foydalanish samarali hisoblanadi.

Uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning entropiyalik xatoligi Δ_E o'lchov qurilmalarining axborot nazariyasiga asosan aniqlanadi, K_E entropiya koeffitsientlari ehtimolliklarning zichligiga, taqsimot qonunlarning turlariga bog'liq bo'ladi.

Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari nazorat va boshqaruvidagi uch fazali toklarni elektromagnit tok o'zgartkichlarining o'rtacha kvadratik xatolik qiymati σ_{Σ} quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2} \quad (3.8)$$

bu yerda $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ – Har bir elementning o'rtacha kvadratik xatoliklari.

Elektromagnit tok o'zgartkichning entropiyali xatoligi entropiya koeffitsienti va o'rtacha kvadratik xatolik qiymatlariga bog'liq bo'lib u quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta_E = K_E \cdot \sigma_{\Sigma} \quad (3.9)$$

Elektromagnit tok o'zgartkich chiqish signallarining xatoliklariga harorat, elektr va elektromagnit magnit maydonlar, namlik, statorda hosil bo'luvchi nosimmetrik va nosinusoidal kattaliklar va shuningdek a'loqa koeffitsientlariga ta'sir ko'rsatuvchi elektr va magnit o'tkazgich materiallarining fizik hossalari ta'sir ko'rsatadi.

Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning xatoliklarini baholash uchun har bir qism xatoliklari alohida ko'rib chiqiladi.

1. $I_1 - F_{\mu s}$ tok kuchini stator o'zagida hosil bo'luvchi magnit yurituvchi kuchga o'zgartirish zanjiridagi xatolikning $\sigma_1=0,1$ ($\pm 0,1\%$ – dastlabki nominal qiymatdan) chegaraviy miqdori;

2. $F_{\mu s} - F_{\mu x}$ stator o'zagida hosil bo'luvchi magnit yurituvchi kuchni, xavo oralig'idagi magnit yurituvchi kuchga o'zgartirish zanjiridagi xatolik uchun $\sigma_2=0,1$;

3. $F_{\mu x} - U_{chIQ}$ xavo oralig'idagi magnit yurituvchi kuchni, sezgir elementdan chiquvchi kuchlanishga o'zgartirish zanjiridagi xatolik uchun $\sigma_3=0,1$;

4. Sezgir element xalqalarining ulanish sxemasi uchun $\sigma_4=0,1$;

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} = \sqrt{0,1^2 + 0,1^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = 0,2$$

Xatoliklarni barcha tashkil etuvchilarini additiv va multiplikativ xatoliklarga ajratamiz va ularning hosil bo'lish ehtimolligining o'rtacha kvadratik og'ishi taqsimot qonuniga muvofiq aniqlanadi.

Bitta sezgir element xalqali uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich uchun Δ_1 entropiya xatoligi quyidagicha:

$$\Delta_1 = K_E \cdot \sigma_\Sigma = 2,07 \cdot 0,2 = 0,414$$

bu yerda $K_E=2,07$ – elektromagnit tok o'zgartkich elementining entropiya koeffitsienti; σ_Σ – elektromagnit tok o'zgartkich elementining yig'indi o'rtacha kvadratik xatoligi.

Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning xatoliklarini baholash uchun har bir qism xatoliklari alohida ko'rib chiqiladi.

Ikkita sezgir element xalqalari ketma-ket ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich ulanish sxemasi uchun $\sigma_4=0,05$;

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} = \sqrt{0,1^2 + 0,1^2 + 0,1^2 + 0,05^2} = 0,18$$

Δ_2 entropiya xatoligi quyidagicha:

$$\Delta_2 = K_E \cdot \sigma_\Sigma = 2,07 \cdot 0,18 = 0,372$$

Ikkita sezgir element xalqalari parallel ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich ulanish sxemasi uchun $\sigma_4=0,14$;

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} = \sqrt{0,1^2 + 0,1^2 + 0,1^2 + 0,14^2} = 0,223$$

Δ_2 entropiya xatoligi quyidagicha:

$$\Delta_2 = K_E \cdot \sigma_\Sigma = 2,07 \cdot 0,223 = 0,462$$

Ikkita sezgir element xalqalari differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich ulanish sxemasi uchun $\sigma_4=0,05$, $F_{\mu x} - U_{chiq}$ xavo oralig'idagi magnit yurituvchi kuchni, sezgir elementdan chiquvchi kuchlanishga o'zgartirish zanjiridagi xatolik uchun $\sigma_3=0,05$;

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} = \sqrt{0,1^2 + 0,1^2 + 0,05^2 + 0,05^2} = 0,158$$

Δ_2 entropiya xatoligi quyidagicha:

$$\Delta_2 = K_E \cdot \sigma_\Sigma = 2,07 \cdot 0,158 = 0,327$$

Yuqorida aniqlangan hisoblar va tadqiqotlar natijalariga ko'ra, bitta sezgir element xalqasiga ega bo'lgan elektromagnit tok o'zgartkichning entropiya xatoligi $\Delta_1=0.414$ miqdorga, ikkita sezgir element xalqalariga ega va ketma-ket ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning entropiya xatoligi $\Delta_2=0.372$, parallel uchun $\Delta_2=0.462$ va differensial uchun $\Delta_2=0.327$ miqdorga teng ekanligi aniqlandi. Standartlarga asosan tadqiq etilgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlar uchun me'yorlangan aniqlik sinfi 0.5 miqdorni tashkil etadi.

Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining ishonchlilik ko'rsatkichlari:

Asinxron motor stator pazlariga joylashtirilgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlari ishonchliligini hisoblashning nazariy asoslari bo'yicha funksional va elementar turlarga bo'linadi. Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining ish jarayonidagi ishonchlilik ishdan chiqishi kutilmaganda va to'liq, buzilishlarning xususiyatlari birdan, to'liq, pog'onama-pog'ona, qisqa tutashuv va boshqalarni hisobga olish bilan baholanadi.

Ishonchlilik deb ma'lum sharoitda, belgilangan vaqt oralig'ida nazorat va boshqaruv tizimlari elementlarining ish holatini ma'lum sharoitda belgilangan me'yoriy hujjat talablari bo'yicha saqlab qolish tushuniladi.

Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining ishdan chiqish holatlarining sinflanishi quyidagicha:

3.1-Jadval

№	Ishdan chiqish sabablari	Ishdan chiqish holatlari
1	Ishdan chiqish darajasi bo'yicha	To'liq, qisman.
2	Jarayonning holati bo'yicha	To'satdan, asta-sekin
3	Boshqa ta'sirlar bilan bog'liqligi bo'yicha	Bog'liq, bog'liq bo'lmagan
4	Vaqt bo'yicha	Barqaror, barqaror bo'lmagan

Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining qisman buzilishi uning qisman ishlashiga, to'liq buzilishi esa ishdan chiqishga olib keladi. Elektromagnit tok o'zgartkichning sezgir element xalqalarini tekshiruvdan o'tkazish orqali uning ishlash qobiliyatini aniqlash mumkin. Tok o'zgartkichning ishdan chiqishini ta'mirlash orqali bartaraf etish mumkin bo'ladi.

Elektromagnit tok o'zgartkichining har qanday ishdan chiqish holati, asinxron motorning ish jarayoniga ta'sir etmaydi. Buni e'tiborga olgan holda, elektromagnit tok o'zgartkichning mexanik tashkil etuvchisi uning ishonchliligiga ta'sir ko'rsatmaganligi bois hisobga olmasa ham bo'ladi.

Elektromagnit tok o'zgartkichlarning parametrik va o'zgaruvchi ishonchlilik ko'rsatkichlari doimiy ish holatida bo'lish ehtimolidan kelib chiqqan holda $P_p(t) = 0,99$ va $P_o(t) = 0,99$ ga teng deb olingan. Ishdan chiqishga bog'liq ko'rsatkichlarning extimolligi vaqtga bog'liq bo'lmaydi va elektromagnit tok o'zgartkich qismlarining ishonchliligi o'zgarimasligi ta'minlanadi. Elektromagnit tok o'zgartkich va uning tarkibiy qismlarini metrologik ishonchliligini stator tokini chiqish kuchlanishiga o'zgartirish xatoliklarini, o'zgartkichning ish holatidagi belgilangan me'yoriy qiymatlaridan oshmaslik extimoli xarakterlaydi.

Elektromagnit tok o'zgartkichning umumiy bo'laklarining ishlash extimolligi uning tarkibiy qismlarini ish holatlarining extimolligiga asosan aniqlanadi. Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichi bo'laklarini ish holatida bo'lish extimollari quyidagicha, stator chulg'ami uchun $P_1 = 0,99$, magnit o'zak uchun $P_2 = 0,99$ va sezgir element chulg'ami uchun $P_3 = 0,99$.

Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining ishlash tahliliga ko'ra o'zgartkichning tarkibiy qismlari ishonchligini aniqlovchi va tashkil etuvchilarining holatlari quyidagicha aniqlanadi;

Stator chulg'ami, magnit o'zak va sezgir element xalqasining ish holatida bo'lish extimolligi;

$$P_1 P_2 P_3 = 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,9702$$

Sezgir element xalqasining ishdan chiqishi;

$$P_1P_2(1 - P_3) = 0.99 \cdot 0.99 \cdot (1 - 0.99) = 0,009801$$

Magnit o'zakni ishdan chiqishi;

$$P_1P_3(1 - P_2) = 0.99 \cdot 0.99 \cdot (1 - 0.99) = 0,009801$$

Stator chulg'amining ishdan chiqishi;

$$P_2P_3(1 - P_1) = 0.99 \cdot 0.99 \cdot (1 - 0.99) = 0,009801$$

Stator chulg'ami va magnit o'zakning ishdan chiqishi;

$$P_3(1 - P_1)(1 - P_2) = 0.99 \cdot (1 - 0.99)^2 = 0,000099$$

Stator chulg'ami va sezgir element xalqasining ishdan chiqishi;

$$P_2(1 - P_1)(1 - P_3) = 0.99 \cdot (1 - 0.99)^2 = 0,000099$$

Magnit o'zak va sezgir element xalqasining ishdan chiqishi;

$$P_1(1 - P_2)(1 - P_3) = 0.99 \cdot (1 - 0.99)^2 = 0,000099$$

Yuqorida aniqlangan qiymatlar asosida har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining ish holatini umumiy ishonchlilik ko'rsatkichi quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{\Sigma} = P_1P_2P_3 + P_1P_2(1 - P_3) + P_1P_3(1 - P_2) + P_2P_3(1 - P_1) + P_3(1 - P_1)(1 - P_2) + P_2(1 - P_1)(1 - P_3) + P_1(1 - P_2)(1 - P_3) = 0.97020094$$

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining ishlash tahliliga ko'ra o'zgartkichning tarkibiy qismlari ishonchligini aniqlovchi va tashkil etuvchilarining holatlari quyidagicha aniqlanadi va xalqalar uchun ish holatida bo'lish extimollari, birinchi xalqa uchun $P_3=0.99$ va ikkinchi xalqa uchun esa $P_4=0.99$.

Stator chulg'ami, magnit o'zak, birinchi va ikkinchi sezgir element xalqalarining ish holatida bo'lish extimolligi;

$$P_1P_2P_3P_4 = 0.99 \cdot 0.99 \cdot 0.99 \cdot 0.99 = 0,96059$$

Birinchi sezgir element xalqasining ishdan chiqishi;

$$P_1P_2P_4(1 - P_3) = 0.99 \cdot 0.99 \cdot 0.99 \cdot (1 - 0.99) = 0,00970299$$

Ikkinchi sezgir element xalqasining ishdan chiqishi;

$$P_1P_2P_3(1 - P_4) = 0.99 \cdot 0.99 \cdot 0.99 \cdot (1 - 0.99) = 0,00970299$$

Magnit o‘zakni ishdan chiqishi;

$$P_1P_3P_4(1 - P_2) = 0.99 \cdot 0.99 \cdot 0.99 \cdot (1 - 0.99) = 0,00970299$$

Stator chulg‘a mining ishdan chiqishi;

$$P_2P_3P_4(1 - P_1) = 0.99 \cdot 0.99 \cdot 0.99 \cdot (1 - 0.99) = 0,00970299$$

Stator chulg‘ami va magnit o‘zakning ishdan chiqishi;

$$P_3P_4(1 - P_1)(1 - P_2) = 0.99 \cdot 0.99 \cdot (1 - 0.99)^2 = 0,00009801$$

Stator chulg‘ami va birinchi sezgir element xalqasining ishdan chiqishi;

$$P_2P_4(1 - P_1)(1 - P_3) = 0.99 \cdot 0.99 \cdot (1 - 0.99)^2 = 0,00009801$$

Stator chulg‘ami va ikkinchi sezgir element xalqasining ishdan chiqishi;

$$P_2P_3(1 - P_1)(1 - P_4) = 0.99 \cdot 0.99 \cdot (1 - 0.99)^2 = 0,00009801$$

Magnit o‘zak va birinchi sezgir element xalqasining ishdan chiqishi;

$$P_1P_4(1 - P_2)(1 - P_3) = 0.99 \cdot 0.99 \cdot (1 - 0.99)^2 = 0,00009801$$

Magnit o‘zak va ikkinchi sezgir element xalqasining ishdan chiqishi;

$$P_1P_3(1 - P_2)(1 - P_4) = 0.99 \cdot 0.99 \cdot (1 - 0.99)^2 = 0,00009801$$

Har bir faza uhun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichining ish holatini umumiy ishonchlilik ko‘rsatkichi quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{\Sigma} = P_1P_2P_3P_4 + P_1P_2P_4(1 - P_3) + P_1P_2P_3(1 - P_4) + P_1P_3P_4(1 - P_2) + P_2P_3P_4(1 - P_1) + P_3P_4(1 - P_1)(1 - P_2) + P_2P_4(1 - P_1)(1 - P_3) + P_2P_3(1 - P_1)(1 - P_4) + P_2P_3(1 - P_1)(1 - P_4) + P_2P_4(1 - P_1)(1 - P_3) = 0.96059$$

Yuqorida aniqlangan natijalarga asosan bitta sezgir element xalqali asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichining umumiy ishonchlilik ko‘rsatkichi $P_{\Sigma}=0,97020094$ ga va ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichining umumiy ishonchlilik ko‘rsatkichi $P_{\Sigma}=0,96059$ ga tengligini ko‘rishimiz mumkin.

Uchinchi bob bo'yicha xulosalar

1. Asinxron motor istemoo qilatotgan stator tokini har bir fazasi uchun mos bo'lgan bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalariga ega bo'lgan ketma-ket, parallel va differensial ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnitli tok o'zgartkichlarni chiqish kuchlanish signallariga bog'liqligi tavsiflari va chiqish kuchlanish signallarining adekvatligi ko'satkichi yuqori darajada, ya'ni $\delta = 1,472\%$ ga teng bo'lishi aniqlandi.

2. Har bir faza uchun mos bo'lgan bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalariga ega bo'lgan ketma-ket, parallel va differensial ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarni chiqish kuchlanish signallarining dinamik tavsiflari, sezgir element xalqalarining ulanish usuliga ko'ra, asinxron motorning ishga tushish jarayonidagi stator nosimmetrik va nosinusoidal toklarini ifodalovchi chiqish kuchlanishlarining turg'unlikka erishish vaqtlari va yuqori garmonika toklarining chiqish kuchlanish signallariga ta'siri aniqlandi.

3. Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari nazorati va boshqaruvi uchun har bir faza uchun mos bo'lgan bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalariga ega bo'lgan ketma-ket, parallel va differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarining texnik va metrologik ko'rsatkichlari va tok o'zgartkichlar uchun entropiya xatoliklari me'yoriy aniqlik sinfi 0,5 dan kichik bo'lishi asoslandi.

4. Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining umumiy ishonchlilik ko'rsatkichi $P_{\Sigma}=0,97020094$ ga va har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining umumiy ishonchlilik ko'rsatkichi $P_{\Sigma}=0,96059$ ga teng bo'lishi isbotlandi.

IV. UCH FAZALI ELEKTROMAGNITLI TOK O'ZGARTKICHINI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA TADQIQ QILISH VA AMALIYOTDA QO'LLASH

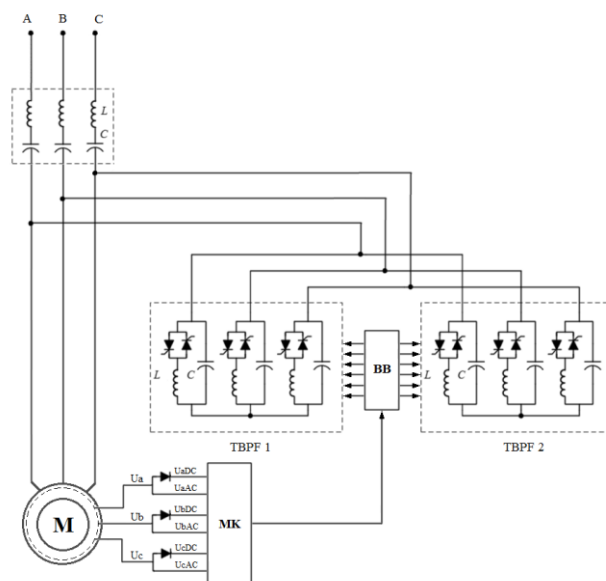
4.1-§. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va yuqori garmonika toklari qiymatlarini va quvvat koeffitsientini chiqish signallari orqali baholash

Hozirda elektr qurilmalarini nazorat qilish va boshqarishda yarim o'tkazgichli elementlardan keng foydalanilmoqda, bu esa elektr energiyaning sifat ko'rsatkichiga ta'sir ko'rsatuvchi nosimmetrik va nosinusoidal toklarning miqdorini oshishiga olib kelmoqda. Nosimmetrik va nosinusoidal toklar elektr qurilmalarini reaktiv quvvatining oshishiga, haddan tashqari qizishiga, ish samaradorligini kamayishiga va tarmoqdagi boshqa qurilmalarning ish faoliyatiga ham salbiy ta'sir ko'rsatadi. Nosimmetrik va nosinusoidal toklarning miqdorini standartlarda belgilangan qiymatlardan oshmasligini ta'minlash muhim hisoblanadi.

Nosimmetrik va yuqori garmonika toklarni miqdorini filtr-kompensatsiya qurilmalari yordamida kompensatsiyalash va filtrlash orqali elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlariga bo'lgan salbiy ta'sirlarni kamaytirish mumkin bo'ladi. Filtr-kompensatsiya qurilmalari asosan induktiv va sig'im elementlaridan tashkil topgan bo'lib, garmonik buzilishlarning miqdori passiv, aktiv va gibrid filtrlar yordamida kamaytiriladi. Hozirda garmonik buzilishlarni filtrlashda yuqori ishonchlik, samaradorlik, arzon narx va oddiy konfiguratsiyaga ega bo'lganligi sababli passiv filtrlar keng qo'llanilmoqda. Bundan tashqari passiv filtrlar yordamida reaktiv quvvatni kompensatsiyalash ham mumkin. Odatda passiv filtrlar qarshilik, kondensator va induktiv elementlardan tashkil topadi va ularning ishlashi uchun tashqi quvvat manbai kerak bo'lmaydi. Passiv filtrlarning ko'plab turli topologiyalari mavjud bo'lib, ko'p hollarda parallel filtr konfiguratsiyasi eng afzal filtr topologiyalari hisoblanadi.

Bir vaqtning o'zida filtr-kompensatsiya qurilmalari yuqori garmonika toklarini filtrlash va reaktiv quvvatni kompensatsiyalash uchun ishlatiladi. Asosan filtr-kompensatsiya qurilmalarida induktiv va sig'im elementlaridan tashkil topgan o'zaro ketma-ket va parallel ulangan gibrid passiv filtrlardan foydalaniladi. Parallel passiv filtrlar chiziqli bo'lmagan yuklama toklarini fitrlash va kompensatsiyalash uchun mos kelsa, ketma-ket passiv filtrlar esa chiziqli bo'lmagan kuchlanishlarni filtrlash uchun ishlatiladi. Shuning uchun gibrid passiv filtrlar bir vaqtning o'zida reaktiv quvvatni kompensatsiyalaydi va garmonik buzilishlarni filtrlaydi.

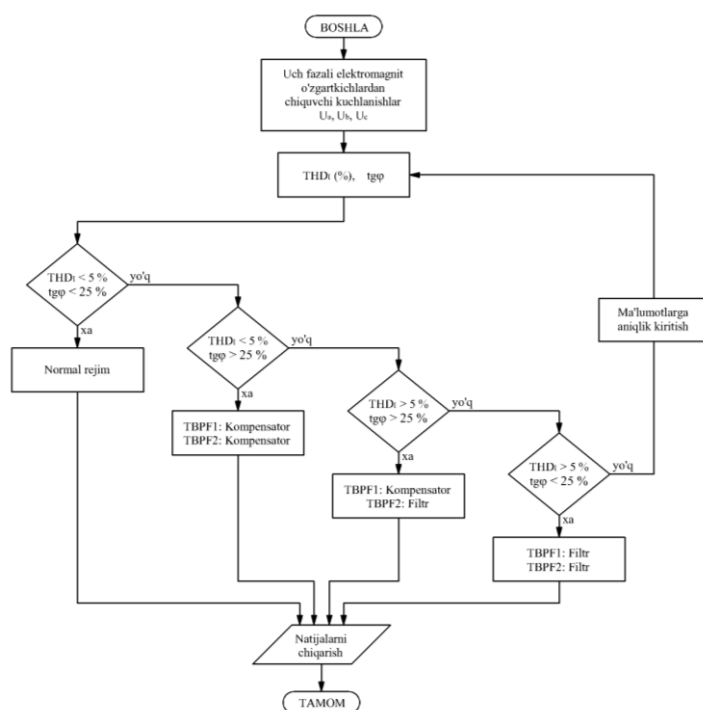
Hozirgi kunda keng tarqalgan filtr-kompensatsiya qurilmasi bu, takomillashtirilgan gibrid passiv filtr bo'lib, har bir faza uchun mos bo'lgan ketma-ket passiv va tiristorlar bilan boshqariladigan parallel passiv filtrlardan iborat. Takomillashtirilgan gibrid passiv filtrlar, an'anaviy gibrid filtrlarga nisbatan reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish va yuqori garmonikalarni filtrlash ko'rsatkichlari aniqroqdir.



4.1-rasm. Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmasini uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich yordamida nazorat qilish va boshqarish.

Har bir faza uchun mos, stator chulg'amlari joylashish tartibida pazlarga joylashtirilgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich signali asosida, takomillashtirilgan gibrid passiv filtrlar yordamida asinxron motor reaktiv

quvvatining nosimetrik va nosinusoidal toklari filtrlanadi va kompensatsiyalanadi. Bunda uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichdan chiquvchi kuchlanish signali mikroprotessor (MK) yordamida belgilan kattaliklar aniqlanadi, ya'ni yuqori garmonikalarning qiymatlari va nosimmetrik toklar sababli yuzaga keluvchi tarmoq kuchlanishi va chiqish kuchlanish signali orasidagi burchak. Aniqlangan signallarga asosan mikroprotessor boshqarish blokiga (BB) ma'lumotlarni yuboradi. Boshqarish bloki esa mikroprotessordan kelgan signal asosida, birinchi tiristorli boshqarishli passiv fitr (TBPF 1) va ikkinchi tiristorli boshqarishli passiv fitr (TBPF 2) larni boshqaradi (4.1-rasm).



4.2-rasm. Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmasi boshqaruv blokining qaror qabul qilish algoritmi (0.4 kV kuchlanish uchun).

0.4 kV kuchlanish ta'minot manbaiga ulangan asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmasi quyidagi algoritmgga asosan nazorat qilinadi va boshqariladi (O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining 1864-sonli nizomi va xalqaro elektr va elektronika muhandislari institutining IEEE 1159-2019 standartlariga asosan).

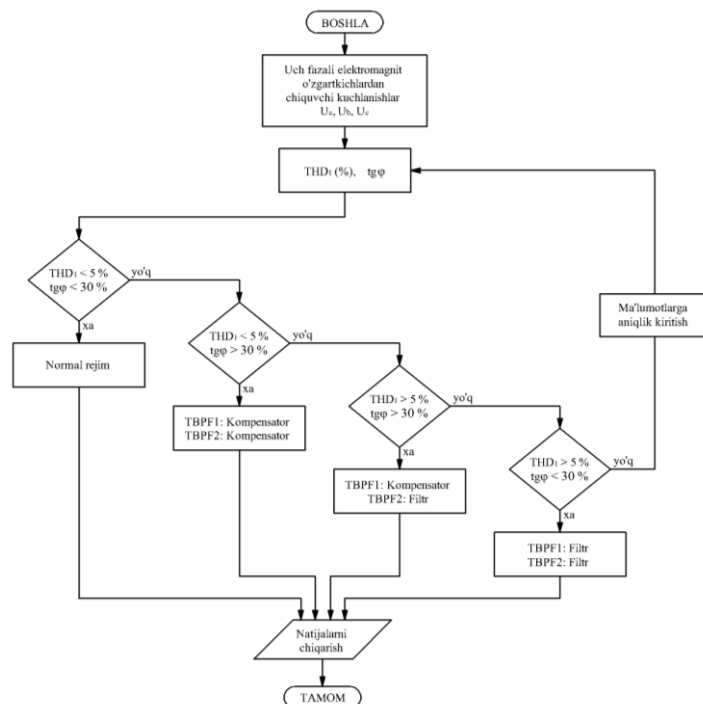
Algoritimga asosan asinxon motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmasi boshqaruv blokining qaror qabul qilishi, umumiy garmonik buzilish THD_1 ning qiymati va quvvat parametrlarining nisbati $tg\phi$ orqali aniqlanadi (4.2-rasm).

1. ($THD_1 < 5\%$ va $tg\phi < 25\%$) Filtr-kompensatsiya qurilasi normal rejimda ishlaydi, chunki garmonik buzilish va quvvat parametrlarining nisbati belgilangan me'yor oralig'ida.

2. ($THD_1 < 5\%$ va $tg\phi > 25\%$) Filtr-kompensatsiya qurilmasining har ikki tiristorli boshqarishli passiv filtrlari kompensator rejimda ishlaydi, chunki garmonik buzilish qiymati belgilangan me'yorda va quvvat parametrlarining nisbati esa belgilangan me'yordan yuqori.

3. ($THD_1 > 5\%$ va $tg\phi > 25\%$) Filtr-kompensatsiya qurilmasi filtr va kompensator rejimda ishlaydi, chunki garmonik buzilish va quvvat parametrlarining nisbati belgilangan me'yordan yuqori.

4. ($THD_1 > 5\%$ va $tg\phi < 25\%$) Filtr-kompensatsiya qurilmasi filtr rejimda ishlaydi, chunki garmonik buzilish qiymati belgilangan me'yordan yuqori va quvvat parametrlarining nisbati belgilangan me'yor oralig'ida.



4.3-rasm. Asinxon motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmasi boshqaruv blokining qaror qabul qilish algoritmi (6÷10 kV kuchlanishlar uchun).

(6÷10) kV kuchlanish manbaiga ulangan asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmasi esa quyidagi algoritm orqali, $THD_1 < 5\%$ va $tg\varphi < 30\%$ belgilangan me'yorlar asosida nazorat qilinadi va boshqariladi (4.3-rasm).

Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich signali asosida quvvat koeffitsientini aniqlash:

Sezgir element xalqalarini turli ulanish sxemalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlaridan chiquvchi signallar va tarmoq kuchlanishlari fazalari orasidagi burchakning qiymatiga asosan asinxron motorning reaktiv quvvati kompensatsiya qilinadi.

Stator tokini ifodalovchi chiqish kuchlanish signali va tarmoq kuchlanishi orasidagi burchak hamda stator tokining qiymatini matematik hisoblashda stator chulg'amlariga beriluvchi manba kuchlanishlari va sezgir elementdan chiquvchi kuchlanish ko'rinishidagi signallar, algebraik shaklga o'tkaziladi bunda asinxron motor statori har bir fazasidagi tokning aktiv va reaktiv tashkil etuvchi qiymatlari quyidagi formulalar orqali aniqlanadi.

$$I_A = \frac{\left(\frac{U_{0.A}}{\sqrt{2}} \cdot \cos(-90^\circ) + j \cdot \frac{U_{0.A}}{\sqrt{2}} \cdot \sin(-90^\circ) \right) - \frac{w_4}{w_1} \cdot \left(\frac{U_{0.a}}{\sqrt{2}} \cdot \cos(\beta_a - 90^\circ) + j \cdot \frac{U_{0.a}}{\sqrt{2}} \cdot \sin(\beta_a - 90^\circ) \right)}{R_{A.1} + jX_{A.1}};$$

$$I_B = \frac{\left(\frac{U_{0.B}}{\sqrt{2}} \cdot \cos(30^\circ) + j \cdot \frac{U_{0.B}}{\sqrt{2}} \cdot \sin(30^\circ) \right) - \frac{w_5}{w_2} \cdot \left(\frac{U_{0.b}}{\sqrt{2}} \cdot \cos(\beta_b + 30^\circ) + j \cdot \frac{U_{0.b}}{\sqrt{2}} \cdot \sin(\beta_b + 30^\circ) \right)}{R_{B.1} + jX_{B.1}};$$

$$I_C = \frac{\left(\frac{U_{0.C}}{\sqrt{2}} \cdot \cos(-210^\circ) + j \cdot \frac{U_{0.C}}{\sqrt{2}} \cdot \sin(-210^\circ) \right) - \frac{w_6}{w_3} \cdot \left(\frac{U_{0.c}}{\sqrt{2}} \cdot \cos(\beta_c - 210^\circ) + j \cdot \frac{U_{0.c}}{\sqrt{2}} \cdot \sin(\beta_c - 210^\circ) \right)}{R_{C.1} + jX_{C.1}};$$
(4.1)

$$I_{A.aktiv} = \frac{\frac{U_{0.A}}{\sqrt{2}} \cdot \cos(-90^\circ) - \frac{w_4}{w_1} \cdot \frac{U_{0.a}}{\sqrt{2}} \cdot \cos(\beta_a - 90^\circ)}{R_{A.1} + jX_{A.1}};$$

$$I_{A.reaktiv} = \frac{j \cdot \left(\frac{U_{0.A}}{\sqrt{2}} \cdot \sin(-90^\circ) - \frac{w_4}{w_1} \cdot \frac{U_{0.a}}{\sqrt{2}} \cdot \sin(\beta_a - 90^\circ) \right)}{R_{A.1} + jX_{A.1}};$$

$$I_{B.aktiv} = \frac{\frac{U_{0.B}}{\sqrt{2}} \cdot \cos(30^\circ) - \frac{w_5}{w_2} \cdot \frac{U_{0.b}}{\sqrt{2}} \cdot \cos(\beta_b + 30^\circ)}{R_{B.1} + jX_{B.1}};$$

$$I_{B.reaktiv} = \frac{j \cdot \left(\frac{U_{0.B}}{\sqrt{2}} \cdot \sin(30^\circ) - \frac{w_5}{w_2} \cdot \frac{U_{0.b}}{\sqrt{2}} \cdot \sin(\beta_b + 30^\circ) \right)}{R_{B.1} + jX_{B.1}};$$

$$I_{C.aktiv} = \frac{\frac{U_{0.C}}{\sqrt{2}} \cdot \cos(-210^\circ) - \frac{w_6}{w_3} \cdot \frac{U_{0.c}}{\sqrt{2}} \cdot \cos(\beta_c - 210^\circ)}{R_{C.1} + jX_{C.1}};$$

$$I_{C.reaktiv} = \frac{j \cdot \left(\frac{U_{0.C}}{\sqrt{2}} \cdot \sin(-210^\circ) - \frac{w_6}{w_3} \cdot \frac{U_{0.c}}{\sqrt{2}} \cdot \sin(\beta_c - 210^\circ) \right)}{R_{C.1} + jX_{C.1}};$$
(4.2)

$$\begin{aligned}
I_A &= \sqrt{I_{A.aktiv}^2 + I_{A.reaktiv}^2}; \\
I_B &= \sqrt{I_{B.aktiv}^2 + I_{B.reaktiv}^2}; \\
I_C &= \sqrt{I_{C.aktiv}^2 + I_{C.reaktiv}^2};
\end{aligned}
\tag{4.3}$$

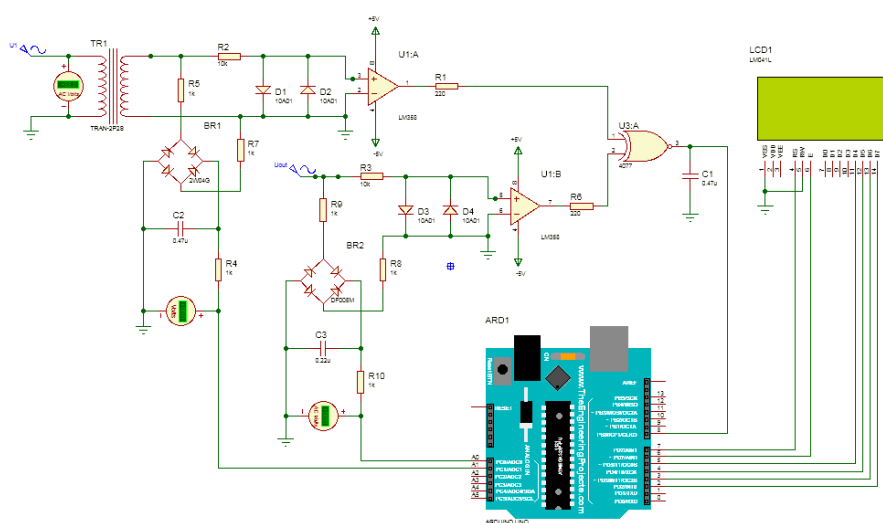
Yuqoridagi formulalar orqali sezgir elementdan chiquvchi signalning qiymatiga asosan asinxron motorning statoridagi kuchlanish hamda tok kuchi orasidagi faza siljish burchagi quyidagicha topiladi.

$$\begin{aligned}
\varphi_A &= \left(90^0 + \arctg\left(\frac{I_{A.reaktiv}}{I_{A.aktiv}}\right) \right); \\
\varphi_B &= \left(90^0 + \arctg\left(\frac{I_{B.reaktiv}}{I_{B.aktiv}}\right) \right); \\
\varphi_C &= \left(90^0 + \arctg\left(\frac{I_{C.reaktiv}}{I_{C.aktiv}}\right) \right);
\end{aligned}
\tag{4.4}$$

CASSYLAB qurilmasi orqali amaliy tadqiqot ishlari olib borildi, unga asosan 4AA63A4Y3 tipli qisqa tutashgan rotorli asinxron motorning nominal ish rejimida manba kuchlanishi, asinxron motor uch fazali tok o'zgartkichi kuchlanish signali va ular orasidagi faza siljish burchagi aniqlandi.

Tadqiqot natijasida amaliy aniqlangan ma'lumotlar va yuqorida keltirilgan ifodalar asosida Proteus dasturida uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichi signali asosida asinxron motor statorining toki va quvvat koeffitsientini aniqlash modeli yaratildi, buning uchun Arduino UNO mikrokontrolleridan foydalanildi (4.4-rasm). Manba kuchlanish parametrlarini aniqlashda kuchlanish transformatori yordamida kuchlanish miqdori kamaytirildi, bir fazali to'g'irlagich sxemasi orqali Arduinoning analog piniga ulandi, bu orqali mikrokontroller yordamida manba kuchlanishini bilish imkoniyati mavjud bo'ldi. Bundan tashqari operatsion kuchaytirgich orqali manba kuchlanishining faza siljish burchagini bilish uchun zero cross nuqtalari aniqlandi. Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichdan kuchlanish ko'rinishida chiquvchi signalning parametrlarini aniqlashda ham manba kuchlanish parametrlarini aniqlash sxemalaridan foydalanildi va uning kuchlanish qiymati va faza siljish burchagi aniqlandi. Manba kuchlanishi va chiqish kuchlanish faza siljish

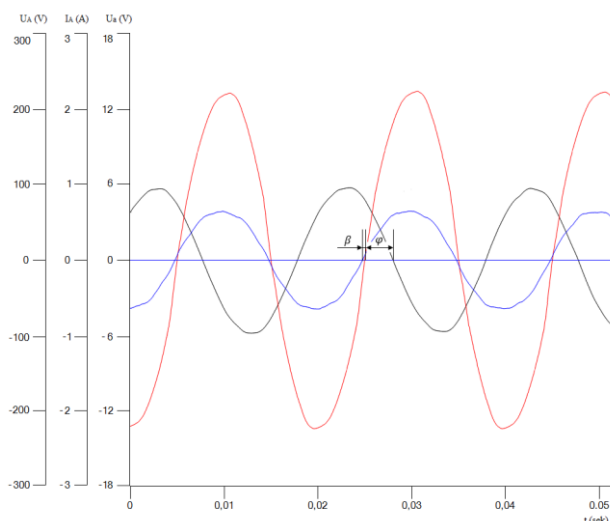
burchagining farqini aniqlashda XNOR mantiqiy elementidan foydalanildi va undan chiquvchi signal Arduining raqamli piniga ulandi. Manba kuchlanishi va chiqish kuchlanishi parametrlari va yuqoridagi formulalarga asosan Arduino IDE da stator toki va quvvat ko'effitsientini aniqlash dastur kodi yozildi va aniqlangan parametrlar LCD 16x4 monitorga uzatildi. LCD monitorida manba kuchlanishi, asinxron motorning statoriga joylashtirilgan sezgir elementdan chiquvchi kuchlanish, asinxron motor statorining toki va asinxron motorning quvvat ko'effisienti joy olgan (A faza uchun).



4.4-rasm. Proteus dasturida, uch fazali elektromagnitli tok o'zgartkich signali asosida asinxron motorning stator toki va quvvat ko'effitsietini aniqlash modeli.

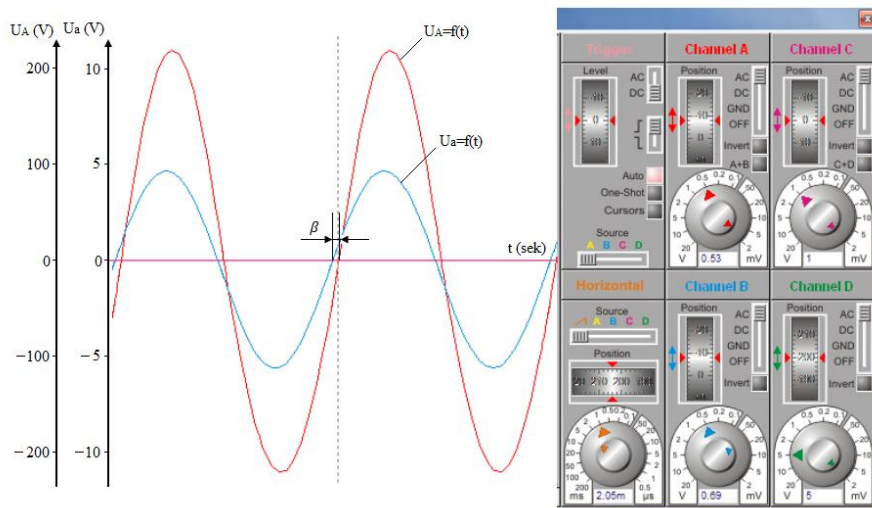
Asinxron motorning stator pazlariga joylashtirilgan sezgir elementdan kuchlanish ko'rinishida chiquvchi signalning qiymati, asinxron motorning statorida hosil bo'lgan tokning qiymatiga proporsionaldir. Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich signali orqali asinxron motor stator tokining qiymati va quvvat ko'effitsienti yuqoridagi tadqiqotlar orqali aniqlandi. CASSYLAB qurilmasi orqali asinxron motorning sezgir elementidan chiquvchi kuchlanish qiymati va manba kuchlanishi bilan faza siljish burchagi amaliy aniqlandi. Aniqlangan ushbu qiymatlar asosida Proteus va Arduino dasturlari yordamida asinxron motorning stator tok kuchi va quvvat ko'effitsientini aniqlash modeli ishlab

chiqildi. CASSYLAB qurilmasi orqali 4AA63A4Y3 tipli qisqa tutashgan rotorli asinxron motorning nominal ish rejimida aniqlangan ma'lumotlari keltirilgan (A faza uchun). Bunda U_A -A faza manba kuchlanishi, U_a -A faza uchun mos asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichidan kuchlanish ko'rinishida chiquvchi signal, I_A -asinxron motorning stator toki (A faza), β -manba kuchlanishi va chiqish kuchlanishi orasidagi faza siljish burchagi (4.5-rasm). Asinxron motor statorining A fazasidagi tokning qiymati $I_1=0.91$ A, shu faza uchun mos, xalqalari differensial ulangan sezgir elementidan chiqqan kuchlanishning qiymati $U_a=4.56$ V va manba kuchlanishi va chiqish kuchlanishi orasidagi faza siljish burchagi $\beta=-9.92^\circ$ aniqlandi (A faza manba kuchlanishining boshlang'ich fazasi $\alpha=0^\circ$ deb oligan).



4.5-rasm. CASSYLAB qurilmasi orqali aniqlangan manba kuchlanishi, asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning chiqish kuchlanishi va ular orasidagi faza siljish burchagi grafiklari (A faza uchun).

Proteus dasturida 4AA63A4Y3 tipli qisqa tutashgan rotorli asinxron motorning nominal ish rejimidagi A faza manba kuchlanishi, A faza uchun mos asinxron motor uch fazali tok o'zgartkichidan kuchlanish ko'rinishida chiquvchi signal, manba kuchlanishi va chiqish kuchlanishi orasidagi faza siljish burchagi aniqlandi (4.6-rasm). Asinxron motorning A fazasidagi tokning qiymati $I_1=0.9$ A, shu faza uchun mos sezgir elementdan chiqqan kuchlanishning qiymati $U_A=4.6$ V va manba kuchlanishi va chiqish kuchlanishi orasidagi faza siljish burchagi $\beta=-9.89^\circ$ aniqlandi (A faza manba kuchlanishining boshlang'ich fazasi $\alpha=0^\circ$ deb oligan).



4.6-rasm. Proteus dasturi orqali aniqlangan manba kuchlanishi, asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning chiqish kuchlanishi va ular orasidagi faza siljish burchagi grafiklari (A faza uchun).

Tok o'zgartkichdan chiquvchi kuchlanish signali asosida quyidagi kattaliklar aniqlandi. Tadqiqotlar asinxron motorning A fazasi misolida ko'rib chiqildi.

Asinxron motor stator tokining qiymati:

1. $I_A=0.87$ A, Katalogdagi qiymat.
2. $I_A=0.91$ A, CASSYLAB qurilmasi yordamida amaliy aniqlangan qiymat.
3. $I_A=0.9$ A, Proteus dasturida aniqlangan qiymat.

Asinxron motorning quvvat koeffitsientining qiymati:

1. $\cos\varphi=0.65$, Katalogdagi qiymat.
2. $\cos\varphi=0.653$, CASSYLAB qurilmasi yordamida aniqlangan qiymat.
3. $\cos\varphi=0.65$, Proteus dasturida aniqlangan qiymat.

Manba kuchlanishi va uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish kuchlanishi orasidagi faza siljish burchagi qiymatlari:

1. $\beta_1=-9.92^\circ$, CASSYLAB qurilmasi yordamida aniqlangan qiymat.
2. $\beta_1=-9.89^\circ$, Proteus dasturida aniqlangan qiymat.

Asinxron motor sezgir elementidan chiquvchi kuchlanishning qiymati:

1. $U_a=4.56$ V, CASSYLAB qurilmasi yordamida aniqlangan qiymat.
2. $U_a=4.6$ V, Proteus dasturida aniqlangan qiymat.

Yuqoridagi 4.5-rasm va 4.6-rasmlarda keltirilgan natijalarni tahlil qilsak, uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichni chiqish kuchlanishi qiymati, manba kuchlanishi va asinxron motor stator chulg'ami qarshiliklari o'zgarmagan holda stator chulg'amidan o'tayotkan tok kuchiga bog'liq funksiya ekanligini ko'ramiz. Asinxron motor manba kuchlanishining o'zgaras holatida chiqish signalining qiymati tokiga va quvvat ko'effitsientiga proporsionalligini ko'rishimiz mumkin. Asinxron motorning ish davri mobaynida yuklama qiymatining oshishi uning stator tokining oshishiga, bu esa chiqish kuchlanishi bilan manba kuchlanishi orasidagi faza siljish burchagining oshishiga, chiqish kuchlanishini va quvvat ko'effitsientini kamayishiga olib keldi. Bundan ko'rinadiki manba kuchlanishi bilan sezgir elementdan chiquvchi kuchlanish orasidagi faza siljish burchagining oshishi quvvat ko'effitsientini kamayishiga olib keldi.

Asinxron motorlar iste'mol qilayotkan elektr energiya reaktiv quvvatining nosimmetrik toklarini, nosimmetriklik ko'effitsienti chiqish signallariga asosan quyidagi (4.5) formulalar orqali aniqlanadi.

$$K_n = \frac{U_{ab}}{U_{bc}} \quad \text{yoki} \quad K_n = \frac{U_{ac}}{U_{ab}} \quad \text{yoki} \quad K_n = \frac{U_{bc}}{U_{ac}} \quad (4.5)$$

Asinxron motor reaktiv quvvatining yuqori garmonika toklari qiymatini chiqish signallari orqali aniqlash:

Asinxron motorda bir nechta ta'sirlar ya'ni asinxron motor yuklamasining ortishi, asinxron motor ta'minot kabelining uzunligi, asinxron motorlarni yarim o'tkazgichli elementlardan tashkil topgan qurilmalar orqali boshqarilishi, asinxron motorning magnit tizimidagi nosozliklar, asinxron motor aylanuvchi qismlarining simmetrik emasligi va simmetrik bo'lmagan turli yuklamalar ulangan tarmoqqa asinxron motorlarning ulanishi sababli stator chulg'amlarida yuqori garmonika toklari hosil bo'ladi. Bu o'z navbatida asinxron motorning ish faoliyatiga va foydali ish ko'effitsientiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish signallari orqali stator chulg'amlarida hosil bo'luvchi yuqori garmonika toklarini aniqlash imkoni mavjud. Bunda sezgir element xalqalaridan chiquvchi

kuchlanishning qiymatini Fourier qatorlariga yoyish orqali FFT (Fast Fourier Transform) ifodasi bilan asinxron motorga ta'sir ko'rsatuvchi yuqori garmonika toklarining qiymatlari aniqlanadi.

Fourier qatorlariga yoyishning grafik metodi orqali yuqori garmonika toklarining qiymatlari aniqlanadi. Bunda funksiyaning bir davrdagi qiymati teng n bo'lakka bo'linadi va funksiyaning tashkil etuvchi qiymatlari aniqlanadi.

Funksiyaning o'zgarmas qiymati.

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx \approx \frac{1}{2\pi} \sum_{p=1}^{p=n} f_p(x) \Delta x = \frac{1}{2\pi} \sum_{p=1}^n f_p(x) \frac{2\pi}{n} \text{ yoki } a_0 = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n f_p(x) \quad (4.6)$$

Funksiyaning k garmonikadagi *sin* tashkil etuvchi qiymati.

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin kx dx \approx 2 \cdot \frac{1}{2\pi} \sum_{p=1}^n f_p(x) \frac{2\pi}{n} \sin_p kx \text{ yoki } b_n = \frac{2}{n} \sum_{p=1}^n f_p(x) \sin_p kx \quad (4.7)$$

Funksiyaning k garmonikadagi *cos* tashkil etuvchi qiymati.

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos kx dx \approx 2 \cdot \frac{1}{2\pi} \sum_{p=1}^n f_p(x) \frac{2\pi}{n} \cos_p kx \text{ yoki } a_n = \frac{2}{n} \sum_{p=1}^n f_p(x) \cos_p kx \quad (4.8)$$

k garmonikaning amplituda qiymati.

$$a_k = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (4.9)$$

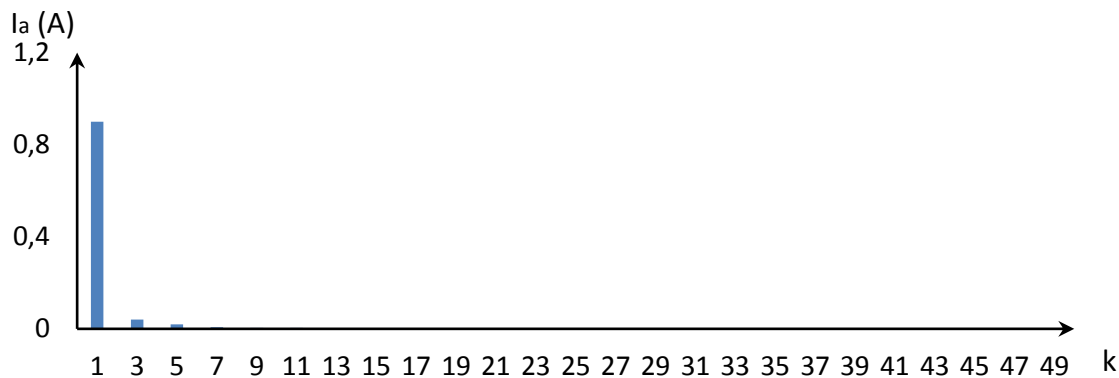
Funksiyaning umumiy garmonik buzilish qiymati.

$$THD_I = \sqrt{\sum_{k=2}^N \left(\frac{I_k}{I_1} \right)^2} \quad (4.10)$$

Asinxron motor reaktiv quvvatining yuqori garmonika toklarining qiymatini tahlil qilishning qulay metodi bu garmonikalarning chastotalar bo'yicha spektrial grafigidir. Yuqoridagi ifodalarga asosan uch fazali tok transformatori, har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalariga ega bo'lgan ketma-ket, parallel va differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish signallari asosida asinxron motorning reaktiv quvvatiga ta'sir ko'rsatuvchi yuqori garmonika toklari quyidagicha aniqlandi (4.1-Jadval).

4.1-Jadval

k	Tok transformatori Ia (A)	Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich Ua (V)	Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalarga ega, ketama-ket ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich Ua (V)	Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalarga ega, parallel ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich Ua (V)	Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalarga ega, differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich Ua (V)
1	0,8996	2,4948	2,4635	4,9577	4,9326
3	0,0410	0,1924	0,2343	0,3034	0,2963
5	0,0192	0,0363	0,0376	0,0431	0,0512
7	0,0074	0,0443	0,0543	0,0267	0,0264
9	0,0036	0,1267	0,0823	0,0524	0,0473
11	0,0039	0,0442	0,0387	0,0184	0,0182
13	0,0020	0,0053	0,0442	0,0106	0,0104
15	0,0013	0,0029	0,0054	0,0078	0,0068
17	0,0010	0,0042	0,0056	0,0061	0,0052
19	0,0007	0,0016	0,0033	0,0053	0,0042
21	0,0000	0,0024	0,0031	0,0047	0,0037
23	0,0000	0,0005	0,0052	0,0036	0,0025
25	0,0000	0,0009	0,0055	0,0043	0,0027
27	0,0000	0,0005	0,0053	0,0033	0,0023
29	0,0000	0,0019	0,0034	0,0030	0,0020
31	0,0000	0,0017	0,0011	0,0011	0,0011
33	0,0000	0,0006	0,0037	0,0006	0,0005
35	0,0000	0,0004	0,0030	0,0012	0,0011
37	0,0000	0,0013	0,0020	0,0018	0,0017
39	0,0000	0,0004	0,0044	0,0017	0,0016
41	0,0000	0,0003	0,0028	0,0017	0,0015
43	0,0000	0,0004	0,0006	0,0017	0,0014
45	0,0000	0,0006	0,0013	0,0021	0,0019
47	0,0000	0,0006	0,0032	0,0015	0,0014
49	0,0000	0,0009	0,0012	0,0006	0,0005



4.7-rasm. Tok transformatori chiqish signali yuqori garmonikalarining tahlili.

Tok transformatorining chiqish signali to‘la tokni ifodalaganligi bois asinxron motor reaktiv quvvatiga ta’sir ko‘rsatuvchi yuqori garmonika toklarini, asosiy magnet oqimi sababli aniqlash imkoniyati cheklangan. Natijada tok transformatorlari orqali asinxron motor reaktiv quvvatiga ta’sir ko‘rsatuvchi (3÷19) oraliqdagi garmonika toklarining qiymati aniqlandi. Umumiy garmonik buzilish qiymati o‘rtacha $THD_I=5.15\%$ ni tashkil etdi (4.7-rasm).

Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali asinxron motor uch fazali elektromagnet tok o‘zgartkich chiqish signali asosida aniqlangan asinxron motor reaktiv quvvatiga ta’sir ko‘rsatuvchi yuqori garmonikalarning qiymati quyidagicha:

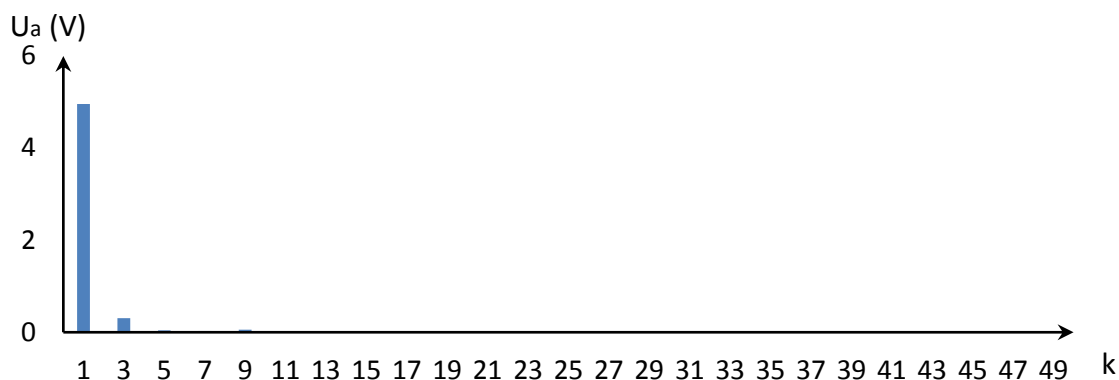


4.8-rasm. Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali asinxron motor uch fazali elektromagnet tok o‘zgartkich chiqish signali yuqori garmonikalarining tahlili.

Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqaga ega asinxron motor uch fazali elektromagnet tok o‘zgartichdan chiquvchi kuchlanish signalining qiymati

kamligi sababli, chiqish kuchlanish signaliga asosan 7, 9, 11, 17, 21 va 47 yuqori garmonika toklari ta'siri mavjud, bu esa o'lchash aniqligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Yuqori garmonikalar ta'sirida chiqish kuchlanish signalining umumiy garmonik buzilish qiymati o'rtacha $THD_1=9.688\%$ ni tashkil etdi.

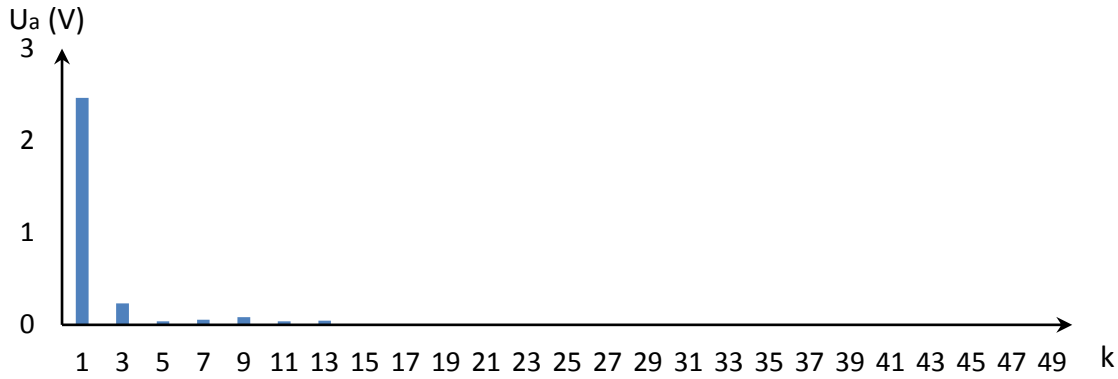
Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega va ketma-ket ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish signali asosida aniqlangan asinxron motor reaktiv quvvatiga ta'sir ko'rsatuvchi yuqori garmonikalarining qiymati quyidagicha:



4.9-rasm. Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega va ketma-ket ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish signali yuqori garmonikalarining tahlili.

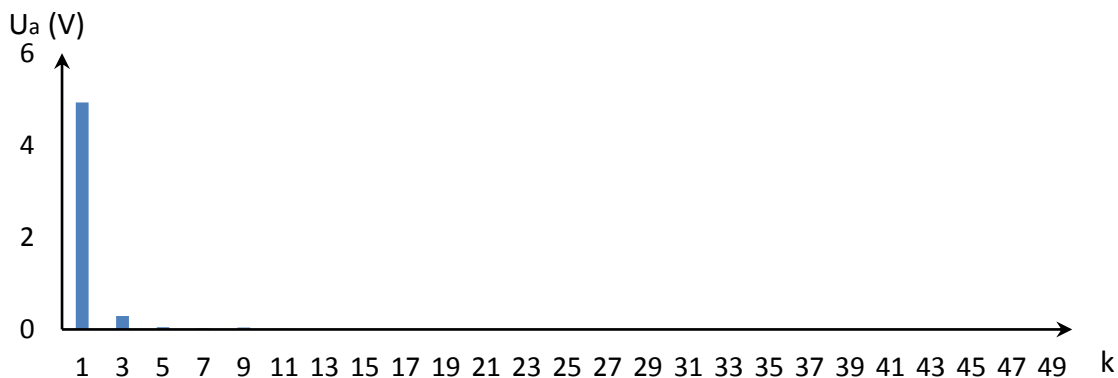
Statorga qutublararo simmetrik joylashtirilgan ikkita sezgir element xalqalari o'zaro ketma-ket ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartichdan chiquvchi signalning qiymatiga asosan 5, 9 va 47 yuqori garmonika toklari ta'siri mavjudligi aniqlandi. Asinxron motorda hosil bo'luvchi yuqori garmonika toklari ta'sirida chiqish kuchlanish signalining umumiy garmonik buzilish qiymati o'rtacha $THD_1=6.316\%$ ni tashkil etdi.

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega va o'zaro parallel ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish signali asosida aniqlangan asinxron motor reaktiv quvvatiga ta'sir ko'rsatuvchi yuqori garmonikalarining qiymati quyidagicha:



4.10-rasm. Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega va parallel ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish signali yuqori garmonikalarining tahlili.

Har bir faza uchun mos, ikkita sezgir element xalqalariga ega hamda parallel ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartichidan chiquvchi kuchlanish signalining qiymatlari orqali 5, 9, 11, 13, 23, 47 va 49 yuqori garmonika toklari ta'siri mavjudligi aniqlandi. Asinxron motorda hosil bo'luvchi yuqori garmonika toklarining ta'sirida chiqish kuchlanish signalining umumiy garmonik buzilish qiymati o'rtacha $THD_T=10.723\%$ ni tashkil etdi.



4.11-rasm. Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega va differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish signali yuqori garmonikalarining tahlili.

Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega va differensial ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartichidan chiquvchi kuchlanish signalining qiymatiga asosan 9 yuqori garmonika tokining ta'siri mavjudligi aniqlandi. Asinxron motorda hosil bo'luvchi yuqori garmonika toklari

ta'sirida chiqish kuchlanish signalining umumiy garmonik buzilish qiymati o'rtacha $THD_i=6.217\%$ ni tashkil etdi.

Yuqoridagi tadqiqotlar asosida asinxron motor reaktiv quvvatining nosinusoidal toklari garmonik buzilishlarini uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichi chiqish kattaliklari asosida aniqlash uchun Windows operatsion tizimida ishlovchi model yaratildi va ushbu model dasturi uchun Intellektual mulk agentligi tomonidan elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturga guvohnoma olindi (№ DGU 21665).

4.2-§. Filtr-kompensatsiya qurilmalarini uch fazali tok o'zgartkichlarini chiqish kattaliklarini raqamli texnologiyalar asosida nazorat qilish va boshqarishni tadqiq qilish

Hozirga kelib raqamli texnologiyalarning taraqqiy etib borishi bir necha sohalarining turli jarayonlarini avtomatlashtirish imkoniyati paydo bo'lmoqda. Bular sanoat tarmoqlari, kundalik hayot va ilmiy tadqiqot sohalaridir. Turli xil sezgir elementlarning xususiyatlariga ko'ra boshqariladigan parametr yoki ob'ekt haqida ma'lumotlarni olish asosida jarayonlar avtomatlashtiriladi. Sensorlardan avtomatlashtirish tizimlari bilan bir qatorda o'lchov tizimlarining elementlari sifatida ham foydalaniladi. Sensorlar ob'ektga o'rnatilgan holda uning belgilangan parametrlari to'g'risida ma'lumotlarni aniqlaydi. Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini masofadan monitoring qilish tizimi uchun quyidagi vositalardan foydalaniladi.

Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini monitoringining asosiy vazifasi, masofadan turib unda hosil bo'luvchi nosozliklar to'g'risida ma'lumotlarga ega bo'lish, yig'ilgan ma'lumotlar asosida uning ish samaradorligini oshirish yechimlarini ishlab chiqish hamda filtr-kompensatsiya qurilmalarini ishlash samaradorligini nazorat qilish va boshqarish iborat.

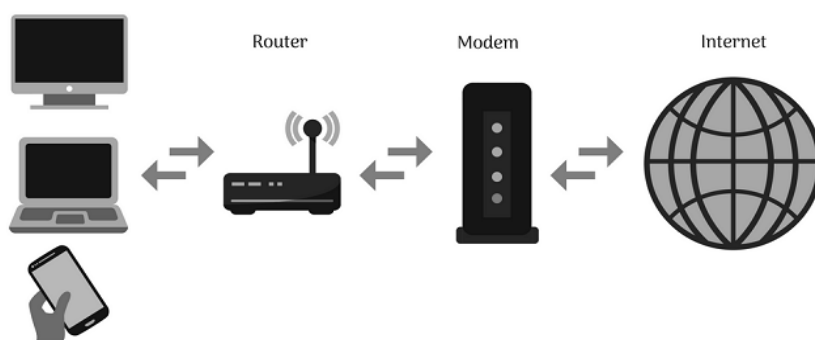
Monitoring tizimi asosiy 3 ta komponentlardan iborat:

1. Tizimni boshqarish.

2. Monitoring uchun ob'ekt to'g'risidagi ma'lumotlarni aniqlash.
3. Boshqaruv ma'lumotlar bazasini shakllantirish va monitoring malumotlarini internet tarmog'iga uzatish.

Yuqoridagi komponentalarga asosan qurilmalar orasida ma'lumot almashish uchun monitoring tizimida asosan ikki usuldagi bog'lanish mavjud bo'lib, ular simli va simsiz (radio signallar yordamida) bog'lanishlardir. Simli bog'lanish ham ikki turga bo'linadi, manzillashtirilgan va odatiy simli bog'lanishlarga. Manzillashtirilgan tizimlar orqali monitoring ob'ektidagi kuzatilayotgan qurilmaning aniq manzilini ta'minlaydi. Simsiz bog'lanish tizimi orqali boshqa qurilmalariga ma'lumot uzatish manzillashtirilgan va manzillashtirilmagan signal uzatish usullariga ega.

Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini monitoring tizimini loyihalashdagi asosiy muammo bu ma'lumot uzatish tarmog'ini ishlab chiqish hisoblanadi. Stator pazlariga joylashtirilgan sezgir element xalqalaridan chiquvchi kuchlanish signallari asosida filtr-kompensatsiya qurilmalarini sifatli va ishonchli tarzda nazorat qilish va boshqarish uchun simsiz tarmoq tizimlarini tahlil qilish va tanlash muhim hisoblanadi.



4.13-rasm. WiFi ga asoslangan simsiz monitoring tizimining tuzilishi.

Simsiz tarmoq tizimlarini tahlil qilishda va tanlashda tarmoqning o'tkazuvchanlik qobiliyati, ma'lumot uzatish masofasi, energiya sarfi va tarmoq hajmi kabi me'zonlar asosida amalga oshiriladi. Quyida WiFi, Bluetooth va ZigBee simsiz tarmoq texnologiyalari tahlil qilingan:

WiFi – ushbu simsiz tarmoq texnologiyasi ma'lumotlarni (2.4÷5) GHz chastota oralig'ida uzatadi va chastota bo'linishini multiplekslash texnologiyasi mavjud. WiFi orqali qisqa masofalarga ma'lumotlarni tezkor uzatish uchun mo'ljallangan, buning sababi uning ma'lumotlarni uzatish masofasi yuz metr radiusni tashkil etadi. Ushbu texnologiyadan foydalanish simsiz tarmoq tizimlarida ma'lumot almashish uchun yetarli hisoblanadi, shu bilan birga ushbu texnologiyadan oraliq signal kuchaytirgich vazifasida foydalanish yaxshi samara beradi. Bluetooth va ZigBee texnologiyalariga nisbatan ma'lumotlarni qisqa vaqt ichida uzata olishi aniqlangan (4.13-rasm).

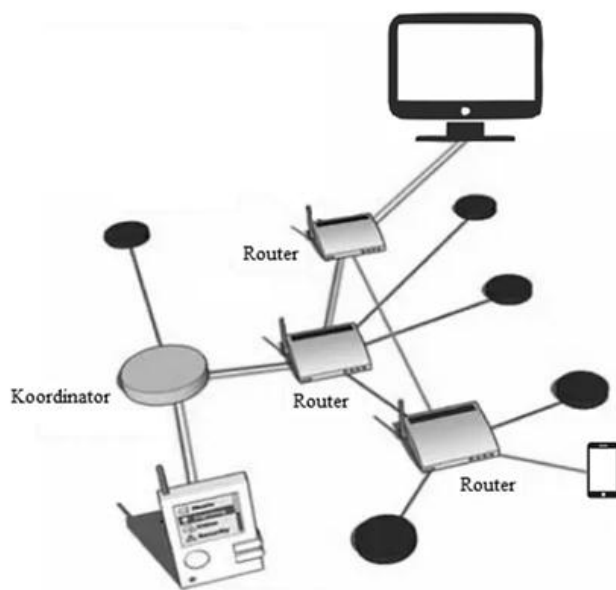


4.14-rasm. Bluetooth ga asoslangan simsiz monitoring tizimining tuzilishi.

Bluetooth – simsiz tarmoq texnologiyalari oilasiga mansub va (2.402÷2.480) GHz chastota oralig'idagi ma'lumotlarni uzata oladi. Yuqori chastota diapazonida, qo'zg'almas qurilmalar o'rtasida qisqa masofaga ma'lumotlarni uzatish uchun xizmat qiladi. Bluetooth (1÷10) m oralig'ida 10 Mbit/sek gacha tezlikda ma'lumotlarni uzata olish qobiliyatiga ega. Bluetooth texnologiyasidan odatda monitoring tizimlari uchun simsiz tarmoq texnologiyasi sifatida kamdan-kam foydalaniladi. Buning sababi monitoring tizimlaridagi ob'ektlar bir-biridan uzoq masofada joylashganligi uchundir (4.14-rasm).

ZigBee – ushbu simsiz tarmoq texnologiyasi yuqori darajadagi a'loqa protokollarini o'z ichiga olgan. ZigBee orqali ma'lumotlarni yig'ish va shaxsiy a'loqa tarmoqlarini yaratishda foydalaniladi. Bunda ZigBee tugunlari yordamida ma'lumotlarni yig'ish orqali monitoring maydoni tuziladi. Xizmat ko'rsatish doirasi

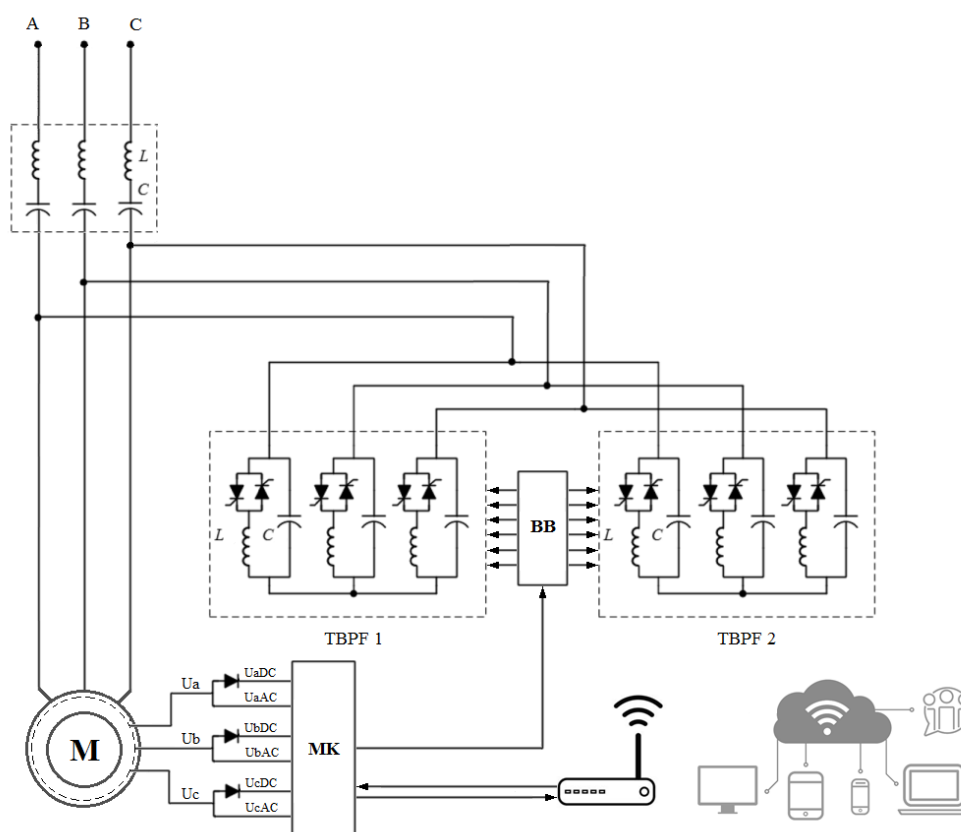
oraliq qurilmalar ma'lumotlarni retranslyatsiya qilish orqali kengayadi. Ushbu simsiz texnologiya orqali ma'lumotlarni uzoq masofaga uzatish mumkin, bunda tarmoq bir nechta oraliq qurilmalardan iborat bo'lishi talab etiladi. ZigBee texnologiyasi Bluetooth yoki Wifi kabi simsiz tarmoq texnologiyalariga qaraganda sodda, arzon va ma'lumot uzatish tezligi 250 kbit/sek ga teng. Bundan tashqari ushbu tarmoqda xavfsizlik masalasiga nisbatan mustaxkam himoyaga ega. Ushbu texnologiya bir nechta sohalarda keng qo'llanilmoqda (4.15-rasm).



4.15-rasm. ZigBee ga asoslangan simsiz monitoring tizimining tuzilishi.

Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini simsiz tarmoqlar orqali monitoring qilishda stator pazlariga joylashtirilgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichdan chiquvchi kuchlanish signali mikrokontroller boshqaruv blokining analog pinlariga ulanadi, buning sababi tok o'zgartkichdan o'zgaruvchan chiqish kuchlanishlari chiqadi. Sezgir element orqali olingan ma'lumotlar asosida asinxron motor reaktiv quvvatiga ta'sir ko'rsatuvchi yuqori garmonika toklari va nosimmetrik toklarning qiymati aniqlanadi. Natijada mikrokontroller real vaqt taymer moduli asosida har bir ma'lumotni belgilab boradi va digital pinlari orqali esa filtr-kompensatsiya qurilmasi tiristorlarining boshqaruv blokiga impuls ko'rinishidagi signallarni yuboradi, shu asosida asinxron motor uch

fazali elektromagnit tok o'zgartkichidan chiqayotgan signallarni vaqt bo'yicha monitoring qilish va filtr-kompensatsiya qurilmasini masofadan boshqarish imkoni mavjud bo'ladi. Aniqlangan ma'lumotlar GSM yoki Ethernet moduli yordamida SMS xabar yoki internet orqali Web sahifaga va boshqa ko'rinishlarda taqdim etiladi. Bulut texnologiyasi orqali SMS xabar yoki Web sahifaga taqdim etilgan axborotlar asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish kuchlanish signali nosimmetrik va yuqori garmonika toklarining qiymati va filtr-kompensatsiya qurilmasini ish samaradorligini belgilovchi ma'lumotlardan tashkil topadi (4.16-rasm).



4.16-rasm. Bulut texnologiyasi orqali asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich signali asosida filtr-kompensatsiya qurilmalarini monitoring qilish.

Monitoring qilishda aniqlangan ma'lumotlar monitoring markaziga yuboriladi. Ma'lumotlar asosida esa filtr-kompensatsiya qurilmasini nazorat qilish va boshqarish uchun qarorlar qabul qilinadi. Monitoring jarayoni yordamida o'rnatilgan texnik vositalardan olisda bo'lgan ma'lumotlar asosida nazorat,

boshqaruv va ekspluatatsiya personali tomonidan kelib chiqqan avariya sabablari tezkorlik bilan aniqlanadi va bartaraf etiladi. Masofadan monitoring tizimini qo‘llash orqali filtr-kompensatsiya qurilmalarini ishlash samaradorligini nazorat qilish va boshqarish asosida vaqt va resurs tejamkorligiga erishiladi.

Rivojlanib borayotkan simsiz tarmoqlarni yaratish orqali har bir soha vakillari o‘zining profilida IoT (Internet of Things) ni qo‘llash natijasida bir qancha yangi tadqiqot ishlarini amalga oshirishmoqda. Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarida IoT ni qo‘llash asosida reaktiv quvvatga ta’sir ko‘rsatuvchi jarayon va omillarni masofadan monitoring qilish muqobil yechim sifatida qaralmoqda. Shu bois yuqori aniqlikka va tezkorlikka ega bo‘lgan simsiz tarmoq tizimlarini yaratish dolzarb bo‘lib bormoqda.

Mikrokontrollerlar vazni va hajmi kichik bo‘lgan integral sxemalardan tashkil topadi hamda ular simsiz tarmoq tizimlarini yaratishda asosiy qurilma hisoblanadi. Shu bois mikrokontrollerlar boshqaruv va monitoring jarayonlarida keng foydalaniladi. Mikrokontroller tezkor va dastur xotiralariga hamda boshqa periferiya qurilmalari bilan o‘zaro bog‘lanish imkoniyatini ta’minlovchi kirish-chiqish portlariga ega (4.17-rasm).



4.17-rasm. Mikrokontrollerning tashqi ko‘rinishi.

Simsiz tarmoq tizimi orqali asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini masofadan monitoring qilish jarayonidagi signallarni qabul qilish, qayta ishlash va qurilmalarni boshqarishda mikrokontrollerning imoniyati, tezkorligi, narxi, tashqi magnit, elektromagnit va elektr ta’sirlardan

himoyalanganligi muhim ahamiyatga ega. Ushbu talablarni hisobga olgan holda filtr-kompensatsiya qurilmalarini masofadan monitoring tizimlariga mos keluvchi mikrokontrollerni tanlash asosiy vazifa hisoblanadi.

Har qanday monitoring tizimining strukturasi 3 ta qismdan tashkil topadi.

1. O'lchov qism (aniqlash).
2. Server qism (hisoblash).
3. Web sahifa (tasvirlash).

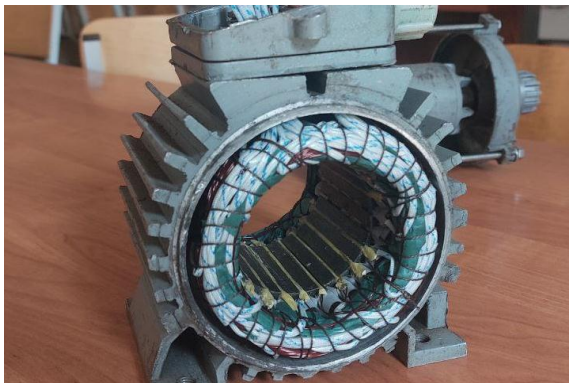
O'lchov qismida ob'ektning ma'lum qismiga o'rnatilgan sezish elementi orqali ob'ekt to'g'risidagi ma'lumotlarni aniqlaydi va boshqaruv blokiga uzatadi. Boshqaruv bloki qabul qilingan signallarni raqamli ko'rinishga o'zgartiradi va uni simsiz tarmoq tizimi orqali monitoring markaziga uzatadi. Monitoring markazida jamlangan ma'lumotlar internet orqali serverga uzatiladi, server xotirasiga yozib boriladi va shu bilan bir qatorda internet sahifasi orqali olingan ma'lumotlarni real vaqt davomida kuzatib borish imkoniyati mavjud.

Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini masofadan monitoring tizimi ma'lumotlarini Web dastur orqali serverdan olish mumkin bo'ladi. Buning uchun Web dasturga serverning manzilini yozish orqali murojat qilinadi. Web dasturning imkoniyatlaridan kelib chiqqan holda olingan ma'lumotlarni grafik yoki jadval ko'rinishida shakllantiriladi.

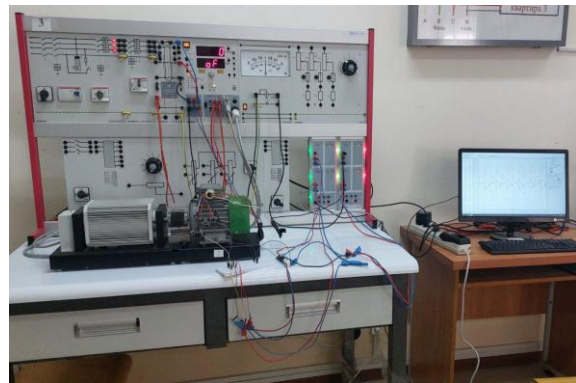
4.3-§. Asinxron motor reaktiv quvvatini nazorat qilishda va boshqarishda foydalaniluvchi filtr-kompensatsiya qurilmalariga mos uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarini amaliy tadqiqatlari

Asinxron motor reaktiv quvvatini kompensatsiyalovchi filtr-kompensatsiya qurilmalarining nazorati va boshqaruvidagi bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalariga ega bo'lgan ketma-ket, parallel va differensial sxemalarda ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarining fizik modellari mos tartibda tadqiq etilgan. Ushbu modellar asinxron motor uch

fazali elektromagnit tok o'zgartkichlarining tavsiflariga ko'ra ikkita sezgir element xalqali va o'zaro differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning chiqish signallari asinxron motor reaktiv quvvatning nosimmetrik va nosinusoidal toklarini yuqori aniqlikda tavsiflashi aniqlandi. Stator chulg'amlari bilan mos tartibda pazlarga joylashtirilgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning kirish va chiqish uchlari asinxron motor filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat qilish va boshqarish uchun statordan tashqariga chiqarilgan holatda bo'ladi. Har bir faza uchun mos, bitta sezgir element xalqasiga ega bo'lgan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning kirish va chiqish uchlari soni 6 ta bo'lsa, stator pazlariga joylashtirilgan, ikkita sezgir element xalqali uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning kirish va chiqish uchlarning soni 12 tadan iborat bo'ladi. 4.18-rasmda ASM ning stator chulg'amlari bilan mos va stator pazlariga joylashtirilgan sezgir element xalqalari va statorning tashqi ko'rinishi keltirilgan.



a)



b)

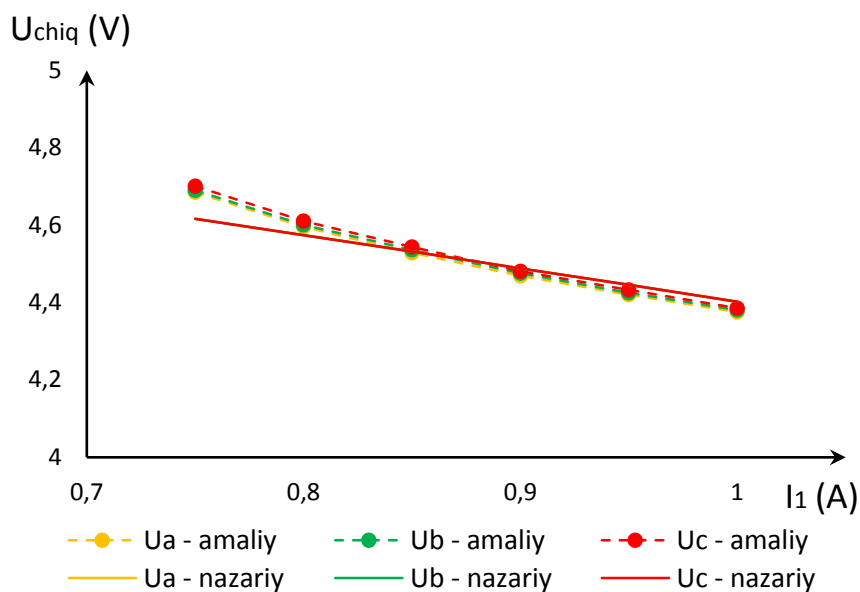
4.18-rasm. a) Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich sezgir element xalqalari joylashgan statorning ko'rinishi, b) asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal toklarini aniqlashning tadqiqot stendi.

Asinxron motr uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning chiqish signallari orqali asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat qilish va boshqarish uchun asinxron motorda hosil bo'luvchi nosimmetrik va yuqori garmonika toklari haqida ma'lumotlar berish uchun xizmat qiladi. Ushbu asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichi konstruktiv sodda va stator pazlariga

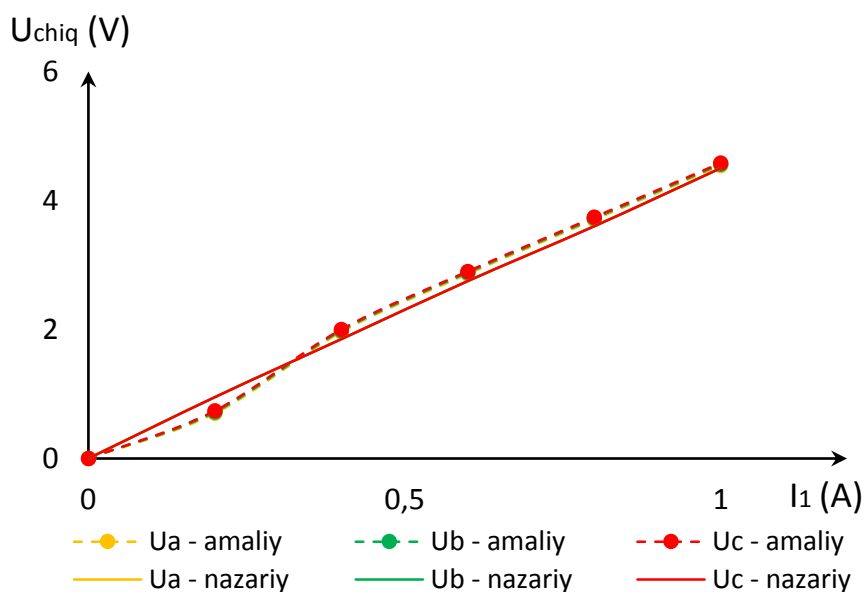
joylashtirish qulay hisoblanib, asinxron motor reaktiv quvvatiga ta'sir ko'rsatuvchi nosimmetrik va nosinusoidal toklari to'g'risidagi ma'lumotlarni uzluksiz signal ko'rinishida ta'minlash imkoniyatiga ega.

Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va yuqori garmonika toklarini qiymatini aniqlash, uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichdan chiquvchi, nazorat va boshqaruv qurilmalari uchun me'yorlangan 5 V kuchlanishga asosan amalga oshiriladi. Bevosita ushbu 5V belgilangan kuchlanishning miqdori elektromagnit tok o'zgartkichning o'ramlar soniga va ikki yoki undan yuqori bo'lgan sezgir element xalqalarining o'zaro ulanish usullariga bog'liq bo'ladi. Sezgir element xalqalarining o'ramlar soni stator chulg'ami va pona orasidagi bo'shliq joy hajmidan kelib chiqib tanlanadi. Chiqish kuchlanish signaliga statorda hosil bo'luvchi yuqori garmonika va ikkilamchi toklarni ta'siri aniqlanayotgan kattaliklar to'g'risida aniq ma'lumot olish uchun to'sqinlik qiladi. Shu sababli ushbu toklarni kompensatsiyalovchi, har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalaridan tashkil topgan, qarama-qarshi joylashtirilgan va o'zaro differensial ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichidan signal olish tamoyili ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalariga ko'ra ikkita sezgir element xalqalariga ega hamda bir-biri bilan differensial ulangan asinxron motor uch fazali tok elektromagnit o'zgartkichning chiqish signallarining aniqlik va adekvatlik ko'rsatkichlari yuqoriligi aniqlandi va Intellektual mulk agentligi tomonidan foydali model uchun guvohnoma olindi (№ FAP 02200).

Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari nazorati va boshqaruvi uchun har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega va o'zaro differensial ulangan, asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining tadqiq etilgan amaliy va nazariy statik tavsiflari quyida keltirilgan.



4.19-rasm. Sezgir element xalqlari differensial ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning statik tavsifi ($U_1=\text{const}$ shartga asosan).



4.20-rasm. Ikkita sezgir element xalqali hamda o'zaro differensial sxemada ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish signallarining stator tokiga bog'liqligining statik tavsiflari ($M_1=\text{const}$ shartga asosan).

Asinxron motorda hosil bo'luvchi nosimmetrik va yuqori garmonika toklarini ifodalovchi sezgir element xalqlari differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichning statik tavsifiga asosan uning chiqish kuchlanish signallarining adekvatligini aniqlash quyida keltirilgan:

Asinxron motorning salt ishlash rejimidagi chiqish kuchlanish signallarining adekvatligi:

$$\delta = \left| \frac{U_{amaliy} - U_{nazariy}}{U_{amaliy}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{4.685 - 4.616}{4.685} \right| \cdot 100\% = 1.472\%$$

Asinxron motorning nominal ishlash rejimidagi chiqish kuchlanish signallarining adekvatligi:

$$\delta = \left| \frac{U_{amaliy} - U_{nazariy}}{U_{amaliy}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{4.473 - 4.462}{4.473} \right| \cdot 100\% = 0.245\%$$

Asinxron motorning yuklama ($I_{yuk}=1.15I_{nom}$) ishlash rejimidagi chiqish kuchlanish signallarining adekvatligi:

$$\delta = \left| \frac{U_{amaliy} - U_{nazariy}}{U_{amaliy}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{4.375 - 4.402}{4.375} \right| \cdot 100\% = 0.617\%$$

Olib borilgan tadqiqot natijalariga asosan asinxron motor reaktiv quvvatiga bog‘liq, asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkich chiqish kuchlanish signallarining amaliy aniqlangan qiymatlarni nazariy aniqlangan qiymatlarga nisbatan farqi, asinxron motorning salt va nominal ish rejimlari oralig‘ida 1.472 % dan 0.245 % hamda nominal va yuklama rejimlari oraliqlarida 0.245 % dan 0.617 % o‘zgarishi aniqlandi.

Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari nazorati va boshqaruvi uchun har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali va ikkita sezgir element xalqalaridan tashkil topgan o‘zaro ketma-ket, parallel va differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarining chiqish kuchlanish signallari asosida asinxron motorda hosil bo‘luvchi nosimmetrik va yuqori garmonika toklarini aniqlashning fizik modeli o‘quv-ilmiy laboratoriyasida ishlab chiqilgan. Nosimmetrik va yuqori garmonika toklarini qiymatlarini aniqlashda Arduino mikrokontrolleridan foydalanilgan va dasturlash kodi Arduino IDE muhitida yozilgan (4.19-rasm).

Asinxron motorning ish davrida tashqi humit yoki yuklama ta'siri natijasida stator chulg'amlarining qizishi bevosita uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish kuchlanish siganallariga ta'siri mavjud. Olib borilgan tadqiqot natijalariga asosan, dastlab asinxron motor ishga tushmasdan oldin stator qismidagi temperatura $t=31.2^{\circ}\text{C}$ va stator chulg'amlarining aktiv qarshiliklari $R_A=8.23\text{ Om}$, $R_B=8.25\text{ Om}$, $R_C=8.28\text{ Om}$ ga tengligi aniqlandi. Nominal ish rejimida 25 daqiqadan so'ng stator qismidagi temperatura $t=52.7^{\circ}\text{C}$ va 35 daqiqadan so'ng esa $t=60.3^{\circ}\text{C}$ tashkil etdi. Tadqiqot yakunida stator chulg'amlarining aktiv qarshiliklari $R_A=9.18\text{ Om}$, $R_B=9.21\text{ Om}$, $R_C=9.25\text{ Om}$ ga o'zgarganligi aniqlandi.

Asinxron motor reativ quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat qilishda va boshqarishda stator temperaturasining ta'sirini hisobga olgan holda chiqish kuchlanish signallarini korreksiya qilish talab etiladi. Taqqiqot natijalariga asosan haroratning sezgir element qarshiligiga bog'liqligi quyidagicha:

$$R = R_0 \left(1 + \alpha(t_2 - t_1) + \beta(t_3 - t_2)^2 \right) \quad (4.11)$$

Aniqlangan tajriba natijalariga asosan, asinxron motor stator chulg'amining temperaturasi, $t=50^{\circ}\text{C}$ gacha chiziqli va undan yuqori temperaturalarda esa nochiziqli o'zgarishi aniqlandi va uni yuqoridagi formula orqali ifodalash mumkin. Tadqiqot natijalariga asosan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining asosiy ko'rsatkichlari quyidagicha:

4.1-Jadval

Manba kuchlanishi, (V)	380
Nominal chiqish kuchlanish signali, (V)	5
O'zgartirish oralig'i, A	0÷3000
Sezgir element xalqalarining soni	1 yoki 2
Sezgir element chulg'amlarining soni	2
Nominal chiqish kuchlanish signalining chastottasi, (Hz)	50
Statik tavsifi	chiziqli
Aniqligi, %	0.372
O'lchami, mm	0.04-1.5
Massa, kg	0,082 – 0,169

To'rtinchi bob bo'yicha xulosalar

1. Filtr-kompensatsiya qurilmalari nazorati va boshqaruvi uchun uch fazali toklarni elektromagnit tok o'zgartkichlari yordamida asinxron motorda hosil bo'luvchi nosimmetrik va yuqori garmonika toklarining qiymatlarini hamda chiqish kuchlanish signallari asosida quvvat koeffitsientini aniqlash ifodalari shakllantirildi va belgilangan ma'lumotlar aniqlandi. Olib borilgan tadqiqot natijalariga asosan asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat qilish va boshqarish algoritmlari ishlab chiqildi.

2. Sezgir element xalqalaridan chiquvchi kuchlanish signaliga statorda hosil bo'luvchi yuqori garmonika va ikkilamchi toklarni salbiy ta'sirini kamaytirish maqsadida har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalaridan tashkil topgan, stator chulg'amlari joylashgan pazlarga qarama-qarshi joylashtirilgan va o'zaro differensial ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichidan signal olish tamoyili ishlab chiqildi.

3. Asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari nazorati va boshqaruvidagi uch fazali toklarni elektromagnit o'zgartkichlarini joriy etish imkoniyatlari o'rganilgan va mahalliy ishlab chiqarish korxonalarida misolida asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal toklarini taxlili ko'rib chiqilgan. Har bir ishlab chiqarish korxonasida asinxron motor filtr-kompensatsiya qurilmalarini o'rnatish hamda nazorat va boshqaruv elementi sifatida taklif etilayotgan uch fazali toklarni elektromagnit o'zgartkichidan foydalanish, asinxron motor elektr yuritmasiga ega bo'lgan qurilmalarning elektr energiya isroflarini 5 % gacha qisqarishiga olib keldi.

4. Asinxron motor reaktiv quvvatiga bog'liq, asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkich chiqish kuchlanish signallarining amaliy aniqlangan qiymatlarni nazariy aniqlangan qiymatlarga nisbatan farqi, asinxron motorning salt va nominal ish rejimlari oralig'ida 1.472 % dan 0.245 % hamda nominal va yuklama rejimlari oraliqlarida 0.245 % dan 0.617 % o'zgarishi aniqlandi.

5. Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichining chiqish kuchlanish signallariga stator haroratining ta'sirini o'rganildi, natijada stator chulg'aming temperaturasi $t=50^{\circ}$ C gacha chiziqli va undan yuqori temperaturalarda esa nochiziqli o'zgarishi asosida chiqish kuchlanish signallariga ta'siri aniqlandi.

XULOSA

“Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari nazorati va boshqaruvi uchun uch fazali toklarni elektromagnit o‘zgartkichlari” mavzusi bo‘yicha olib borilgan ilmiy-tadqiqot natijalariga ko‘ra quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal toklari kattaliklarini aniqlovchi uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarning afzallik va kamchiliklari o‘rganildi, o‘zgartkichda sodir bo‘luvchi signal o‘zgartirish jarayonlari va o‘zgartkich elementlarining tuzilish asoslari tahlil qilindi, tadqiqotlarga asosan asinxron motor uch fazali toklarni elektromagnitli o‘zgartkichining chiqish signallarini aniqlilik, tezkorlilik va chiziqlilik ko‘rsatkichlari nazorat va boshqaruv tizimlari uchun belgilangan talablar doirasida ekanligi aniqlandi.

2. Asinxron motor iste‘mol qilayotgan reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal tok kattaliklarini tadqiq qilish imkonini beruvchi, har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalariga ega bo‘lgan uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarini matematik modellari va analitik ifodalari shakllantirildi.

3. Asinxron motor stator tokini, har bir faza uchun mos bo‘lgan bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalariga ega va o‘zaro ketma-ket, parallel va differensial sxemada ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichlarining chiqish signallariga bog‘liqligini statik tavsiflari, chiqish signallarining adekvatligi, turg‘unlikka erishish vaqtlari, texnik va metrologik ko‘rsatkichlari, me‘yoriy aniqlik sinfi 0,5 dan kichikligi va umumiy ishonchlilik ko‘rsatkichlari aniqlandi.

4. Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega va o‘zaro differensial ulash asosida sezgir element xalqalarida hosil bo‘luvchi ikkilamchi va statorda hosil bo‘luvchi yuqori garmonika toklarini, uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkich chiqish kuchlanish signaliga ta‘sirini kamaytirish usuli ishlab chiqildi.

5. Asinxron motor reaktiv quvvatiga bogʻliq, asinxron motor uch fazali elektromagnit tok oʻzgartkich chiqish kuchlanish signallarining amaliy aniqlangan qiymatlarni nazariy aniqlangan qiymatlarga nisbatan farqi, asinxron motorning salt va nominal ish rejimlari oraligʻida 1.472 % dan 0.245 % hamda nominal va yuklama rejimlari oraligʻlarida 0.245 % dan 0.617 % oʻzgarishi aniqlandi.

6. Asinxron motor filtr-kompensatsiya qurilmalarini oʻrnatish hamda ularni nazorat qilish va boshqarishda xar bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega va oʻzaro differensial ulangan uch fazali elektromagnit tok oʻzgartkichlardan foydalanish, asinxron motor reaktiv quvvatining nosimmetrik va nosinusoidal toklarini yuqori aniqlikda aniqlash imkoniyatini yaratdi, natijada ishlab chiqarish korxonalaridagi asinxron motorlarning elektr energiya isroflarini 5 % gacha qisqarishi hisobiga kutilayotgan yillik iqtisodiy samara 121.5 mln soʻmni tashkil etdi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Akagi H. Active harmonic filters // Proceedings of the IEEE. T. 93. 2005. № 12, pp. 2128-2141.
2. Amirov S.F., Yoqubov M.S., Jabborov N.G‘. Nazariy elektrotexnika // Darslik. Toshkent: 2016, 113-125 b.
3. Amirov S.F., Yoqubov M.S., Jabborov N.G‘. “Elektr o‘lchashlar”, Oliy o‘quv yurtlari talabalari uchun o‘quv qo‘llanma, - T.: ToshTYMI, 2007, 227 b.
4. Anthony H., Eng P. How harmonics have contributed to many power factor misconceptions // White Paper: MIRUS-TP003-A January 15, 2014, P: 2-8.
5. Dixon J., Moran L., Rodriguez J., Domke R. Reactive power compensation technologies // State-of-the-art review. Proc. IEEE 2005 (93) pp. 2144–2164.
6. Edward R. Hall-Effect Sensors: Theory and Application 2nd Edition // Newnes; 2nd edition (March 7, 2006), ISBN-10 : 0750679344, - 272 p.
7. Farid K., Mouna L., Abdelaziz Kh., Mohamed B. A Comparison of Symmetrical and Asymmetrical Three-Phase H-Bridge Multilevel Inverter for DTC Induction Motor Drives // IEEE Transactions on Energy Conversion, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011, 26 (1), pp.64-72.
8. Juan R.N. Real and Reactive Power Control of Induction Motor Drives // Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, 2016 | Pages: 12-30.
9. Karimjonov D.D. Asinxron motorning stator toki va quvvat koeffitsientini uch fazali tok datchigi asosida aniqlash // Ilm-fan, madaniyat, texnika va texnologiyalarning zamonaviy yutuqlari hamda ularning iqtisodiyotga tadbiqu, xalqaro ilimiy-amaliy anjuman. Andijon, 27-may, 2022. 95-97 b.
10. Karimjonov D.D. Rahmonov F.S. O‘lmasov A. Asinxron motor filter-kompensatsiya qurilmalarining uch fazali elektromagnit o‘zgartkichlari chiqish signaliga rotor parametrlarining ta’siri // Elektrotexnika, elektromexanika, elektrotexnologiyalar va elektrotexnika materiallari, Respublika ilmiy-texnika anjumani, Andijon, 23-dekabr 2022 y. 89-94 b.

11. Karimjonov D.D. Study of characteristics of three-phase electromagnetic current converters for filter-compensation devices of asynchronous motor reactive power // Novateur publications. International journal of innovations in engineering research and technology [IJIERT] ISSN: 2394-3696 website: ijiert.org volume 10, issue 1, jan. -2023.

12. Karimjonov D.D. Tok o'zgartkichning chiqish signalini esp8266 wifi moduli orqali nazorat qilish va boshqarish // "Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish jarayonlarini ishlab chiqarishning rivojlanishdagi o'rni va vazifalari" Respublika ilmiy-amaliy anjumani, Farg'ona, 22-23 oktabr 2021 y. 193-196 b.

13. Karimjonov D.D., Siddikov I.X., A'zamov S.S. Asinxron motor reaktiv quvvatining nosinusoidal va nosimmetrik ko'rsatkichlari nazoratini tadqiqot dasturiy ta'minoti // EHM uchun yaratilgan dasturning ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risida guvohnoma. № DGU 20213, 13.12.2022 y.

14. Karimjonov D.D., Siddikov I.X., A'zamov S.S., Uzakov R. Study on determination of an asynchronous motor's reactive power by the current-to-voltage converter // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, ICECAE-2022, doi:10.1088/1755-1315/1142/1/012023.

15. Klingshirn, E.A. Polyphase induction motor performance and losses on non-sinusoidal voltage sources // IEEE Trans. – 1968. – Vol. PAS-87. – P. 624–631.

16. Makhsudov M.M., Karimjonov D.D. Electromagnetic current converters for control of reactive power sources // Mashinasozlik ilmiy-texnika jurnali, ISSN 2181-1539 Andijon, 2022. № (3), 106-110 b.

17. 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.

18. Pinyol R. "Harmonics: causes, effects and minimization" (2015). Salicru white papers. [https://www.salicru.com/files/pagina/72/278/jn004a01_whitepaper-armonics_\(1\).pdf](https://www.salicru.com/files/pagina/72/278/jn004a01_whitepaper-armonics_(1).pdf).

19. Prashanna D.B. Study on effects of supply voltage asymmetry and distortion on induction machine // Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, 2013 | Pages: 16-55.
20. Rata G., Rata M., Graur I., Milici D.L. Induction Motor Speed Estimator Using Rotor Slot Harmonics. Adv. Electr. Comput. Eng. 2009, 9, P: 70–73.
21. Schaumburg H. Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik. Sensor–anwendungen // Stuttgart: B.G. Teubner, 2012, pp. 156-174.
22. Siddikov I.Kh., Boikhonov Z.O‘., Karimjonov D.D. Elements And Devices For Monitoring And Control of Energy Efficiency // The American Journal of Engineering and Technology (ISSN – 2689-0984), September 29, 2020 | Pages: 136-148, Doi: <https://doi.org/10.37547/tajet/Volume02Issue09-24>.
23. Siddikov I.Kh., Makhsudov M.T., Karimjonov D.D. Method of determination of stator current and power factor based on asynchronous motor three-phase current sensor // Chemical technology. Control and management. International scientific and technical journal, ISSN 1815-4840, Toshkent, 2022. № (2)104, pp. 30-38
24. Siddikov I.Kh., Karimjonov D.D., Abdigapirov A.A. Research of three-phases current’s transducers of filter-compensation devices for control reactive power’s consumption of asynchronous motor // Chemical technology. Control and management. International scientific and technical journal, ISSN 1815-4840, Toshkent, 2023. № (1)109, pp. 35-45
25. Siddikov I.Kh., Makhsudov M.T., Karimjonov D.D. Research of static characteristics of three-phase current sensors for control and monitoring of asynchronous motor filter-compensation devices // "New Intelligence Technology: Past, Present and Future", International Conference on Electrical Facilities and informational technologies 2022. Turin Polytechnic University in Tashkent, Uzbekistan, august-13, 2022 | Pages: 213-216.
26. Steve L. Current Transformers // Bonneville Power Administration. Revision 1.2, 2013 – 142 p.

27. Siddikov I.X., Karimjonov D.D. Asinxron motor uch fazali tok o'zgartkichining chiqish signaliga rotor parametrlarining ta'sirini tadqiq qilish // Mashinasozlik ilmiy-texnika jurnali, ISSN 2181-1539 Andijon, 2022. № (2), 139-146 b.

28. Siddikov I.X., Karimjonov D.D., A'zamov S.S. "Asinxron motor reaktiv quvvatining nosinusoidal toklari garmonik buzilishlarini uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichi chiqish kattalikasi asosida aniqlash tadqiqot dasturiy ta'minoti" O'zR EHM uchun dasturlar davlat reestirida 24.01.2023 yil ro'yhatdan o'tkazilgan, № DGU 21665.

29. Yusufbekov N.R., Aliyev R.A., Aliyev R.R., Yusufbekov A.N. "Boshqarishning intellektual tizimlari va qaror qabul qilish". Davlat ilmiy nashriyoti "O'zbekiston milliy ensiklopediyasi" Toshkent – 2015 yil.

30. Абдуллаев М., Каримжонов Д.Д. Исследование динамических характеристик трехфазных электромагнитных преобразователей тока фильтр-компенсационного устройства реактивной мощности асинхронного двигателя // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2023. 2(107). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15042>.

31. Амиров С.Ф., Хушбоков Б.Х., Балгаев Н.Е. Многодиапазонные трансформаторы тока // Электротехника. – М.: 2009. – №2. 61–64 с.

32. Анарбоев М.А. Реактив қувватни бошқариш тизимлари учун функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит токни кучланишга ўзгартгичлар // Дисс. PhD – Тошкент 2021. 112-114 б.

33. Балабанов А. А. Преобразователи ток — напряжение: анализ и синтез // Электронные информационные системы № 3 (10) 2016, С. 65-74.

34. Геллер Б. Высшие гармоники в асинхронных машинах. - Москва.: Энергия, 1981 - 351 с.

35. Каримжонов Д.Д. Ток ўзгарткич сигнали асосида асинхрон моторни назорат қилиш ва бошқариш // Фарғона политехника институти илмий-техника журнали, ISSN 2181-7200, Farg'ona, 2021. № (1), 85-90 б.

36. Мажидов С. Электротехникадан русча ўзбекча изохли луғат // Справочник. 1985. 32-57 б.

37. Махсудов М.Т. Асинхрон мотор реактив кувватинининг назорат ва бошқарувини уч фазали ток ўзгарткичлари // Дисс. PhD – Андижон 2021. – 12 – 56 б.

38. Махсудов М.Т., Каримжонов Д.Д. Асинхрон моторларнинг реактив кувватини назорат ва бошқаруви учун ток ўзгарткичларининг динамик тавсифлари тадқиқи // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари, ISSN 2091-5985, Toshkent, 2021. № (3), 240-248 б.

39. Немцев Г.А. Влияние высших гармонических составляющих на работу асинхронных двигателей // Вестн. Чуваш. Ун-та. – 2014. – № 2. 46–51 с.

40. Пирматов Н.Б., Умирзоков А. “Способы повышения энергоэффективности электропривода с асинхронными двигателями”. // Студенческий вестник: электрон. Научный журнал, 2021. № 20(165). URL: <https://studvestnik.ru/journal/stud/herald/165> (дата обращения: 12.03.2023).

41. Плахтиев А.М. “Высоковольтные инновационные многопрофильные измерительные бесконтактные преобразователи систем контроля и управления”. Россия, Уфа (2019).- ISBN 978-5-4221-1298-2.

42. Сиддиков И.Х. Электромагнитные преобразователи тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками для комбинированного управления реактивной мощностью энергосистем. Дисс. докт. тех. наук. Тошкент – 2015. 23-45 с.

43. Сиддиков И.Х. Электромагнитные преобразователи тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками // Монография. – Ташкент, ТашГТУ, 2012. – 106 с.

44. Сиддиков И.Х., Боихонов З.У. Патент РУз (UZ) № FAP 01943. Преобразователь тока в напряжения // Расмий ахборотнома, 2022. - №5.

45. Сиддиков И.Х., Боихонов З.У., Сиддиков О.И., Каримжонов Д.Д. Патент РУз (UZ) № FAP 20220131/3-сон. Преобразователь тока в напряжения // Патент бериш тўғрисидаги қарор, 2022.

46. Сиддиков И.Х., Каримжонов Д.Д., Аъзамов С.С. Патент РУз (UZ) № FAP 02200. Преобразователь тока в напряжения // Расмий ахборотнома, 2023. - №2.

47. Ҳасанов Д.Т. Телекоммуникация объекти энергия таъминоти манбаларининг симсиз сенсор тармоқлар асосидаги мониторинг модели // Дисс. PhD – Тошкент 2021. –118 с.

48. Хужаматов Х.Э. Телекоммуникация тизимлари гибрид энергия таъминот манбаларининг адаптив бошқарув моделлари ва воситалари // Дисс. PhD – Тошкент 2018. –117 с.

49. Юсупбеков Н.Р., Игамбердиев Х.З., Маликов А.В. Основы автоматизации технологических процессов // Учебное пособие для высшего и среднего специального образования. В 2-х ч. – Ташкент: ТГТУ, 2007. Ч.1. – 110-132 с.

50. IEC 61000-3-12: Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and ≤ 75 A per phase.

51. IEEE 519-2014 - Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.

52. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

53. <http://www.dvigatel.org>

54. <http://www.lex.uz>

55. <http://www.norma.uz>

56. <https://minenergy.uz>

SHARTLI QISQARTMALAR

Q_0 – asinxron motorning salt ishlash rejimidagi reaktiv quvvati

Q_{qt} – asinxron motorning qisqa tutashuv rejimidagi reaktiv quvvati

Q_{ASM} – asinxron motorning reaktiv quvvati

I_0 – asinxron motorning salt ishlash toki

I_{qt} – asinxron motorning qisqa tutashuv toki

P_0 – asinxron motorning salt ishlash rejimidagi aktiv quvvati

P_{qt} – asinxron motorning qisqa tutashuv rejimidagi aktiv quvvati

FIKEMO‘ – funksional imkoniyatlari kengaytirilgan elektromagnit o‘zgartkich

THD_I – umumiy garmonik buzilish koeffitsienti

U_a, U_b, U_c – asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichining chiqish kuchlanish signallari

U_A, U_B, U_C – asinxron motorning statoriga berilayotgan kuchlanishlar

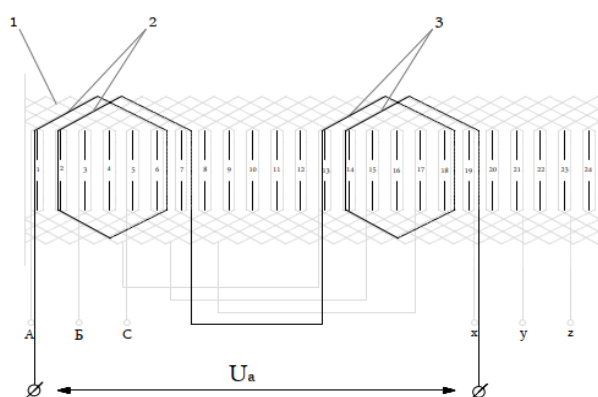
U_m – stator chulg‘amlaridagi mos yo‘nalgan kuchlanish

U_q – stator chulg‘amlaridagi qarama-qarshi yo‘nalgan kuchlanish

FTE – fizik-texnik effekt

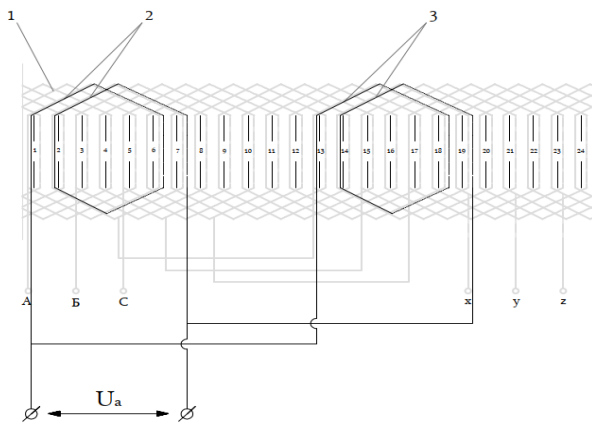
K_n – nosimmetriya koeffitsienti

ILOVALAR



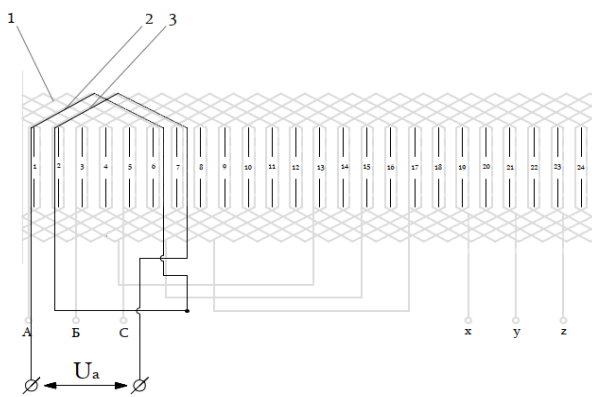
Ikkita sezgir element xalqalari ega, qutublararo joylashtirilgan va o‘zaro ketma-ket ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichi (A faza uchun).

- 1) Stator chulg‘amlari,
- 2) sezgir elementning birinchi xalqasi,
- 3) sezgir elementning ikkinchi xalqasi.



Ikkita sezgir element xalqalari ega, qutublararo joylashtirilgan va o‘zaro parallel ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichi (A faza uchun).

- 1) Stator chulg‘amlari,
- 2) sezgir elementning birinchi xalqasi,
- 3) sezgir elementning ikkinchi xalqasi.



Ikkita sezgir element xalqalari ega, pazlararo joylashtirilgan va o‘zaro differensial ulangan asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkichi (A faza uchun).

- 1) Stator chulg‘amlari,
- 2) sezgir elementning birinchi xalqasi,
- 3) sezgir elementning ikkinchi xalqasi.