



AKTIV FILTRLI CHASTOTALI O'ZGARTIRGICH ASINXRON MOTOR–NASOS-XAVZA TIZIMINING MATEMATIK MODELI

Shayumova Z. [009-002-1391-7996]

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, PhD, dotsent

E-mail: shayumovaz@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu ishda aktiv filtrli chastotali o'zgartirgich – asinxron motor – nasos – xavza (AFChO'–AM–N–X) tizimining matematik modeli ishlab chiqilgan. Tadqiqotda aktiv filtrli chastota o'zgartirgich asinxron motor va nasos tizimidagi energiya samaradorligini oshirish hamda tizimning barqaror ishlashini ta'minlovchi boshqaruv algoritmlarini takomillashtirishdan iborat. Modelda chastotali o'zgartirgichning chiqish toki va kuchlanishining o'zgaruvchan komponentlari, aktiv filtrning garmoniklarni kompensatsiya qilishdagi roli, asinxron motorning elektromagnit jarayonlari hamda nasosning gidravlik xarakteristikasi inobatga olingan. Shuningdek, xavzadagi suyuqlik sathi va bosim dinamikasini tavsiflovchi differensial tenglamalar tizimi bilan integratsiyalangan holda kompleks matematik model qurilgan. Tizimning har bir bo'g'ini uchun fizik jarayonlar asosida linearlashtirilgan va nolinear ifodalar shakllantirildi, ular Matlab/Simulink muhiti yordamida modellashtirildi. Natijada, aktiv filtrning mavjudligi elektr tarmoqqa qaytuvchi reaktiv quvvatni kamaytirishi, motor momentining tebranishlarini pasaytirishi hamda nasosning silliq ishga tushishini ta'minlashi isbotlandi. Tadqiqot natijalarini respublikaning barcha irrigatsiya tizimlarida va energetika yo'nalishidagi nasos stansiyalarida avtomatlashtirilgan elektr yuritmalarni loyihalashda qo'llash ahamiyatli hisoblanadi.

Kalit so'zlar: aktiv filtr, chastotali o'zgartirgich, asinxron motor, nasos, xavza, matematik model, energiya samaradorligi, modellashtirish.

Аннотация. В данной работе разработана математическая модель системы «активный фильтр-преобразователь частоты – асинхронный двигатель – насос – бассейн» (АФЧО'–АМ–N–X). Целью исследования является повышение энергоэффективности активного фильтра-преобразователя частоты в системе «асинхронный двигатель – насос» и совершенствование алгоритмов управления, обеспечивающих устойчивую работу системы. Модель учитывает переменные составляющие выходного тока и напряжения преобразователя частоты, роль активного фильтра в компенсации гармоник, электромагнитные процессы асинхронного двигателя и гидравлические характеристики насоса. Также построена комплексная математическая модель, интегрированная с системой дифференциальных уравнений, описывающих динамику уровня и давления жидкости в бассейне. Для каждого звена системы сформированы линеаризованные и нелинейные выражения на основе физических процессов, моделирование которых проводилось с использованием среды Matlab/Simulink. В результате доказано, что наличие активного фильтра снижает реактивную мощность, возвращаемую в сеть, уменьшает колебания момента двигателя и обеспечивает плавный пуск насоса. Результаты исследования актуальны для применения при проектировании автоматизированных электроприводов на всех оросительных системах и насосных станциях республики в энергетике.

Ключевые слова: активный фильтр, преобразователь частоты, асинхронный двигатель, насос, бассейн, математическая модель, энергоэффективность, моделирование.

Abstract. In this work, a mathematical model of the active filter frequency converter - asynchronous motor - pump - basin (AFChO'–AM–N–X) system was developed. The research aims to improve the energy efficiency of the active filter frequency converter in the asynchronous motor and pump system and improve the control algorithms that ensure the stable operation of the system. The model takes into account the variable components of the output current and voltage of the frequency converter, the role of the active filter in compensating harmonics, the electromagnetic processes of the asynchronous motor, and the hydraulic characteristics of the pump. Also, a complex mathematical model was built, integrated with a system of differential equations describing the dynamics of the liquid level and pressure in the basin. Linearized and nonlinear expressions were formed for each link of the system based on physical processes, which were modeled using the Matlab/Simulink environment. As a result, it was proven that the presence of an active filter reduces the reactive power returned to the power grid, reduces the fluctuations of the motor torque, and ensures smooth start-up of the pump. It is important to apply the



results of the research in the design of automated electrical drives in all irrigation systems and pumping stations of the republic in the energy sector.

Keywords: active filter, frequency converter, asynchronous motor, pump, basin, mathematical model, energy efficiency, modeling.

Kirish

Ma'lumki, nasos stansiyalarida reaktiv quvvatni kompensatsiyalash bir qator muammolarni keltirib chiqarishi mumkin. Aynan shunday muammolarni bartaraf etishda, bugungi kunda nasos stansiyalarida ventelli o'chirgichlardan qo'llanilmoqda. Vintelli o'chirgichlarning keng qo'llanilishi birinchi navbatda reaktiv quvvat kompensatsiyasining tarmoqqa beradigan ta'mirini kamaytirishdagi muammolarni yechilishida xizmat qiladi.

Yuqorida keltirib o'tilganidek, reaktiv quvvat kompensatsiyasining ta'minlovchi tarmoqqa ta'sirini kamaytirishda bir qator yuklamalar muhim rol o'ynaydi. Bunday yuklamalardan biri, reaktiv quvvatning asosiy iste'molchilari bo'lgan asinxron dvigatel va transformatorlar bo'lib hisoblanadi. Yana shuni alohida aytib o'tish kerakki, reaktiv quvvat iste'molni xarakterlovchi asosiy koeffitsiyentlaridan biri bu quvvat koeffitsiyentidir. Reaktiv quvvat koeffitsiyentining qiymani aktiv va reaktiv quvvat o'rtasidagi munosabatni xarakterlab, iste'molchida reaktiv quvvat iste'molining kompensatsiyalash darajasini baholash imkoniyatini beradi. Yana bir narsani alohida aytib o'tish kerakki, reaktiv quvvat normal holatda ishlayotgan qurilmalarning normal ish rejimlariga salbiy ta'sir ko'rsatmaydi, lekin ta'minlash liniyasida qo'shimcha quvvatlarning hosil bo'lishiga olib keladi. Bu esa o'z navbatida, tarmoqda hamda ta'minlovchi tarmoqda kuchlanish qiymatini tushishi bilan xarakterlanadi, bu esa o'z navbatida iste'molchida elektr energiyasini sifat ko'rsatkichlaridan biri kuchlanish qiymatining o'zgarilishiga sabab bo'lishi mumkin. Shuning uchun ham sanoat korxonalarida yirik nasos stansiyalarida, umuman reaktiv quvvat manbalari o'rnatilgan iste'molchilarda rostlanuvchan reaktiv quvvat manbalari qo'llaniladi. Bunday manbalarni qo'llanilishi o'z navbatida, yuqorida keltirilgan ya'ni kuchlanish qiymatining o'zgarishi ta'minlovchi tarmoqning yuklama tokining o'zgarishi yoki mana shu qiymatlarning o'zgarishi natijasida sodir bo'ladigan nonormal rejimlarning sodir bo'lmisligi ta'minlanadi.

Amaliyotda yirik nasos stansiyalarining barchasida ham eksperimental tadqiqotlarni o'tkazish imkoniyati mavjud emas. Ya'ni, nasos stansiyalariga qo'yilgan o'ziga xos texnik talablar ularda eksperimental tadqiqotlarni olib borishga sharoit yaratmaydi. Aynan shunday holatlarda, mavjud jarayonlar matematik modellashtirish maqsadga muvofiq bo'lib hisoblanadi. Xususan nasos stansiyalaridagi elektr motorlarning matematik modellarini ishlab chiqish, bu aynan mana shu motorlardagi jarayonlarni matematik modellashtirish imkoniyatini beradi. Bu esa matematik yo'l bilan olingan natijalarni nazariy ma'lumotlar bilan taqqoslash ularni adekvatligini asoslash bo'yicha qarorlar qabul qilishga zamin yaratadi.

Bu elektr motorning matematik modelini ishlab chiqishda 2 ta asosiy ko'rsatkichni hisobga olish maqsadga muvofiq bo'lib hisoblanadi. Bular: birinchisi ta'minlovchi tarmoqning nesimmetriya kuchlanishi hamda ta'minlovchi tarmoqning qarshiligi. Mazkur ikkita parametrning hisobga olinishi matematik modelda asinxron motorda bo'ladigan jarayonlarni yuqori aniqlikda modellashtirish imkoniyatini beradi.

Albatta barcha matematik modellarni ishlab chiqishda bo'lgani kabi asinxron elektr motorlarning matematik modellarini ishlab chiqishda ham bir qator istisnalar qilinadi ya'ni, yo'l qo'yilayotgan istisnolarni hisoblash ishlarining soddalashtirilishiga ulardan ma'lum bir qiymatlarni hisobga olinmasligiga sabab bo'ladi. Aytib o'tilgan ko'rsatkichlarning inobatga olmasligi jarayonlarni modellashtirish ishonchliligiga ta'sir



etmaydi. Xususan, asinxron elektr motorning matematik modellashirishda quyidagi istisnolar qabul qilinadi:

- asinxron dvigatelning magnit o'tkazuvchi qismi to'yinmagan;
- po'lat o'zakda mexanik isroflarning qiymati kam bo'lganligi sababli uni hisobga olmasa ham bo'lishi;
- havo oralig'i teng taqsimotga ega.

Rotor va stator toklarining differensial tenglamalar tizimini vektor-matrisa shaklida yozish qulay bo'ladi:

$$\frac{d[i]}{dt} = [L_1]^{-1} \left\{ [U] - \left([R] + [L_2] \cdot \frac{\omega}{\sqrt{(3)}} \cdot [i] \right) \right\} \quad (1)$$

bu yerda, $[i]$ – toklar vektori (stator va rotor toklari), $[U]$ – kuchlanishlar vektori, $[R]$ – qarshiliklar matrisasi, $[L_1], [L_2]$ – stator va rotorning induktivliklar matrisasi, ω – elektrodvigatel valining aylanishlar chastotasi.

Elektrodvigatelning elektromagnitik momenti quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$M = p_n \frac{\sqrt{3}}{2} L_m [(i_A i_c + i_B i_a + i_C i_b) - ((i_A i_b + i_B i_c + i_C i_a))] \quad (2)$$

bu yerda L_m – tizimning magnit qarshiligi, $i_A, i_B, i_C, i_a, i_b, i_c$ – mos ravishda stator va rotorning fazalaridagi toklar, p_n – qutblar juftliklarining soni.

Asinxron dvigatelning harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{J_\Sigma}{p_n} \cdot \frac{d\omega}{dt} = M - M_c \quad (3)$$

bu yerda, J_Σ – dvigatelning valiga keltirilgan aylanuvchi massalarning yig'indi inersiya momenti, M_s – dvigatelning validagi statik moment.

Qurilgan analitik model garmonik modellashirish uslubida asinxron dvigatelni chastotali boshqarishda isroflarni minimallashtirishni aniqroq qidirishni ta'minlaydi.

Agar havo tirqishida magnit induksiyasining o'zgarishi sinusoidal deb qabul qilinsa:

$$b_\delta = b_{\delta 1} = B_{\delta 1} \sin \left(\frac{\pi}{\tau_1} x - \omega_1 t \right) \quad (4)$$

u holda havo tirqishida magnit yurituvchi kuch (MYuK)

$$f_\delta = f_{\delta 1} = F_{\delta 1} \sin \left(\frac{\pi}{\tau_1} x - \omega_1 t \right) \quad (5)$$

Tishlar va o'zakda magnit yurituvchi kuchni aniqlashda po'latning magnitlanish egri chizig'ini giperbolik sinus ko'rinishida approksimasiyalaymiz:

$$h = \alpha \sinh(\beta b) \quad (6)$$

bu yerda, α va β – po'latning markasi va tishlardagi MYuK ga bog'liq bo'lgan koeffitsiyentlar.

Aktiv filtrli chastota o'zgartirgichning matematik modeli differensial tenglamalar tizimi yordamida tasvirlanishi mumkin. Ushbu tizim bir necha bloklardan iborat:

Tekshirish bloki: Bu blok kerakli chiqish chastotasini aniqlaydi va nazorat signalini yaratish uchun tegishli faza burchagini hisoblab chiqadi.

Fazani o'zgartirish bloki: Bu blok nazorat bloki tomonidan hisoblangan faza burchagini oladi va uni nazorat signalini yaratish uchun ishlatiladigan murakkab koeffitsiyentga aylantiradi.

Boshqaruv signalini ishlab chiqarish bloki: Bu blok quvvat modulini boshqaradigan nazorat signalini yaratish uchun fazani o'zgartirish blokidan olingan murakkab koeffitsiyentdan foydalanadi.

Quvvat moduli bloki: Bu blok nazorat signalini oladi va uni o'zgaruvchan kuchlanishda kerakli chastota va amplitudaga aylantiradi.

Aktiv filtr qismi: Bu bo'lim quvvat moduli tomonidan berilgan keraksiz garmonikalarni filtrlaydi va chastotaning zarur to'lqin shakli bilan chiqish signalini yaratadi.

O'zgartirgichning matematik modelini quyidagi tenglama bilan ifodalash mumkin:

$$U = E + L \cdot \frac{dI}{dt} + R \cdot I + F \cdot \sin(\omega t) \quad (7)$$



bu yerda: U - chastota o'zgartirgichning chiqish kuchlanishi E - nasos motorining elektr harakat kuchi L – motor cho'lg'amining induktivligi, I – motor cho'lg'amida orqali oqadigan tok, R – motor cho'lg'amining qarshiligi, F - chastota o'zgartirgichining boshqaruv signali, w - boshqarish signali chastotasi

Umuman olganda, aktiv filtrli chastota o'zgartirgichining matematik modelini uzatish funksiyasi yordamida ham tasvirlash mumkin. Bu usul kirish va chiqish signalini bir biriga bog'laydi va qurilmaning xususiyatlarini ifodalaydi. Funksiyani quyidagi shaklda yozish mumkin:

$$H(s) = G(s)/(1 + G(s) \cdot F(s)) \quad (8)$$

bu yerda $G(s)$ -quvvat modulini uzatish funksiyasi, $F(s)$ -aktiv filtr uzatish funksiyasi va s -kompleks chastota.

Asinxron dvigatelning matematik modeli motorning elektr va mexanik xususiyatlarini tavsiflovchi tenglamalarga asoslanadi. Asinxron vosita stator va rotordan iborat bo'lib, ularni quyidagi tenglamalar bilan tavsiflash mumkin:

Stator tenglamasi:

$$U_s = R_s \cdot i_s + \frac{d\lambda_s}{dt} + p\omega_s \cdot \lambda_s \quad (9)$$

Rotor tenglamasi:

$$U_r = R_r \cdot i_r + \frac{d\lambda_r}{dt} + p\omega_r \cdot \lambda_r \quad (10)$$

bu yerda U_s va U_r mos ravishda stator va rotordagi kuchlanishlar, va i_s va i_r mos ravishda stator va rotordagi oqimlar, R_s va R_r mos ravishda stator va rotorning qarshiligi, $d\lambda_s$ va $d\lambda_r$ - mos ravishda magnit oqimlari stator va rotorda, ω_s va ω_r - mos ravishda stator va rotorning magnit maydonlarining aylanish tezligi burchak, p - qutblar juftlarining soni.

Asinxron motorning mexanik qismini tavsiflashning bir necha usullari mavjud, ulardan biri rotor harakati tenglamasiga asoslanadi:

$$\frac{Jd\omega_r}{dt} = M - M_s \quad (11)$$

bu yerda J - rotorning inersiya momenti, ω_r - rotorning burchak tezligi, M - stator maydoni tomonidan yaratilgan moment, M_s - yukning mexanik momenti, ya'ni nasos agregati.

Nasos blokining matematik modeli tenglama bilan ifodalanishi mumkin:

$$Q = C \cdot \sqrt{H} \quad (12)$$

bu yerda: Q - nasos orqali suyuqlik oqimi, H - nasos bosimi, C - nasos koeffisienti.

Rezervuarining matematik modelini tenglama bilan ifodalash mumkin:

$$H = (Q_{in} - Q_{out})/A \quad (13)$$

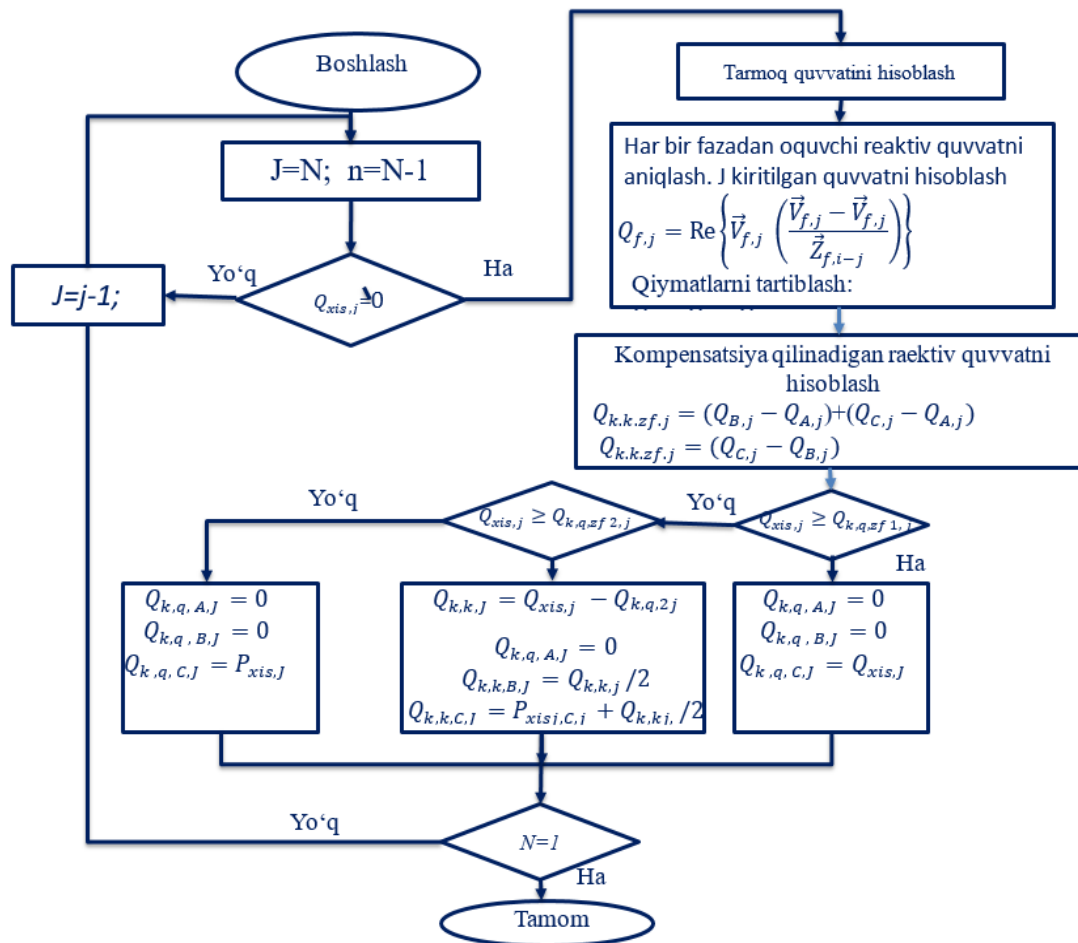
bu yerda: H – suv omborining suyuqlik darajasi, Q_{in} – suv omborining suyuqlik iste'moli, Q_{out} - suv omboridan suyuqlik iste'moli, A – suv ombori ko'ndalang kesim maydoni, Reaktiv quvvat kompensasiyasining matematik modeli tenglama bilan ifodalanishi mumkin

$$Q_{comp} = \tan(\varphi) \cdot P \quad (14)$$

bu yerda: Q_{comp} – kompensasiyalanadigan reaktiv quvvat, P - aktiv quvvat, φ -tarmoqdagi kuchlanish va oqim o'rtasidagi burchak

Shunday qilib, "reaktiv quvvat kompensasiyasiga ega chastota o'zgartirgichi - nasos agregati – xavza" tizimining matematik modeli ishlab chiqildi. Natijada chastota o'zgartirgichining chiqish kuchlanishiga, motoridagi tok va kuchlanishga, oqim tezligiga bog'liq bo'lgan tenglamalar tizimi, havzadagi suv darajasi va kompensasiyalovchi reaktiv quvvat bilan tavsiflanishi mumkin.

1-rasmda nasos agregatlarining unumdorligini rostlashda reaktiv quvvatni kompensasiyalashni hisoblash algoritmi keltirilgan[1].



1-rasm. Nasos agregatlarining unumdorligini rostdashda reaktiv quvvatni kompensasiyalashni hisoblash algoritmi

Elektr energiyasini qabul qilgichlar va qayta o'zgartirgichlarning konstruksiyasida cho'lg'amalar mavjud [2]. Shunday elementlar elektr motorlar, transformatorlar, kuch elektronikasi qurilmalari, payvandlash apparatlari va hokazolarda ham bor. Mazkur elementlar elektr tarmog'idan aktiv quvvatni ham, reaktiv quvvatni ham iste'mol qiladi. Reaktiv quvvatning bo'lishi qo'shimcha isroflarning vujudga kelishiga olib keladi. Bu isroflar uchun iste'molchi haq to'laydi. Shu sababli reaktiv quvvatni kompensasiyalash variantlarini qidirish yetarlicha dolzarb masala bo'lib hisoblanadi [1].

Mamlakatimizdagi barcha sanoat tarmoqlaridagi elektr yuritmalarning 80% gachasi statik o'zgartirgichlar bilan, xususan, chastotani o'zgartirgichlar bilan jihozlangan. Maqsad aktiv filtrlarning rostdanuvchan elektr yuritmaning energetik ko'rsatkichlariga ta'sirini tadqiq qilish bo'lib hisoblanadi.

Qo'yilgan maqsadga erishish uchun quyidagilarni bajarish zarur bo'ladi:

- keng tarqalgan "ChO'-AD" ("chastotani o'zgartirgich – asinxron dvigatel") asosida rostdanuvchan elektr yuritmaning modelini yaratish;
- aktiv filtr bor bo'lganda va usiz rostdanuvchan elektr yuritmaning spektral tarkibini tadqiq qilish.

Tadqiq qilinadigan rostdanuvchan elektr yuritma tizimining modelini ishlab chiqish.

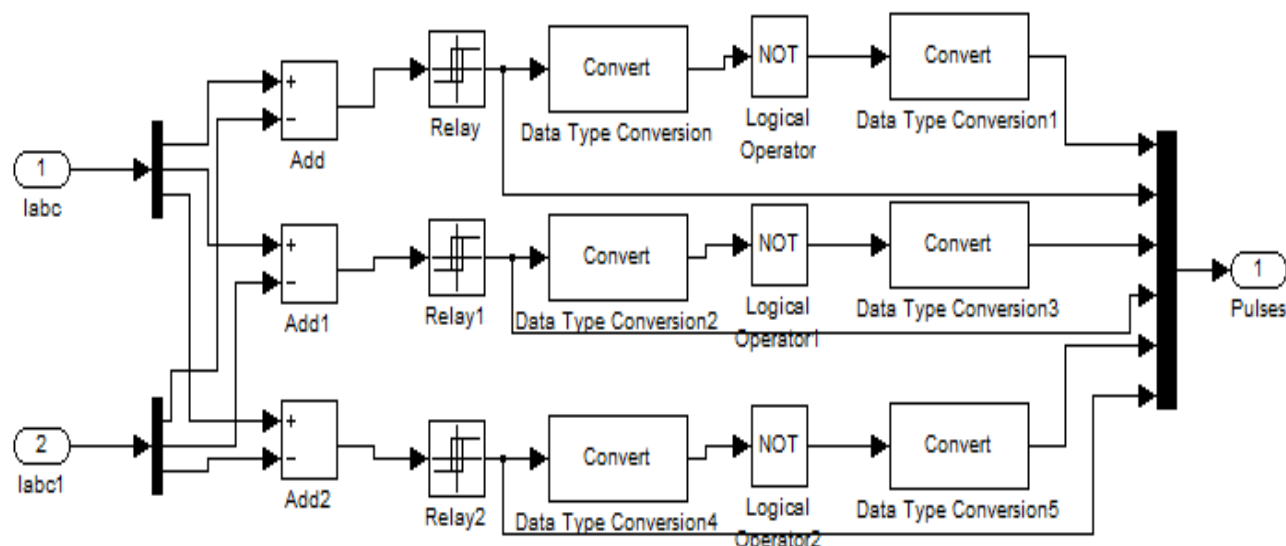
Spektral tahlil qilish va energetik ko'rsatkichlarni tahlil qilishni Matlab Simulink dasturlari paketidan foydalanish bilan o'tkazish taklif qilinadi. Ishlab chiqilgan – past chastotali aktiv filtrga ega bo'lgan "chastotani o'zgartirgich – asinxron dvigatel" tizimi 2-rasmda keltirilgan.



Asinxron dvigatel sifatida Matlab Simulink kutubxonasidan standart model tanlangan. (4 kVt, 50 Gs, 1500 ayl/min). ChO'-AD tizimlarida foydalaniladigan aktiv filtrlar standart tamoyil bo'yicha ekspluatasiya qilinadi:

- kuch qismi – o'zining to'plovchi kondensatoriga joylashtirilgan ikki darajali AIN;
- boshqarish – tokli boshqarish asosidagi tizim va ikkinchi tartibli ShIM dan iborat.

Boshqarish xalaqit beruvchining signali bilan blok tomonidan taqdim qilingan tarmoq tokining signalini taqqoslash hisobiga amalga oshiriladi (2-rasm).



2-rasm. Aktiv filtrli rostlash tizimi

Signalni zaruriy darajagacha chegaralash Relay elementlari yordamida amalga oshiriladi. Mantiqiy signallarni, ya'ni boshqarish impulsini olish ma'lumotlarni mantiqiy tipga qayta shakllantirish yordamida amalga oshiriladi. Teskari impulsni olish "YO'Q" ("NOT") mantiqiy elementni qo'llash yordamida mumkin bo'ladi. Aktiv filtrning kuch qismi ikki darajali AIN ni o'z ichiga oladi, u doimiy tok tomonida RC zanjiriga ega.

Quyidagi tizimni nasos stansiyalaridagi modelini ko'rib chiqamiz. Bu tizimda "Aktiv filtr-chastota o'zgartirgich-asinxron motor-nasos-xavza": Bu tizimda har bir bo'g'in o'zining fizik jarayonlari bilan ajralib turadi. Quyida ularning har biri uchun model tuzilmasi, real fizik jarayonlarini to'liq ifodalaydi va parametrlarning ish rejimiga bog'liqligini hisobga oladi, ya'ni: kvadrat, ko'paytma, sinus yoki kosinus, to'yinganlik, o'zgaruvchan parametrlar bilan ifodalangan matematik modeli ko'rinishlarida keltiriladi.

Chastotali o'zgartirgich (ChO') qurilmalida quyidagi ikkita fizik jarayoni namoyon bo'ladi:

- chastota o'zgartirgichi o'zgaruvchan tok chastotali kuchlanish hosil qiladi, uning chiqishida garmoniklarni vujudga keltiradi;
- kuchlanish va tok o'rtasidagi faza siljishlari vujudga keladi.

Chastota o'zgartirgichining eksperimental taqiqot vaqtida uning real vaqt rejimidagi fizik jarayonlardagi kuchlanish parametrlarni ish rejimiga bog'liqlik funksiyasi 15 – formulada ko'rsatilgan:

$$u_s(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi) + \sum_{n=3,5,7,\dots} U_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (15)$$

Chastota o'zgartirgichining kuchlanishning o'zgarish parametrlarini ish rejimlariga bog'liqlik funksiyasini ma'lum ishchi nuqtasi atrofida soddalashtirib, chiziqli tenglamalar ko'rinishida ifodalanishi

Yuzaga keladigan garmoniklarni inobatga olmagan holda.

$$u_s(t) \approx U_m \sin(\omega t) \quad (16)$$

Aktiv filtrli chastota o'zgartirgich qurilmasidagi quyidagi fizik jarayoni yuzaga keladi:



Aktiv filtrlı chastota o'zgartirgich o'rnatilganda tarmoqdagi barcha garmonikalarni to'g'irlash uchun xizmat qiladi. Quyidagi yaratilgan fizik jarayonning matematik modeli quyidagicha ifodaladi

$$i_{AF}(t) = k_p [i_{load}(t) - i_{ref}(t)] + k_i \int [i_{load}(t) - i_{ref}(t)] dt \quad (17)$$

Yuqoridagi yaratilgan fizik jarayonning matematik modelini soddalashtirilgan modeliga aylantirilganda kichik tebranishlarda quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta i_{AF}(s) = (k_p + \frac{k_i}{s}) \Delta i_{err} s \quad (18)$$

Asinxron motorlarda vujudga keladigan elektromexanik jarayonlari:

Elektromagnit maydon hosil bo'lishi, rotorda vujudga keladigan magnit oqimlar, moment hosil bo'lish jarayonini ko'rishimiz mumkin. Asinxron motorlarning faza kuchlanishlari uchun quyidagicha tenglamalarni tuzuladi

$$\begin{cases} \frac{d\psi_s}{dt} = u_s - R_s i_s - j\omega_s \psi_s \\ \frac{d\psi_r}{dt} = -R_r i_r - j(\omega_s - \omega_r) \psi_r \\ M = \frac{3}{2} p \operatorname{Im}(\psi_s i_s^*) \end{cases} \quad (19)$$

Yuqoridagi tenglamani moment bo'yicha soddalashtirilganda

$$\Delta M = k_M \Delta i_s + k_\omega \Delta \omega \quad (20)$$

Suv havzalarida suvni yuqoriga kutarib berivchi nasoslar fizik jarayon quyidagicha ifodalanadi:

Aylanish tezligi bilan oqim va bosim orasidagi aniq o'lchov parametrlari bilan bog'liqlikning matematik modeli:

$$H = H_0 - k_Q Q^2, \quad Q = k_n n$$

Matematik modelning soddalashtirilgan differensial ko'rinishi:

$$\Delta H = -2k_Q Q_0 \Delta Q + k_n \Delta n$$

Natijalar

Modellashtirish natijasida aktiv filtrlı chastotali o'zgartirgich – asinxron motor – nasos – xavza tizimining ishonchliligi zaxirasi barqarorlashadi, energiya samaradorligiga erishiladi, o'tkinchi jarayonlar uzluksizligi ta'minlanadi va garmonik buzilishni oldi olinadi hamda boshqaruv tizimi muvofiqlashadi.

Xulosa qilib aytish mumkinki, aktiv filtr qo'llanilmaganda tahlil qilinadigan oltita garmonik tashkil etuvchilardan birortasi ham GOST bilan o'rnatilgan me'yorlarga mos kelmaydi. Spektral tahlil qilish davomida shu narsa aniqlanganki, aktiv filtr kiritilganda oltita garmonikadan ikkitasi (11 va 13) GOST 13109-97 ga muvofiq eng chekka qiymatlardan oshmaydi. Bunda qolgan garmonikalar (3, 5, 7 va 9) 1,3 – 2 martaga kamayadi.

AD nominal tezlikka erishganda aktiv filtrsiz tizimda isroflarning kattaligi 114 Dj ni tashkil qiladi, aktiv filtrlı tizimda isroflar esa 100 Dj ni tashkil qiladi. Quvvat isroflari farqi nisbiy birliklarda 14% ni tashkil qiladi. Aktiv filtrlarning narxi qimmat bo'lganligi sababli ularni qudratli energetik qurilmalarda qo'llash maqsadga muvofiq bo'ladi, chunki yuklamaning kattaligi ortishi bilan tarmoqning nosinusoidalligi ortadi. Aktiv filtrlarni joriy qilishdan maksimal samaradorlikka ularning statori 6 kV va undan yuqori tarmoqqa ulangan AD larni ekspluatatsiya qilishda erishiladi.

Xulosa

Tadqiqot natijasida aktiv filtrlı chastotali o'zgartirgich – asinxron motor – nasos – xavza (AFChO–AM–N–X) tizimining kompleks matematik modeli ishlab chiqildi va uning ishlash jarayonlari tahlil qilindi. Qurilgan model elektr, mexanik va gidravlik jarayonlarni



yagona tizimda o'zaro bog'langan holda ifodalash imkonini berdi. Tizimni modellashtirish natijasida, aktiv filtrni chastota o'zgartirgichda qo'llash, ularni chiqishidagi tok va kuchlanishdagi garmonik buzilishlarni birmuncha sezilarli darajada kamayishiga olib keladi. Bu esa asinxron motorning elektromagnit momentidagi tebranishlarni pasaytiradi, energiya yo'qotishlarini kamaytiradi va nasos agregatining silliq ishlashini ta'minlaydi. Matematik model yordamida xavzadagi suyuqlik sathi va bosim o'zgarishlari dinamikasini aniq ifodalash, tizim barqarorligini baholash hamda boshqaruv parametrlarini optimallashtirish imkoniyati yaratildi. Modellashtirish asosida olingan natijani irrigatsiya tizimidagi avtomatlashtirilgan nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirishda va ularning ishonchli ishlash darajasini ta'minlashda amaliy tavsiyalar sifatida foydalansa maqsadga muvofiqdir.

Umuman olganda, tadqiqotda taklif etilgan yondashuv elektr yuritma tizimlarini loyihalashda zamonaviy nazariy va amaliy takliflarni taqdim etadi hamda energetika, irrigatsiya tizimida va texnologik jarayonlarni boshqarish yo'nalishlarida qo'llanilishi muvofaqiyatli hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

- [1]. Shayumova Z.M., Novikov N.L., "Asinxron elektr yuritmalı nasos stansiyalarda reaktiv quvvatni kompensatsiyalash", Monografiya, 2024y.
- [2]. Z.M. Shayumova, U.J. Ergaraeva, R.S.Usnatdinova "Nasos stansiyalari samaradorligini oshirish algoritmini ishlab chiqish" IV Xalqaro ilmiy-texnik anjuman «Актуальные проблемы системы электроснабжения», Nukus. Berdax nomidagi QDU, 2024y.
- [3]. З.М. Шаюмова, А.О. Норкулов., Ш.Ш.Файзиев "Экономия электроэнергии на насосной станции систем машинного орошения", Материалы IV Международной научно-практической конференции «Достижения, проблемы и перспективы комплексного инновационного развития Зарафшанского оазиса», посвященной 65-летию Навоийского горно-металлургического комбината, Навои, Узбекистан, 16-17 ноября 2023 года.