INNOVATIONS IN TECHNOLOGY AND SCIENCE EDUCATION
ISSN 2181-371X
https://sr-journals.org/index.php/ITSE

Boshqaruv va nazorat tizimlarida katta o‘zgarmas toklarni nazorat qilish uchun mo‘ljallangan kontaktsiz ferromagnit o‘zgartirgichlarning tahlili va tavsifi

Plaxtiyev Anatoliy Mixaylovich
texnika fanlari doktori, professor
“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” milliy tadqiqot universiteti O‘zbekiston Respublikasi, Toshkent shahri
Meliboyev Yahyojon A’zamjon o‘g‘li
katta o‘qituvchi Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
O‘zbekiston Respublikasi, Toshkent shahri
E-mail: meliboyevyahyojon@gmail.com

Annotatsiya. Zamonaviy irrigatsiya, suv xo‘jaligi va yirik sanoat tarmoqlarining uzluksiz ishlashi yuqori amperli o‘zgarmas toklarni aniq va ishonchli nazorat qilish bilan chambarchas bog‘liq. Shu nuqtai nazardan, ushbu maqolada buzmasdan o‘lchash tamoyiliga asoslangan kontaktsiz ferromagnit o‘zgartirgichlarning ilmiy-texnik imkoniyatlari chuqur tahlil qilinadi. Tadqiqot markazida yuqori sezgirlik, tezkorlik va ekspluatatsion barqarorlikka ega bo‘lgan magnitomodulyatsiyaviy induksion tizimlar turadi. Maqolada ko‘p yillik nazariy va amaliy izlanishlar natijalari umumlashtirilib, an’anaviy o‘lchov vositalariga nisbatan yangi avlod kontaktsiz o‘zgartirgichlarning ustun jihatlari ochib beriladi. Xususan, ularning konstruktiv soddaligi, metall sarfining kamaytirilganligi, yuqori aniqlikdagi o‘lchash imkoniyati hamda og‘ir ekspluatatsion sharoitlarda ham barqaror ishlashi alohida ta’kidlanadi. Bundan tashqari, tizimlarning o‘tkinchi jarayonlarga moslashuvchanligi, dinamik tavsiflari va metrologik ko‘rsatkichlari o‘rtacha kvadratik hamda entropik xatolik mezonlari asosida kompleks baholangan. O‘tkazilgan texnik-iqtisodiy tahlillar shuni ko‘rsatadiki, an’anaviy rezistiv shuntlarni zamonaviy kontaktsiz ferromagnit o‘zgartirgichlar bilan almashtirish elektr zanjirlaridagi quvvat yo‘qotishlarini sezilarli darajada kamaytiradi. Natijada energiya tejamkorligi oshadi, ekspluatatsion xarajatlar kamayadi va sanoat hamda irrigatsiya infratuzilmalarining umumiy samaradorligi yangi bosqichga ko‘tariladi.

Kalit so‘zlar: Yuqori o‘zgarmas tok, kontaktsiz ferromagnit o‘zgartirgich, magnitomodulyatsiya, ishonchlilikni baholash.

Аннотация. Бесперебойное функционирование современных систем ирригации, водного хозяйства и крупных промышленных отраслей тесно связано с точным и надежным контролем постоянных токов большой силы. В связи с этим в статье глубоко анализируются научно-технические возможности бесконтактных ферромагнитных преобразователей, основанных на принципе неразрушающего измерения. В центре исследования находятся магнитомодуляционные индукционные системы, обладающие высокой чувствительностью, быстродействием и эксплуатационной устойчивостью. В статье обобщаются результаты многолетних теоретических и практических изысканий, а также раскрываются преимущества бесконтактных преобразователей нового поколения по сравнению с традиционными измерительными средствами. В частности, подчеркиваются их конструктивная простота, сниженная металлоемкость, возможность высокоточных измерений, а также стабильная работа в тяжелых условиях эксплуатации. Кроме того, на основе критериев среднеквадратической и энтропийной погрешностей дана комплексная оценка адаптивности систем к переходным процессам, их динамических характеристик и метрологических показателей. Проведенный

технико-экономический анализ показывает, что замена традиционных резистивных шунтов современными бесконтактными ферромагнитными преобразователями приводит к значительному снижению потерь мощности в электрических цепях. В результате повышается энергоэффективность, сокращаются эксплуатационные расходы, а общая эффективность промышленной и ирригационной инфраструктуры выходит на новый уровень.

Ключевые слова: Постоянный ток большой силы, бесконтактный ферромагнитный преобразователь, магнитомодуляция, оценка надежности.

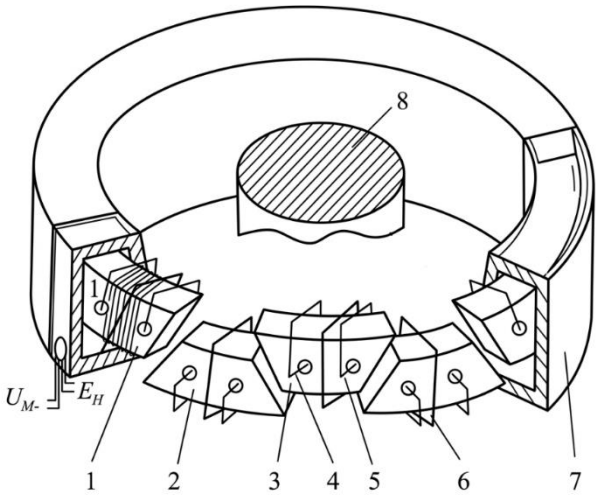
Abstract. The uninterrupted operation of modern irrigation, water management, and large-scale industrial sectors is intrinsically linked to the precise and reliable monitoring of high-amperage direct currents. In this context, the article provides an in-depth analysis of the scientific and technical capabilities of contactless ferromagnetic transducers based on the principle of non-destructive measurement. The research centers on magnetic modulation induction systems characterized by high sensitivity, rapid response, and operational stability. The article summarizes the results of long-term theoretical and practical research, revealing the superior aspects of next-generation contactless transducers compared to traditional measuring instruments. Specifically, their structural simplicity, reduced metal consumption, high-precision measurement capability, and stable performance even under harsh operating conditions are highlighted. Furthermore, the systems' adaptability to transient processes, their dynamic characteristics, and metrological indicators have been comprehensively evaluated based on root mean square and entropic error criteria. Technical and economic analyses demonstrate that replacing traditional resistive shunts with modern contactless ferromagnetic transducers significantly reduces power losses in electrical circuits. Consequently, energy efficiency is increased, operational costs are lowered, and the overall effectiveness of industrial and irrigation infrastructures is elevated to a new level.

Keywords: High-amperage direct current, contactless ferromagnetic transducer, magnetic modulation, reliability assessment.

Kirish. Qishloq xo‘jaligi tarmoqlari va yirik sanoat tizimlarida kuzatilayotgan zamonaviy ijtimoiy-iqtisodiy jadallashuv va texnik modernizatsiya qudratli elektr tizimlarini keng joriy etishni taqozo etmoqda. O‘zbekiston Respublikasi hamda dunyoning unga mos keluvchi qurg‘oqchil dehqonchilik zonalarida yirik sug‘orish nasos stansiyalari, yerosti suvlarini qayta ishlash tizimlari va suv tashish inshootlari yuqori darajada energiyatalab infratuzilmalarni tashkil qiladi. Statistik ko‘rsatkichlar shuni ko‘rsatadiki, mamlakatda ishlab chiqarilayotgan umumiy elektr energiyasining qariyb 15-20 foizi o‘zgarmas tok asosida ishlaydigan yoki harakatga keltiriladigan yuqori quvvatli sanoat uskunalariga sarflanadi. Elektr energiyasi iste’molining o‘sishi sanoat, demografik va iqtisodiy omillar bilan chambarchas bog‘liq bo‘lib, energetika tizimlarida yuqori aniqlikdagi nazorat va prognozlash texnologiyalarini qo‘llashni talab etadi [1]. Binobarin, o‘nlab amperdan bir necha kiloampergacha bo‘lgan yuqori o‘zgarmas toklarni (YO‘T) yuqori aniqlikda o‘lchash va uzluksiz texnik monitoringini olib borish energiyani aniq hisobga olish, avtomatlashtirish va releli himoyani ta’minlash uchun muhim muhandislik zaruratidir. Yuqori amperli toklarni o‘lchash an’anaviy fizik asboblarga, xususan, standartlashtirilgan sanoat shuntlariga asoslangan. Iqtisodiy jihatdan sodda bo‘lishiga qaramay, shuntlar ishlayotgan elektr tarmog‘iga jismonan ulanishni talab qiladi, bu esa jiddiy muammolarni keltirib chiqaradi. Og‘ir elektr shinalarini ajratish tizimni to‘liq o‘chirishni talab etadi, bu esa uzluksiz texnologik jarayonlarda ishsiz turib qolish tufayli katta yo‘qotishlarga sabab bo‘ladi. Bundan tashqari, yuqori quvvatli o‘lchov shuntlarida Joul qonuniga ko‘ra standart qizish sababli sezilarli ichki issiqlik yo‘qotishlari yuzaga keladi va bu umumiy energiya samaradorligini pasaytiradi. Og‘ir dala sharoitlarida (drenaj tarmoqlariga xos bo‘lgan yuqori atrof-muhit harorati, namlik, kimyoviy ta’sirlar) uzoq muddat foydalanish kontaktlarning kuchli galvanik oksidlanishiga olib kelib, sezilarli darajadagi parazit qarshilikni vujudga keltiradi va vaqt o‘tishi bilan o‘lchov aniqligining buzilishiga sabab bo‘ladi. Ushbu jiddiy muammolarni hal qilish uchun buzmaydigan nazorat (BN) tizimlari va kontaktsiz yuqori tok o‘zgartkichlarini (YTO‘) ishlab chiqish g‘oyat zarur[2]. Bunday qurilmalar elektr shinalarining fizik izolyatsiyasi yoki konstruktiv tuzilishini buzmagan holda,

kontaktsiz induksiya yordamida o‘lchanadigan tok qiymatlarini xavfsiz aniqlaydi. Ushbu keng qamrovli sharhda yuqori quvvatli sug‘orish tizimlari hamda sanoat infratuzilmalari uchun mo‘ljallangan ilg‘or universal magnitomodulyatsion kontaktsiz ferromagnit o‘zgartkichlarni loyihalash, modellashtirish va amaliyotga joriy etish bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar, mualliflik ishlari va patent natijalari umumlashtirilgan[3-8].

Texnikaviy talablar va konstruktiv metodologiya. Qishloq xo‘jaligidagi murakkab elektr podstansiyalarida ishlaydigan yuqori tokli kontaktsiz qurilmalar uchun puxta muhandislik yechimini ishlab chiqish maqsadida qat’iy texnikaviy mezonlar majmuini belgilab olish zarur. Asosiy sanoat talablariga ko‘ra, kontaktsiz yuqori tok o‘zgartkichlari yuqori aniqlik va o‘zgartirish sezgirligini, minimal og‘irlik va ixcham o‘lchamlarni, arzon tannarxni, konstruktiv modullikni, yuqori kuchlanishli shina hamda past kuchlanishli o‘lchov asboblari o‘rtasida to‘liq fizik galvanik izolyatsiyani, shuningdek, tashqi magnit shovqinlari va yaqin atrofdagi parallel o‘tkazgichlar maydonlariga nisbatan tabiiy barqarorlikni ta’minlashi lozim. An’anaviy qurilmalar odatda butun shina konstruksiyasini qoplab oladigan massiv va og‘ir ferromagnit o‘zaklarga ega bo‘ladi. Bunday konstruksiyalar ko‘p miqdorda material talab qiladi, foydalanishda universallik bilan ajralib turmaydi. Taklif etlayotgan metodologiya taqsimlangan magnit zanjirlari tuzilmalari va ilg‘or magnitomodulyatsiya usullaridan foydalanishga asoslanadi. Nazorat va boshqaruv tizimlarining katta o‘zgarmas toklari uchun ishlab chiqilgan energiya tejaydigan keng diapazonli kontaktsiz magnitomodulyatsiyalovchi ferromagnit o‘zgartirgichning konstruksiyasini ko‘rib chiqaylik. U 1-rasmda ko‘rsatilgan bo‘lib, nazorat va boshqaruv tizimlarining katta o‘zgarmas toklarini kontaktsiz o‘zgartirgichlarining qo‘shni shinalar toklari ta’siridagi xatoligini ham tahlil qiladi.



1-rasm. Monitoring va boshqaruv tizimlarining katta o‘zgarmas toklarini o‘lchash uchun keng diapazonda ishlaydigan kontaktsiz magnitomodulyatsion o‘zgartgich.

Kontaktsiz galvanomagnit o‘zgartirgichlar yuqori toklarni elektr zanjirini uzmagan holda nazorat qilish imkonini beradi hamda qishloq xo‘jaligi energetika tizimlarida yuqori sezgirlik va ekspluatatsion ishonchlilikni ta’minlaydi[3]. KO‘T o‘zgartirgichi [8] asosida ishlab chiqilgan KFO‘ konstruktsiyasi o‘zgarmas tok o‘tkazuvchi shinani 2 erkin qamrab oluvchi ajraladigan yopiq magnit zanjir 1 dan tashkil topgan bo‘lib, u 2 va 3 yarim qismlardan iborat. Magnit zanjir trapetsiyasimon ferromagnit elementlardan yig‘ilgan va ular orasida bir xil havo tirqishlari hosil qilingan. Har bir elementdagi ikkita teshik orqali modulyatsiyalovchi chulg‘amning 4 va 5 seksiyalari o‘tkazilgan, teshiklar oralig‘iga esa o‘lchov chulg‘ami 6 joylashtirilgan. O‘lchov chulg‘amlari ketma-ket ulanib o‘lchov qurilmasiga, modulyatsiyalovchi chulg‘amlar esa o‘zgaruvchan tok manbaiga ulangan. 4 va 5 seksiyalardagi o‘zgaruvchan tok magnit zanjir magnit qarshiligini bo‘ylama modulyatsiya qiladi va natijada boshqariladigan o‘zgarmas tok qiymatiga proporsional EYUK hosil bo‘ladi. Taklif etilgan KFO‘ modulyatsiyalovchi chulg‘amlarda tok bo‘lmagan holatda ham o‘zgaruvchan tokni nazorat qilish imkoniyatiga ega. Qurilmaning yuqori tok chegarasi magnit oqim yo‘lini uzaytirish hamda bo‘ylama-ko‘ndalang havo tirqishlarini kiritish orqali kengaytirilgan. Bu esa bo‘ylama va ko‘ndalang

taqsimlangan ajraladigan magnit zanjir asosida amalga oshiriladi. Magnit zanjirning 2 va 3 yarimlarini o‘zaro siljitish orqali trapetsiyalar orasidagi tirqish o‘lchamlarini o‘zgartirish mumkin bo‘lib, bu magnit qarshilikning umumiy qiymatini boshqaradi va natijada o‘lchanadigan tok diapazonini o‘zgartirish imkonini beradi. Shu sababli KFO‘ ko‘p diapazonli universal o‘zgartirgich sifatida ishlaydi. Ishlab chiqilgan konstruktsiya o‘zak sxemasini ajratish va maxsus ko‘p qutbli chulg‘am topologiyalaridan foydalanish orqali ekssentrisitet tufayli yuzaga keladigan xatoliklarni sezilarli kamaytiradi hamda qoldiq magnitlanish ta’sirini bartaraf etadi. Natijada bitta modulli datchik yordamida ish diapazonini 30 A dan 30 kA gacha dinamik kengaytirish imkoniyati yaratiladi, bu esa an’anaviy qurilmalarga nisbatan ancha keng o‘lchash diapazonini ta’minlaydi.

Natijalar. Katta quvvatli sug‘orish inshootlari va avtomatik boshqarish tizimlarida datchiklarning ishga tushish tezligi muhim ekspluatatsion ko‘rsatkich hisoblanadi. Real vaqt rejimida ishlaydigan himoya tizimlari qisqa tutashuv yoki to‘satdan ortiqcha yuklanish holatlarida yirik suv nasoslari dvigatellarining avariyaviy ishdan chiqishining oldini olish uchun nosozliklarni bir zumda aniqlashni talab etadi. Shu sababli, ishlab chiqilgan magnitomodulyatsion kontaktsiz qurilmalarning o‘tkinchi jarayonlardagi xususiyatlari turli tezkor elektr o‘zgarishlari sharoitida baholandi. O‘tkinchi holatning analitik modeli shuni ko‘rsatadiki, umumiy javob kechikishi yoki tinchlanish vaqti (τ) qo‘zg‘atish chulg‘amining konstruktiv parametrlari va o‘zak materialining xususiyatlari bilan belgilanadi. O‘tkinchi davrni belgilovchi miqdoriy bog‘liqlik qo‘zg‘atish kuchlanishi davrining kichik bir ulushi sifatida quyidagicha ifodalanadi:

$$\tau \leq 0{,}025 \cdot T$$

bu yerda T — o‘zgaruvchan qo‘zg‘atish tokining davri.

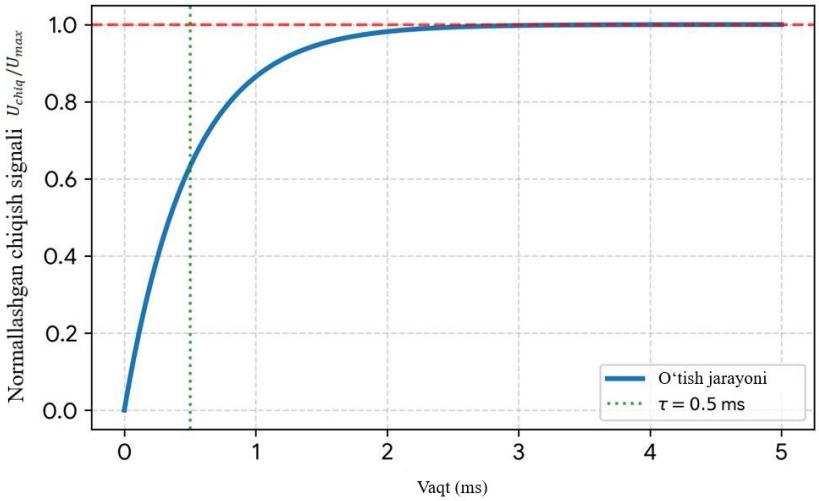
Standart sanoat chastotasi *f = 50 Hz (T = 20 ms)* da ishlaganda, umumiy javob vaqti taxminan 0,5 ms ga teng bo‘ladi. Bu juda kichik qiymat ishlab chiqilgan kontaktsiz o‘zgartirgichning odatiy sanoat boshqarish tizimlari uchun amalda inersiyasiz ekanligini anglatadi. Bu samaradorlik avtomatlashtirilgan SCADA tizimlariga signalning real vaqtda uzatilishini ta’minlab, muhim infratuzilmaga zarar yetmasidan oldin millisekunddan kamroq vaqt ichida avariyaviy o‘chirish imkonini beradi.

Chiqish signalining quvvatini oshirish hamda fizik datchik modulidan masofaviy boshqaruv xonalarigacha bo‘lgan uzatish masofasini oraliq kuchaytirgichlarsiz optimallashtirish maqsadida o‘zgartirgich yuklamasining xususiyatlari tizimli ravishda tahlil qilindi. Chiqish elektr parametrlari ulangan yuklama qarshiligining (R_L) turiga va qiymatiga bevosita bog‘liq. Taqsimlangan ikkilamchi chulg‘am zanjirlarining ichki impedansi tenglamalarini keltirib chiqarish orqali maksimal chiqish quvvati samaradorligi va chiqish signalining chiziqli shkalalanishini kafolatlash uchun yuklamaning optimal moslashuv sharti aniqlandi. Parallel shinalar yoki qo‘shni uskunalar hosil qilgan tashqi magnit maydonlari qarama-qarshi o‘zak segmentlariga teskari magnit qutblar bilan bir xilda ta’sir etib, umumiy parazit shovqin kuchlanishini yo‘qotadi. Taklif etilgan keng diapazonli kontaktsiz qurilmaning aniqligini tekshirish uchun xatolarni har tomonlama matematik baholash talab etildi. Metrologik tahlilda ikkita alohida statistik mezon qo‘llanilgan: klassik o‘rtacha kvadratik xatolik va keng o‘lchov oraliqlaridagi yashirin yoki Gauss bo‘lmagan og‘ishlarni qamrab oluvchi ilg‘or axborot-nazariy entropiya xatosi. Tasodifiy o‘lchash chetlanishlari uchun standart normal taqsimot qabul qilingan holda, standart chetlanish (σ) klassik statistik ifoda yordamida baholandi:

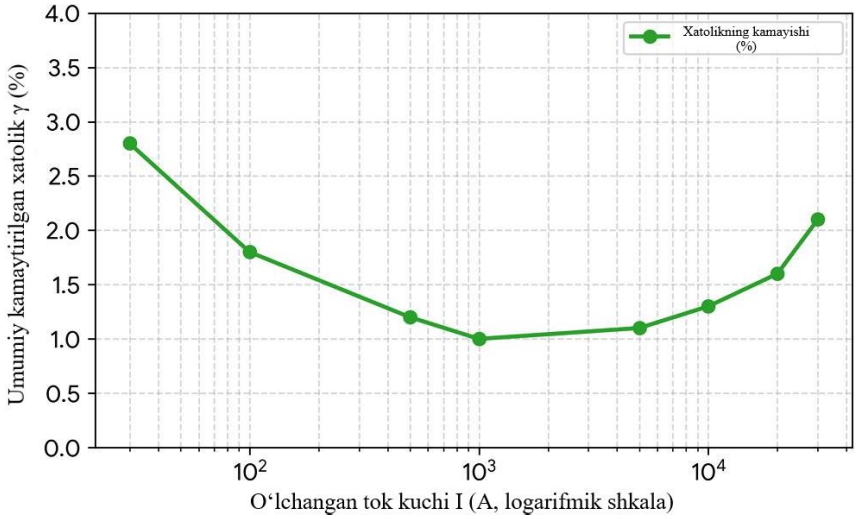
$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i-1}^{n}(X_i - X_{o\prime rt})^2}$$

bu yerda, X_i — tokning alohida o‘lchashlari, $X_{o\prime rt}$ — sinov guruhining hisoblangan o‘rtacha arifmetik qiymati, n — o‘lchashlarning umumiy takrorlanishlari.

2-rasmda normallashtirilgan o‘tkinchi jarayon egri chizig‘i tasvirlangan bo‘lib, u chiqish signalining o‘z turg‘un holatiga tez yaqinlashishini namoyish etadi.



2-rasm. 0,5 ms ichida chiqish signalining barqarorlashishini ko‘rsatuvchi normallashtirilgan o‘tkinchi jarayon egri chizig‘i.



3-rasm. O‘lchashning kengaytirilgan spektri bo‘yicha qurilmaning umumiy keltirilgan xatoliklari taqsimoti.

Tizimning nochiziqli magnit gisterezis buzilishlariga qarshi ishlashini tekshirish uchun axborot entropiyasi tamoyillari yordamida entropiya xatosi (Δent) hisoblab chiqildi. Butun tok spektri (30 A dan 30 000 A gacha) bo‘yicha kompleks sinovlar shuni ko‘rsatdiki, umumiy keltirilgan xatolik (γ) 1,0% dan 3,0% gacha barqaror bo‘ladi. Ushbu aniqlik sanoat energetika tizimlari va energiya auditi uchun qo‘yiladigan qat’iy talablarga javob beradi. 3-rasmda tokni o‘lchashning ko‘p o‘n yillik diapazoni bo‘yicha xatoliklar taqsimoti grafik ravishda hujjatlashtirilgan.

Muhokama. Uzoqda joylashgan suv xo‘jaligi va drenaj tarmoqlarida qo‘llaniladigan tok o‘zgartirgichlar uchun konstruksiyaning yuqori ishonchliligini ta’minlash o‘ta muhimdir. Ushbu datchiklar dala sharoitidagi og‘ir muhitga, jumladan, kuchli mavsumiy namlik, keskin harorat o‘zgarishlari va qo‘lda texnik xizmat ko‘rsatilmasdan uzoq vaqt uzluksiz ishlashga duch keladi. Shu sababli, komponentlarning ishdan chiqish darajasi (λ) va tizimning ekspluatatsion degradatsiyasi nazariyalariga asoslangan holda rasmiy ishonchlilik modeli yaratildi. Matematik baholashda ham progressiv kalibrlash siljishi, ham konstruksiya komponentlarining to‘satdan ishdan chiqishi hisobga olindi. Hisob-kitoblar shuni ko‘rsatadiki, asosiy magnitomodulyatsion datchik o‘zagining mustaqil, uzilishsiz ishlash ehtimoli (P(t)) juda yuqori — 0,998 ga yetadi. Ikkilamchi elektron komponentlar, signal filtrlash mikrosxemalari va ulanish moslamalari qo‘shilganda, tizimning umumiy ishonchlilik ko‘rsatkichi (Psys) 0,9969 ga teng bo‘ladi. Universal kontaktsiz ferromagnit o‘zgartirgich suv

energetikasi sohasida energiya auditi o‘tkazish va aqlli elektr tarmoqlarini joriy etish uchun muhim afzalliklarni beradi. Uning asosiy amaliy afzalligi iste’molchilarning elektr energiya hisoblagichlarini bevosita o‘rnatilgan joyida metrologik tekshiruvdan va qiyoslashdan o‘tkazish imkonini berishidadir. An’anaviy qiyoslash usullari hisoblagichni elektr tarmog‘idan uzishni talab qiladi, bu esa sanoat korxonalaridagi ishlarni to‘xtatib qo‘yadi. Bunga qarama-qarshi o‘laroq, ishlab chiqilgan portativ yoki ajraladigan o‘zakli kontaktsiz datchik tarmoqdagi tokni buzishlarsiz o‘lchaydi va ish jarayonini to‘xtatmagan holda faol hisoblagichlarni tekshirish uchun aniq etalon vazifasini o‘taydi. Iqtisodiy va energiya tejash nuqtayi nazaridan, an’anaviy yuqori quvvatli shuntlardan voz kechish doimiy rezistiv quvvat yo‘qotishlarining oldini oladi. 10 kA doimiy tok o‘tkazadigan sanoat shinasida standart shuntdagi kuchlanishning pasayishi natijasida yiliga minglab kilovatt-soat issiqlik energiyasi isrof bo‘ladi. Taklif etilayotgan kontaktsiz induksiya texnologiyasini joriy etish bu yo‘qotishlarni butunlay bartaraf etib, yirik nasos stansiyalarining uglerod izini kamaytiradi va iqtisodiy samaradorligini oshiradi. Yengil va ixcham konstruksiyasi an’anaviy og‘ir tok transformatorlariga nisbatan ishlab chiqarish uchun zarur materiallar sarfini ham kamaytiradi.

Xulosa. Sug‘orish va melioratsiya tizimlari, qayta tiklanuvchi energiya manbalari, sanoat korxonalari, temir yo‘l transporti, agrosanoat majmuasi suv ta’minoti hamda Geografik axborot tizimlari (GAT) texnologiyalariga asoslangan zamonaviy raqamli monitoring va boshqaruv tizimlari uchun yuqori o‘zgarmas toklarni nazorat qilishga mo‘ljallangan keng diapazonli magnitomodulyatsion kontaktsiz o‘zgartirgichlar ishlab chiqildi. Taklif etilgan qurilmalar kichik o‘lcham va vaznga ega bo‘lishi bilan birga, yuqori aniqlik, sezgirlik, konstruktiv soddalik, texnologik qulaylik hamda material sarfi va tannarxining pastligi bilan ajralib turadi. Shu bilan birga, ular o‘zgarmas va o‘zgaruvchan toklarni 1,5 % xatolik doirasida kontaktsiz nazorat qilish imkonini beradi. O‘tkazilgan tadqiqotlar magnitomodulyatsion kontaktsiz o‘zgartirgichlarning yuqori ekspluatatsion ishonchliligini ham tasdiqladi. Jumladan, qurilmalarning ishonchlilik ko‘rsatkichi 0,998 ni, halokatli nosozliklar hisobga olingandagi umumiy ishonchlilik esa 0,9969 ni tashkil etishi aniqlandi. Bu ko‘rsatkichlar ularning murakkab ekspluatatsion sharoitlarda ham uzoq muddat barqaror ishlashini ko‘rsatadi. Texnik va eksperimental tahlillar natijasida an’anaviy yuqori yo‘qotishli rezistiv o‘lchash usullarini magnitomodulyatsion kontaktsiz ferromagnit o‘zgartirgichlar bilan almashtirish texnik hamda iqtisodiy jihatdan samarali yechim ekanligi asoslandi. Qurilmalar yuqori tezkorlik, kichik inersiyalilik va barqaror metrologik tavsiflarga ega bo‘lib, real vaqt rejimida ishlovchi avtomatik himoya va nazorat tizimlarida samarali qo‘llanishi mumkin. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, umumiy keltirilgan xatolik keng tok diapazonida 1,0–3,0 % chegarasida saqlanadi, bu esa o‘lchash aniqligining yuqori darajada ekanligini tasdiqlaydi. Shuningdek, ishlab chiqilgan texnologiya elektr energiyasi hisoblagichlarini tarmoq ish rejimini to‘xtatmagan holda joyida tekshirish imkonini yaratadi hamda rezistiv quvvat yo‘qotishlarini kamaytirish orqali sezilarli energiya tejamkorligini ta’minlaydi. Shu sababli mazkur ilmiy ishlanma zamonaviy energiya nazorati, avtomatlashtirilgan monitoring va yuqori tokli elektr tizimlarini modernizatsiya qilishda istiqbolli va samarali texnologik yechim sifatida baholanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Allaev K.R., Makhmudov T.F., Losev D.Y. Verification of initial data for long-term electricity consumption forecasting // Problems of Energy and Sources Saving. – 2025. – №4. – P. 1–8.
2. A.M.Plakhtiev, “Effective informational contactless converters for modern monitoring and control systems in the agro- industrial complex”. International Scientific and Practical Conference. “Agricultural science for agriculture”. Barnaul, 2017. pp. 37-39.
3. Plakhtiev, A., Gaziev, G., Doniyorov, O., & Muradov, K. (2023). Contactless wide-range ferromagnetic high-current converters for monitoring and control systems in the electric power industry. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 04014). EDP Sciences.
4. Kiran, M. R., Islam, M. R., Muttaqi, K. M., Sutanto, D., & Raad, R. (2024). A comprehensive review of advanced core materials-based high-frequency magnetic links used in emerging power converter applications. IEEE Access, 12, 107769-107799.

5. Tarzamni, H., Esmaeelnia, F. P., Tahami, F., Fotuhi-Firuzabad, M., Dehghanian, P., Lehtonen, M., & Blaabjerg, F. (2021). Reliability assessment of conventional isolated PWM DC-DC converters. IEEE Access, 9, 46191-46200.
6. Plakhtiev, A., Gaziev, G., Meliboev, Y., Doniyorov, O., & Norxolboyev, D. (2021, January). Dynamic characteristics of contactless wide range high current ferromagnetic converters for monitoring and control systems. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1030, No. 1, p. 012177). IOP Publishing.
7. s. 792152, IPC G01R 19/00. Meter of large direct currents / A. M. Plakhtiev, G.P. Petrov, H. S. Minikeev. Stated 03/11/1979; Publ. 12/30/1980, Bul. 48.
8. Plakhtiev, A., & Gaziev, G. (2020, July). Multidiscription wide-range non-contact converters of control systems. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 883, No. 1, p. 012147). IOP Publishing.
9. Мелибоев Яхъёжон Аъзамжон Угли, Байдуллаев Азамат Абсаттарович Анализ влияния токов в соседних шинах на точность бесконтактных преобразователей систем контроля и управления // Universum: технические науки. 2026. №1 (142). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-tokov-v-sosednih-shinah-natochnost-beskontaktnyh-preobrazovateley-sistem kontrolya-i-upravleniya (дата обращения: 25.05.2026).
10. Ataullaev, N. O., Dziaruhina, A. A., & Murodov, K. S. (2023). Static Characteristics of Magnetic Modulation DC Converters with Analog Filter. Наука и техника, 22(5), 428-432.
11. Yurasova, E. V. (2017, October). Design and metrological assurance of tracking amplitude resolver-to-digital converter based on contactless magnetic sensor. In 2017 2nd International Ural Conference on Measurements (UralCon) (pp. 265-269). IEEE.
12. Seemann, K., Beirle, S., Thede, C., Schier, V., & Quandt, E. (2019). Contactless monitoring of temperature change in cutting inserts by application of hard coatings and ferromagnetic film sensor phases. Sensors and Actuators A: Physical, 296, 278-285.