



ISHONCHLI VA AMALDAGI ME'YORLARGA MOS ELEKTR TARMOQLARINI TA'MINLASHDA YUQORI ANIQLIKDAGI SINOVLARNING AHAMIYATI

Komilov Asliddin G'ulomovich¹ -texnika fanlari doktori, katta ilmiy xodim,

<https://orcid.org/0000-0002-5406-0477> E-mail: asliddin@rambler.ru

Xolov Uyg'un Raufovich² -texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent,

<https://orcid.org/0000-0002-6675-5479> e-mail: uygunshams@mail.ru

Nasrullayev Yusuf Zokirovich² -texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent,

<https://orcid.org/0000-0001-7051-5307> e-mail: nasrullayevyusuf2431@gmail.com

Xidirov Mirabbos Mirzayor o'g'li² -katta o'qituvchi

<https://orcid.org/0000-0001-7632-5133> e-mail: mirabbos9999@gmail.com

¹Energetika vazirligi huzuridagi Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent sh.,

²Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya. Kirish. Ushbu maqolada qayta tiklanuvchi energiya manbalari va taqsimlangan energiya resurslarini elektr tarmog'iga integratsiyalash jarayonini baholash va tekshirishga mo'ljallangan yuqori aniqlikdagi sinov tizimi taqdim etiladi. Tadqiqot real vaqt rejimidagi o'lchovlar, elektr energiyasi sifati diagnostikasi hamda hodisalarga asoslangan tahlillar orqali kuchlanish barqarorligi, garmonik buzilishlar va tizim holatini baholash imkoniyatlarini yaratadi. Taklif etilgan yondashuv me'yoriy talablarga muvofiqlikni tekshirish hamda zamonaviy elektr tarmoqlarining ishonchliligini oshirishga xizmat qiladi.

Materiallar va usullar. Tadqiqotda qayta tiklanuvchi energiya manbalarining elektr tarmoqlariga integratsiyasi yuqori aniqlikdagi sinovlar asosida baholandi. IEC va IEEE standartlariga mos HIL — real apparat qurilmalarini matematik model muhitida sinovdan o'tkazish texnologiyalari va SCADA — Masofaviy boshqaruv va ma'lumotlarni yig'ish tizimlari muhitida barqarorlik, elektr energiyasi sifati hamda me'yoriy muvofiqlik tahlil qilindi.

Natijalar. Tajriba sinovlari aqlli inverter sozlamalari va moslashuvchan himoya algoritmlari qo'llanilganda kuchlanish va chastota barqarorligi hamda elektr energiyasi sifati ko'rsatkichlari sezilarli darajada yaxshilanganini ko'rsatdi va ularning xalqaro standartlarga muvofiqligini tasdiqlaydi.

Xulosa. Tadqiqot yuqori aniqlikdagi sinovlar orqali qayta tiklanuvchi energiya manbalarini elektr tarmoqlariga samarali integratsiyalash hamda normativ talablar va tarmoq kodekslariga rioya qilishni takomillashtirish bo'yicha ilmiy-amaliy xulosalar beradi. Kelgusida sun'iy intellekt diagnostikasi, prognozlash modellarini integratsiyalash va kiberxavfsizlik sinovlari rivojlantiriladi.

Kalit so'zlar: Elektr tarmog'i ishonchliligi, elektr tarmoqlarining me'yoriy talablarga muvofiqligi, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini integratsiyalash, elektr energiyasi sifati tahlili, kuchlanish barqarorligi, garmonik buzilishlar, elektr tizimining nomutanosibligi, standartlarga muvofiqlik.

Дата поступления: 20.02.2026. После обработки: 28.02.2026 Принято печать: 24.03.2026

For citation: Komilov A., Kholov U., Nasrullayev Yu., Khidirov M. High-Fidelity Testing for Reliable and Compliant Power Networks. *Alternative Energy*. 2026. 1(22). pp. 57-64. (In Uz.)



УДК 621.3

ЗНАЧЕНИЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИИ НАДЁЖНОСТИ И СООТВЕТСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДЕЙСТВУЮЩИМ НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ

Комилов Аслиддин Гуломович¹-д.т.н., с.н.с.,

<https://orcid.org/0000-0002-5406-0477> e-mail: asliddin@rambler.ru

Холов Уйғун Рауфович² - (PhD), м.н.с.,

<https://orcid.org/0000-0002-6675-5479> e-mail: uygunshams@mail.ru

Насруллаев Юсуф Закирович² - (PhD), м.н.с.,

<https://orcid.org/0000-0001-7051-5307> e-mail: nasrullayevyusuf2431@gmail.com

Хидиров Мираббос Мирзаёр угли²-старший преподаватель

<https://orcid.org/0000-0001-7632-5133> e-mail: mirabbos9999@gmail.com

¹Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии
Чингиз Айтматов 2Б/1, Ташкент 100084, Узбекистан,

²Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Аннотация. Введение. В данной статье представлен высокоточный тестовый стенд, предназначенный для оценки и проверки интеграции возобновляемых источников энергии и распределённых энергетических ресурсов в электрическую сеть. Исследование обеспечивает возможности анализа стабильности напряжения, гармонических искажений и состояния системы посредством измерений в реальном времени, диагностики качества электроэнергии и событийно-ориентированного анализа. Предложенный подход позволяет проверять соответствие нормативным требованиям и повышать надёжность современных электрических сетей.

Материалы и методы. В рамках данного исследования интеграция возобновляемых источников энергии в электрические сети была оценена на основе высокоточных экспериментальных испытаний. В соответствии с требованиями стандартов IEC и IEEE проведён комплексный анализ устойчивости системы, показателей качества электроэнергии и нормативного соответствия с использованием технологий Hardware-in-the-Loop (HIL), обеспечивающих испытания реальных аппаратных устройств в среде математического моделирования, а также систем SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Результаты. Экспериментальные испытания показали, что применение интеллектуальных настроек инверторов и адаптивных защитных алгоритмов значительно улучшает стабильность напряжения и частоты, а также показатели качества электроэнергии, подтверждая их соответствие международным стандартам.

Ключевые слова: Надёжность электрической сети, Соответствие электрических сетей нормативным требованиям, Интеграция возобновляемых источников энергии, Анализ качества электроэнергии, Стабильность напряжения, Гармонические искажения, Несбалансированность электрической системы, Соответствие стандартам.

UDC 621.3

HIGH-FIDELITY TESTING FOR RELIABLE AND COMPLIANT POWER NETWORKS

Komilov Asliddin¹-DCs, senior researcher,

<https://orcid.org/0000-0002-5406-0477> E-mail: asliddin@rambler.ru

Kholov Uygun² - junior researcher,

<https://orcid.org/0000-0002-6675-5479> e-mail: uygunshams@mail.ru





Nasrullayev Yusuf² - junior researcher,

<https://orcid.org/0000-0001-7051-5307> e-mail: nasrullayevyusuf2431@gmail.com

Khidirov Mirabbos² - lecturer

<https://orcid.org/0000-0001-7632-5133> e-mail: mirabbos9999@gmail.com

¹National Research Institute of Renewable Energy Sources under the Ministry of Energy,
Tashkent, Uzbekistan.,

²Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Introduction. This article presents a high-fidelity testing system designed to assess and verify the integration of renewable energy sources and distributed energy resources into power networks. The study enables the evaluation of voltage stability, harmonic distortions, and overall system performance through real-time measurements, power quality diagnostics, and event-based analyses. The proposed approach supports compliance verification with regulatory standards and enhances the reliability of modern power grids.

Materials and Methods. In this study, the integration of renewable energy sources into electrical power networks was evaluated based on high-precision experimental testing. In accordance with IEC and IEEE standards, comprehensive analyses of system stability, power quality, and regulatory compliance were conducted using Hardware-in-the-Loop (HIL) testing technologies—enabling real hardware devices to be evaluated within a mathematical modeling environment—and Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems.

Results. Experimental tests demonstrated that the application of intelligent inverter settings and adaptive protection algorithms significantly improved voltage and frequency stability, as well as power quality indicators, confirming their compliance with international standards.

Keywords: Power Network Reliability, Grid Compliance, Renewable Integration, Power Quality Diagnostics, Voltage Stability, Harmonic Distortion, System Imbalance, Standards Compliance.

Kirish.

Barqaror va ishonchli elektr energetika tizimlariga o'tish jarayoni elektr tarmoqlarining ishonchligi hamda me'yoriy talablarga muvofiqligini ta'minlay oladigan mustahkam tizimlarga bo'lgan ehtiyojni yanada kuchaytirdi. Quyosh fotoelektr tizimlari, shamol energetikasi va taqsimlangan generatsiya qurilmalari kabi qayta tiklanuvchi energiya manbalari zamonaviy elektr tarmoqlarining ajralmas qismiga aylanib borar ekan, ularning o'zgaruvchanligi va murakkabligi muhim ekspluatatsion muammolarni yuzaga keltirmoqda. Ushbu muammolarga kuchlanishning beqarorligi, garmonik buzilishlar, avariya holatlaridan himoyalash imkoniyatlarining cheklanganligi hamda tizim inertsia darajasining pasayishi kiradi. Bunday holatlar an'anaviy elektr tarmoqlarini boshqarish jarayonlarini murakkablashtiradi va integratsiya hamda boshqaruv uchun yangi yechimlarni talab etadi [1–3].

Ushbu sharoitda yuqori aniqlikdagi sinov tizimlari muhim ahamiyat kasb etadi. Ular IEC 61000-4-30 (Xalqaro elektrotexnika komissiyasi) va IEEE 1459 (Elektr va elektronika muhandislari instituti) kabi standartlarga muvofiq holda miltillash, kuchlanishning tezkor o'zgarishlari, chastota tebranishlari hamda umumiy garmonik buzilish kabi elektr energiyasi sifati hodisalarini aniq monitoring qilish va diagnostik tahlilini amalga oshirish imkonini beradi.

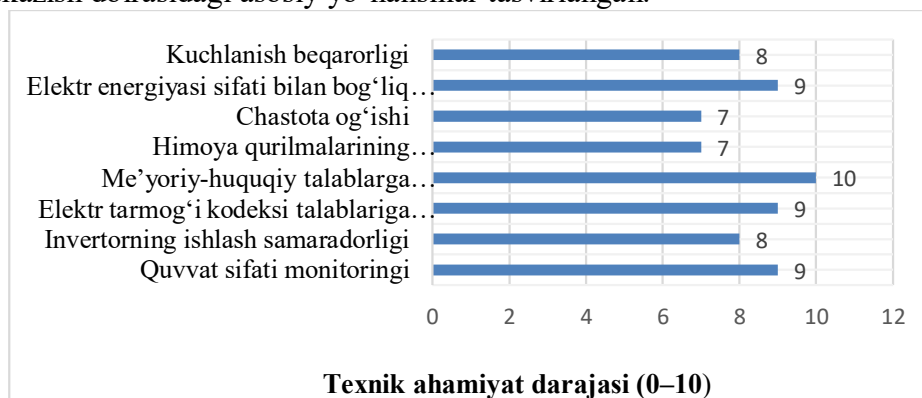
Ushbu platformalar qayta tiklanuvchi energiya manbalariga asoslangan tizimlarning elektr tarmog'i kodeksi talablariga muvofiqligini tekshirish va tasdiqlashda muhim ahamiyatga ega bo'lib, avariya holatlarida tarmoqda qolish, reaktiv quvvat bilan ta'minlash va chastotani rostlash imkoniyatlarini baholashga xizmat qiladi [4,5]. So'nggi ilmiy tadqiqotlarda uzilishli generatsiya sharoitida yuzaga keladigan xavflarni kamaytirish, shuningdek elektr tarmog'iga ulangan va avtonom ish rejimida ishlashni barqaror ta'minlash maqsadida moslashuvchan himoya tizimlari, gibrid rele himoyasi strategiyalari hamda dinamik boshqaruv tizimlarini joriy etish zarurligi ta'kidlanmoqda [6,7]. Ayniqsa, aqlli invertorlar, energiya saqlash tizimlari va intellektual elektron

qurilmalarning rivojlanishi real elektr tarmog‘i buzilishlari sharoitida avariylarni aniqlash, tizimni himoyalash hamda me‘yoriy-huquqiy va texnik talablar bo‘yicha muvofiqlik sinovlarini amalga oshirish imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirdi [8,9].

Materiallar va usullar.

Ushbu maqolada zamonaviy elektr tarmoqlarining ishonchliligi va me‘yoriy talablarga muvofiqligini oshirishga qaratilgan yuqori aniqlikdagi sinovlar uchun tizimli metodologik yondashuv bayon etiladi. Amaliy misollar, o‘lchash natijalari hamda modellashtirishga asoslangan diagnostik tahlillar orqali turli ish rejimlarida tarmoqqa integratsiyalashgan tizimlarning xatti-harakatlarini baholashda yuqori aniqlikdagi asbob-uskunalar va real vaqt rejimidagi tahlil usullarini qo‘llash imkoniyatlari ko‘rsatib beriladi. Mazkur tadqiqot qayta tiklanuvchi energiya manbalarini integratsiyalash bo‘yicha nazariy yutuqlar bilan ularning amaliy joriy etish strategiyalari o‘rtasidagi tafovutni bartaraf etib, zamonaviy energetika tizimlari rivoji sharoitida faoliyat yuritayotgan muhandislar, tadqiqotchilar hamda ishlab chiquvchilar uchun muhim ilmiy-amaliy xulosalarni taqdim etadi.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining elektr energetika tizimlariga tobora keng integratsiyalashuvi tarmoq barqarorligi, avariya holatlaridagi xatti-harakatlar hamda me‘yoriy talablar bilan muvofiqlik masalalariga ta‘sir etuvchi murakkab o‘zaro aloqalarni yuzaga keltirmoqda. Ilgari olib borilgan tadqiqotlarda ushbu muammolar kuchlanish beqarorligi, elektr energiyasi sifati yomonlashuvi, chastota og‘ishlari hamda himoya qurilmalari o‘rtasidagi muvofiqlashtirishning yetarli emasligi kabi toifalarga ajratilgan [1,2]. Ilg‘or inverter texnologiyalari va virtual inertsiya usullarining paydo bo‘lishi [3], shuningdek moslashuvchan rele himoyasi sxemalarining rivojlanishi [6,7] aqlli va tezkor javob bera oladigan infratuzilmaga bo‘lgan ehtiyoj borasida ilmiy hamjamiyatda umumiy qarash shakllanayotganini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, turli tarmoq kodekslari talablariga (masalan, FRT - Avariya holatini bardosh bilan yengib o‘tish talabi, LVRT - Past kuchlanish holatida tarmoqda qolish talabi va HVRT - Yuqori kuchlanish holatida tarmoqda qolish talabi) muvofiqlik [4,5,10] asosiy cheklov omili sifatida namoyon bo‘lib, texnologik yechimlar va normativ-huquqiy siyosatning yanada uyg‘unlashuvini taqozo etmoqda. 1-rasmda texnik ahamiyat darajasi (0–10) bo‘yicha elektr tarmoqlariga integratsiyalashgan tizimlarni sinovdan o‘tkazish doirasidagi asosiy yo‘nalishlar tasvirlangan.



1-rasm. Elektr tarmog‘iga integratsiyani sinovdan o‘tkazish tizimining asosiy yo‘nalishlari.

Fig.1. Key focus areas in Grid Integration Testing Framework.

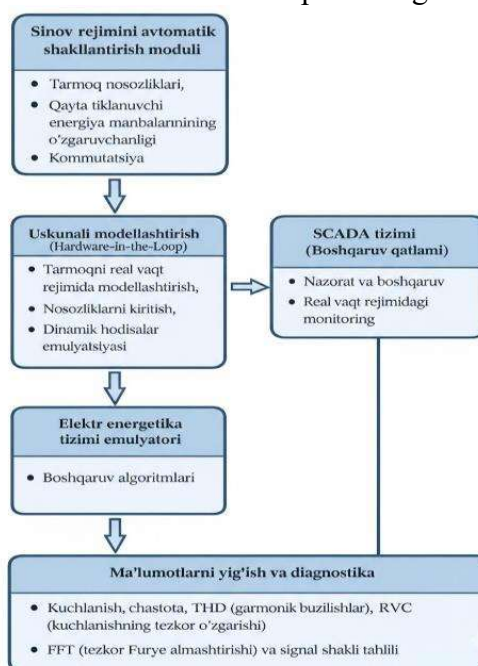
Diagramma me‘yoriy-huquqiy talablarga muvofiqlik eng yuqori ahamiyatga ega ekanini ko‘rsatib, u 10 ball bilan baholangan. Bu holat qayta tiklanuvchi energiya tizimlarining elektr tarmog‘i kodekslari va standartlariga, jumladan avariya holatini bardosh bilan yengib o‘tish hamda kuchlanish bo‘yicha nosozlik sharoitida tarmoqda ishlashni davom ettirish qobiliyati talablariga qat‘iy rioya etilishi zarurligini ta‘kidlaydi. Elektr energiyasi sifati bilan bog‘liq muammolar, elektr tarmog‘i kodeksi talablariga muvofiqlik va elektr energiyasi sifatini monitoring qilish ko‘rsatkichlarining har biri 9 ball bilan baholangan bo‘lib, bu kuchlanish barqarorligini ta‘minlash, garmonik buzilishlarni minimallashtirish hamda umumiy elektr energiyasi sifatini yuqori darajada ushlab turishga katta e‘tibor qaratilayotganini anglatadi. Kuchlanish beqarorligi va invertorning ishlash samaradorligi 8 ballni tashkil etib, o‘zgaruvchan qayta tiklanuvchi energiya



manbalarini integratsiyalash sharoitida tarmoq ishonchliligini saqlab qolishda ularning muhim rolini aks ettiradi. Shu bilan birga, chastota og'ishi va himoya qurilmalarining muvofiqlashtirilishi 7 ball bilan baholangan bo'lib, sinov doirasida ularning ahamiyati muhim bo'lsada, nisbatan o'rtacha darajada ekanini ko'rsatadi. Umuman olganda, mazkur diagramma rivojlanib borayotgan energetika infratuzilmalari sharoitida me'yoriy muvofiqlik, sifatni ta'minlash hamda tizimning barqarorligi va bardoshlilikini uyg'unlashtirgan kompleks yondashuvni ifodalaydi.

Mazkur tadqiqotda qo'llanilgan yuqori aniqlikdagi sinovlar tizimi IEC va IEEE standartlariga muvofiq bo'lgan aniqlikdagi o'lchash asbob-uskunalar, vaqt bo'yicha sinxronlashtirilgan ma'lumotlarni yig'ish hamda diagnostika vositalarini integratsiyalaydi. Metodologiya kuchlanish, chastota, tok, garmonik tarkib va o'tkinchi jarayonlarning barqaror hamda dinamik rejimlardagi baholanishini qamrab oladi. Tarmoqdagi avariya holatlari, qayta tiklanuvchi energiya manbalari quvvatining o'zgaruvchanligi hamda kommutatsiya jarayonlari bilan bog'liq vaziyatlar HIL - real apparat qurilmalarini (kontroller, rele, inverter va h.k.) haqiqiy tizim o'rniga matematik model bilan real vaqt rejimida sinovdan o'tkazish texnologiyalari va SCADA - Sanoat va infratuzilma obyektlarini masofadan nazorat qilish, boshqarish hamda ma'lumotlarni yig'ish tizimlari bilan bog'langan holda qayta yaratiladi. Mazkur yondashuv modellashtirilgan va real ekspluatatsion sharoitlarda takrorlanuvchi sinovlarni amalga oshirish imkonini berib, natijalarning har tomonlama tahlil qilinishi va ularning qayta takrorlanishini ta'minlaydi.

Yuqori aniqlikdagi sinovlarning muhim vazifalaridan biri elektr energetika tizimlarining me'yoriy talablar asosida ishlashini baholashdan iborat. Xususan, past kuchlanish holatlarida fotovoltaik invertorlarning nosozlikka bardoshlilikini tekshirish [4], qayta tiklanuvchi energiya manbalari ulushi yuqori bo'lgan sharoitlarda chastotani qo'llab-quvvatlash funksiyalarini baholash [3], hamda mintaqaviy elektr tarmog'i kodekslarida belgilangan reaktiv quvvat injeksiyasi talablarini tasdiqlash [10] ushbu jarayonning asosiy tarkibiy qismlarini tashkil etadi. Mazkur tadqiqotda oldindan belgilangan ish holatlariga asoslangan tekshirish usullari qo'llanilib, taqsimlangan energiya resurslari va aqlli elektr tarmog'i komponentlarining turli ish rejimlarida o'zaro moslashuvchanlik va xavfsizlik chegaralariga javob berishi ta'minlanadi. 2-rasmda elektr tarmog'idagi nosozliklar, qayta tiklanuvchi energiya oqimining o'zgaruvchanligi hamda kommutatsiya jarayonlari HIL texnologiyalari va SCADA tizimlari asosida tashkil etilgan yuqori aniqlikdagi sinov muhitida qanday modellashtirilishi konseptual diagramma orqali aks ettirilgan.

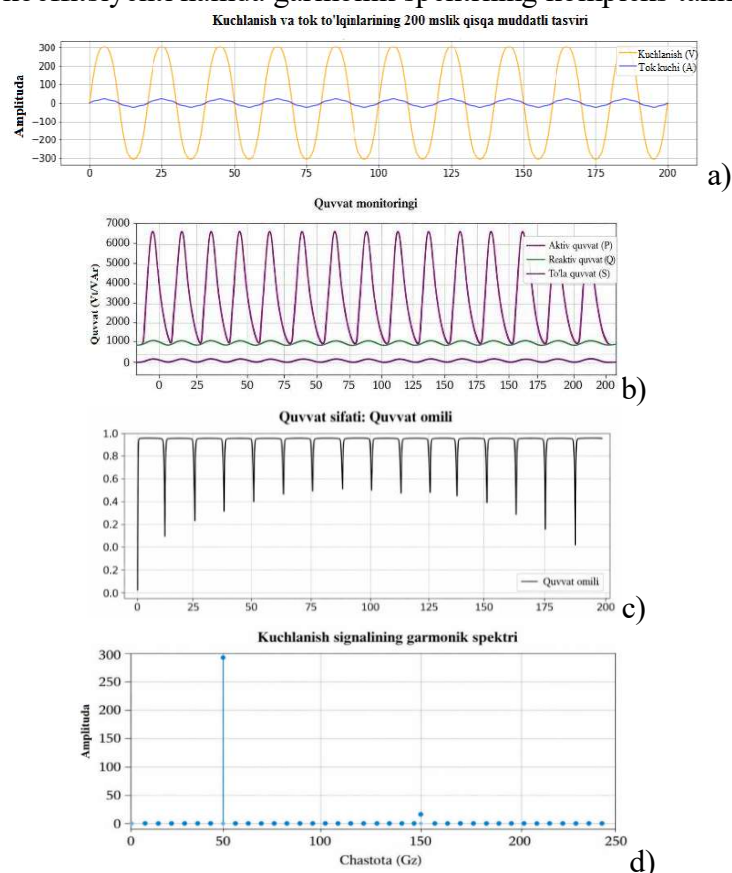


2-rasm. HIL — texnologiyasi va SCADA — tizimlari yordamida yuqori aniqlikdagi sinov jarayoni sxemasi.

Fig.2. High-Fidelity Testing Workflow Using HIL and SCADA.

Yuqori aniqlikdagi sinov qurilmasi elektr tarmog'idagi nosozliklar va qayta tiklanuvchi energiya manbalarining o'zgaruvchanligini HIL — real apparat qurilmalarini matematik model muhitida sinovdan o'tkazish texnologiyasi hamda SCADA — Masofaviy boshqaruv va ma'lumotlarni yig'ish tizimlari yordamida modellashtirib, elektr energetika tizimi ishlash samaradorligini baholash va tarmoq qoidalariga muvofiqligini ta'minlashga xizmat qiladi. Elektr energiyasi sifati ustidan samarali monitoring olib borish tizimdagi zaif jihatlarni aniqlash va ekspluatatsion barqarorlikni saqlashda muhim ahamiyatga ega. Ushbu bo'limda yuqori aniqlikdagi o'lchov tizimlari yordamida kuchlanish pasayishlari va ko'tarilishlari, uzilishlar, garmonik buzilishlar hamda miltillash hodisalarini qayd etishga e'tibor qaratiladi [1]. Dasturlashtirilgan chegaraviy qiymatlar asosida ishga tushuvchi hodisaga yo'naltirilgan yozuvlar tezkor kuchlanish o'zgarishlari va boshqa tarmoq buzilishlarini aniqlash imkonini beradi. Yig'ilgan ma'lumotlar Tezkor Furye o'zgartirishi va signal to'liqin shaklini ajratish usullari yordamida tahlil qilinib, yuzaga kelgan nosozliklarning asl sabablari aniqlanadi hamda ularning tarmoq holati yoki uskunalar xatti-harakati bilan bog'liqligi baholanadi.

Tarmoq bilan interfeys qiluvchi uskunalarining dinamik va statsionar ish rejimlaridagi xatti-harakatlarini baholash maqsadida bir qator tajriba sinov ishlari amalga oshirildi. Tadqiqot jarayonida mikrogrid konfiguratsiyalarida yuqori chastotali kommutatsiya jarayonlari, yuklama o'zgaruvchanligi hamda nosozlik holatlarining sun'iy kiritilishi modellashtirildi. Tadqiqot natijalari aqlli inverter sozlamalari va moslashuvchan himoya algoritmlarini qo'llash orqali kuchlanish barqarorligi, chastota turg'unligi hamda elektr energiyasi sifati ko'rsatkichlarining sezilarli darajada yaxshilanganini ko'rsatdi [8,9]. Olingan natijalarni tasdiqlash hamda tizimning normativ ishlash talablari bilan muvofiqligini asoslash maqsadida spektrogrammalar, signal shakllarining qiyosiy grafiklari va hodisalar qaydlari tahlil qilindi. 3-rasm (a–d) da kuchlanish va tok signallari, quvvat parametrlari, quvvat ko'effitsiyenti hamda garmonik spektrning kompleks tahlili keltirilgan.



3-rasm. Kuchlanish va tok to'liqlari (a), quvvat parametrlari (b), quvvat omili (c) hamda garmonik spektr (d) ning kompleks tahlili.

Fig.3. Combined Analysis of Voltage/Current Waveforms (a), Power Parameters (b), Power Factor (c), and Harmonic Spectrum (d).



3-rasm (a–d) da Quvvat ko'rsatkichi 3.0 chiqish signalini modellashtiruvchi 200 ms davom etuvchi yuqori aniqlikdagi vaqt kesimi keltirilgan. Yuqori panelda garmonik buzilishlar yaqqol kuzatiladigan kuchlanish va tok signallarining vaqt bo'yicha shakllari tasvirlangan. Ikkinchi panel real vaqt rejimida aktiv (P), reaktiv (Q) va to'liq (S) quvvatlarning o'zgarishini aks ettiradi. Uchinchi panelda quvvat koeffitsientining tebranishlari keltirilgan bo'lib, bu yuklamaning dinamik hatti-harakatlarini ifodalaydi. Quyi panelda kuchlanish signalining garmonik spektri ko'rsatilgan bo'lib, unda yuqori tartibli garmonik komponentlarning sezilarli mavjudligi aniqlanadi. Ushbu kompleks tahlil elektr energiyasi sifati, tizim samaradorligi hamda garmonik buzilish darajasini IEEE 519 va EN 50160 kabi xalqaro standartlar talablariga muvofiq baholashda muhim ahamiyat kasb etadi. Tajriba natijalari yuqori aniqlikdagi sinovlar qayta tiklanuvchi energiya tizimlarining elektr tarmoqlariga integratsiyaga tayyorligini tasdiqlashda muhim vosita ekanini ko'rsatadi. Me'yoriy talablar va nosozlik holatlarini birgalikda modellashtirish orqali mazkur yondashuv nazariy loyihalash bilan amaliy ekspluatatsion tekshiruvlar o'rtasidagi tafovutlarni bartaraf etadi. Shunga qaramay, uskunalararo o'zaro moslikni ta'minlash, HIL texnologiyalarini iqtisodiy jihatdan samarali joriy etish hamda doimiy ravishda yangilanib borayotgan tarmoq kodekslari talablariga moslashish kabi muammolar hanuz dolzarbligicha qolmoqda. Biroq ushbu sinov yondashuvining moslashuvchanligi takroriy takomillashtirish va standartlarni uyg'unlashtirish uchun ishonchli metodologik asosni taqdim etadi.

Xulosa

Ushbu tadqiqot yuqori aniqlikdagi sinovlarni zamonaviy elektr energetika tarmoqlarining ishonchligi va normativ talablariga muvofiqligini ta'minlashda muhim strategik yondashuv sifatida asoslaydi. Tadqiqot natijalari batafsil diagnostika usullari, standartlarga muvofiq sinov tartiblari hamda simulyatsiyaga asoslangan tekshiruvlar qayta tiklanuvchi energiya manbalarini elektr tarmoqlariga samarali integratsiyalash va tarmoq kodekslari talablariga rioya etishni takomillashtirish uchun muhim ilmiy-amaliy xulosalarni taqdim etishini ko'rsatadi. Kelgusidagi tadqiqotlar sun'iy intellektga asoslangan diagnostika usullarini joriy etish, kengaytirilgan prognozlash modellarini integratsiyalash hamda tobora murakkablashib va raqamlashtirilayotgan elektr energetika infratuzilmasi uchun kiberxavfsizlikka barqarorlik sinovlarini rivojlantirishga qaratiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1]. Ndirangu J.G., Nderu J.N., Muhia A.M., Maina C.M. Power quality challenges and mitigation measures in grid integration of wind energy conversion systems // Proceedings of the IEEE International Energy Conference (ENERGYCON). – IEEE, 2018. – P. 1–6.
- [2]. Fernández-Guillamón A., Gómez-Lázaro E., Muljadi E., Molina-García Á. Power systems with high renewable energy sources: A review of inertia and frequency control strategies over time // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2019. – Vol. 115. – Article 109369.
- [3]. Qaid K.A., Chin Kim Gan, Bin Salim N., Shamshiri M. Impacts of large-scale solar photovoltaic generation on power system frequency response // Proceedings of the 5th IET International Conference on Clean Energy and Technology (CEAT 2018). – Institution of Engineering and Technology, 2018. – P. 16–23.
- [4]. Al-Shetwi A.Q., Sujod M.Z., Blaabjerg F., Yang Y. Fault ride-through control of grid-connected photovoltaic power plants: A review // Solar Energy. – 2019. – Vol. 180. – P. 340–350.
- [5]. Eseye A.T., Zhang J., Zheng D. Short-term photovoltaic solar power forecasting using a hybrid Wavelet-PSO-SVM model based on SCADA and meteorological information // Renewable Energy. – 2018. – Vol. 118. – P. 357–367.
- [6]. Ibrahim D.K., El Zahab E.E.D.A., Aziz Mostafa S.A. El. New coordination approach to minimize the number of re-adjusted relays when adding DGs in interconnected power systems // Journal of Electrical Engineering and Technology. – 2017. – Vol. 12. – P. 502–512.
- [7]. Coffe F., Booth C., Dysko A. An adaptive overcurrent protection scheme for distribution networks // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2015. – Vol. 30. – P. 561–568.





- [8]. Pillai D.S., Rajasekar N. A comprehensive review on protection challenges and fault diagnosis in PV systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Vol. 91. – P. 18–40.
- [9]. Tekpeti S., Browh X.K.X.H. Fault analysis of solar photovoltaic penetrated distribution systems including overcurrent relays in presence of fluctuations // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2018. – Vol. 100. – P. 517–530.
- [10]. Al-Shetwi A.Q., Sujod M.Z. Grid-connected photovoltaic power plants: A review of the recent integration requirements in modern grid codes // International Journal of Energy Research. – 2018. – Vol. 42. – P. 1849–1865.

