

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ В СУЧАСНІЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЦІ

Taisiia Serdenko, PhD, Vasyl Kabatsii, PhD, As.-Prof., Ruslan Rosul, PhD, As.-Prof.

Mukachevo State University, Ukraine; e-mail: komarevska.tais@gmail.com

Larysa Prots, PhD, As.-Prof.

Uzhhorod National University, Ukraine

Анотація

У статті досліджено сучасні підходи та технології, які дозволяють підвищити ефективність, надійність та точність роботи електроенергетичних систем. Особливий акцент зроблено на вейвлет-аналізі, який є універсальним інструментом для діагностики нестационарних електричних сигналів, оцінки якості електроенергії та виявлення гармонійних спотворень. Завдяки можливості часово-частотної локалізації вейвлет-аналіз забезпечує ефективну обробку сигналів і дозволяє вирішувати такі завдання, як моніторинг перехідних процесів, аналіз мерехтіння напруги та підвищення точності електровимірювань. Ця методика відкриває нові перспективи для підтримки стабільності енергосистем навіть у складних умовах інтеграції відновлюваних джерел енергії.

Окрему увагу приділено аналізу ролі Smart-технологій у сучасних енергетичних системах. Розглянуто переваги систем Smart Metering, які забезпечують автоматичний збір, аналіз і передачу даних про енергоспоживання в реальному часі. Це дозволяє ефективно управляти розподілом енергоресурсів, знижувати втрати електроенергії та підвищувати прозорість у відносинах між споживачами та постачальниками. Інтеграція Smart Metering із технологіями Інтернету речей (IoT) сприяє створенню адаптивних систем, які здатні реагувати на зміну умов у реальному часі, забезпечуючи стабільність та ефективність роботи розумних мереж (Smart Grids).

У статті також досліджено перспективи автоматизованих систем контролю, які включають використання інтелектуальних пристроїв збору даних та адаптивних алгоритмів управління. Ці системи дозволяють значно підвищити рівень моніторингу та діагностики, забезпечити інтеграцію відновлюваних джерел енергії та покращити показники якості електроенергії. Зокрема, автоматизація процесів управління та впровадження технологій машинного навчання відкривають нові можливості для прогнозування поведінки енергетичних систем і підвищення їхньої стійкості.

Представлені в дослідженні рішення спрямовані на створення адаптивних, стійких та високотехнологічних енергетичних систем, які відповідають сучасним викликам Industry 4.0. Завдяки інтеграції вейвлет-аналізу, Smart Metering, IoT та автоматизованих систем контролю можна забезпечити ефективне управління енергетичними ресурсами, стабільність роботи мереж і оптимізацію використання енергоресурсів у глобальній енергетичній системі.

Ключові слова

вейвлет-аналіз, Smart Metering, IoT, Smart Grid, автоматизовані системи контролю, якість електроенергії, відновлювані джерела енергії, електромагнітна сумісність, моніторинг енергоспоживання, Industry 4.0.

1. Вступ

Новітні вимірювальні методи у електротехніці є важливим етапом розвитку сучасної науки та техніки, які сприяють вдосконаленню процесів контролю, моніторингу та аналізу електричних систем. Інтенсивне впровадження автоматизації, цифрових технологій та концепції «розумних» мереж (Smart Grids) ставить нові вимоги до точності, швидкодії та функціональності вимірювального обладнання. Застосування таких сучасних підходів, як вейвлет-аналіз, штучний інтелект, IoT-рішення та оптоелектронні сенсори, дозволяє суттєво підвищити ефективність діагностики електротехнічних систем, забезпечити

контроль параметрів якості електроенергії та покращити прогнозування поведінки електричних мереж у динамічних умовах. В умовах стрімкого розвитку відновлюваних джерел енергії та зростання попиту на енергетичну ефективність новітні вимірювальні методи стають важливим інструментом для забезпечення стабільності, надійності та стійкості електроенергетичних систем. Ця стаття спрямована на огляд сучасних тенденцій у галузі вимірювань, аналіз інноваційних підходів і перспектив їх впровадження в електротехніці.

2. Недоліки

Інтеграція передових технологій, таких як вейвлет-аналіз, штучний інтелект, IoT-рішення та оптоелектронні сенсори, приносить значні переваги вимірювальним системам в електротехніці. Однак така інтеграція також супроводжується низкою недоліків, які необхідно ретельно враховувати.

Одним із основних недоліків є суттєве ускладнення системи. Впровадження декількох передових технологій означає, що вимірювальні системи тепер працюють з більшою кількістю компонентів, алгоритмів та потоків даних. Наприклад, хоча вейвлет-аналіз забезпечує високу роздільну здатність часово-частотної інформації, його впровадження вимагає ретельного налаштування параметрів, таких як тип вейвлету, масштаб та рівень декомпозиції. Аналогічно, інтеграція штучного інтелекту передбачає використання складних моделей машинного навчання, які потребують постійного перенавчання та валідації. Додавання IoT-рішень та оптоелектронних сенсорів ще більше ускладнює архітектуру системи, вводячи численні точки збору даних, протоколи зв'язку та проблеми з об'єднанням даних. Ця багаторівнева складність може призводити до труднощів з інтеграцією системи, її налагодженням та довгостроковим обслуговуванням.

Через підвищену складність інженерам та технічному персоналу необхідно набувати спеціалізованих знань для ефективної експлуатації та обслуговування таких систем. Фахівці повинні добре володіти методами сучасної обробки сигналів, алгоритмами машинного навчання, питаннями мережевої безпеки для IoT-пристроїв та принципами оптоелектроніки. Це часто вимагає додаткового навчання або навіть залучення експертів з вузькою спеціалізацією, що може збільшити експлуатаційні витрати і уповільнити загальний процес впровадження. Організаціям також може знадобитися інвестувати в постійний професійний розвиток, щоб йти в ногу з швидко еволюціонуючими технологіями та забезпечувати компетентність свого персоналу у керуванні такими складними системами.

Зі збільшенням складності систем зростає також ризик відмов компонентів або проблем з інтеграцією. Кожна нова технологія, введена до вимірювальної системи, є потенційною точкою відмови. Якщо один із елементів, наприклад, IoT-сенсор або алгоритм машинного навчання, виходить з ладу або генерує помилкові дані, це може спричинити ланцюгову реакцію по всій системі, впливаючи на її загальну продуктивність та надійність. Це може призводити до збільшення часу простоїв, частішого проведення технічного обслуговування та потреби у комплексних інструментах і процедурах діагностики. Складність усунення несправностей у таких багатофункціональних системах може вимагати довгих термінів вирішення проблем та більш детального аналізу, що ще більше впливає на ефективність експлуатації системи.

Необхідність спеціалізованого навчання, у поєднанні зі складністю інтеграції цих передових технологій, може призвести до уповільнення процесу впровадження. Меншим організаціям або тим, що мають обмежені ресурси, може бути важко швидко реалізувати такі системи. Початкові інвестиції як у час, так і у фінанси для модернізації існуючої інфраструктури, навчання персоналу та інтеграції цих технологій можуть бути суттєвими. Цей бар'єр може відлякати деякі організації від впровадження передових вимірювальних рішень, обмежуючи їх широке використання, незважаючи на потенційні переваги.

Ще одним недоліком є підвищений ризик кібербезпеки. IoT-пристрої, зокрема, часто працюють у мережах, вразливих до кібернападів. Інтеграція цих пристроїв у критичні вимірювальні системи може відкрити всю систему для потенційних зломів. Зловмисники можуть використати вразливості в протоколах зв'язку або програмному забезпеченні, що може призвести до несанкціонованого доступу, маніпулювання даними або переривання роботи системи. Необхідність впровадження надійних заходів кібербезпеки, хоча й є життєво важливою, додає ще один шар складності та додатково збільшує навантаження на обслуговування організацій.

Підсумовуючи, хоч інтеграція передових технологій, таких як вейвлет-аналіз, штучний інтелект, IoT-рішення та оптоелектронні сенсори, має значний потенціал для покращення точності та ефективності вимірювальних систем в електротехніці, вона також супроводжується низкою помітних недоліків. Збільшення складності системи, необхідність спеціалізованих знань і навчання, потенційне збільшення часу простоїв, уповільнення темпів впровадження та підвищений ризик кібербезпеки – усе це фактори, які слід ретельно зважувати. Для подолання цих викликів необхідно застосовувати збалансований підхід, що включає інвестиції в навчання, розробку надійних системних рішень та впровадження комплексних протоколів безпеки, щоб у повній мірі реалізувати переваги цих передових технологій.

3. Мета

Основна мета цієї статті полягає у наданні всебічного огляду сучасних тенденцій у галузі вимірювальних технологій та аналізі інноваційних підходів, які трансформують сферу електротехніки. У роботі розглядається, як останні досягнення — такі як цифрова трансформація, автоматизація та розумні технології — впливають на ландшафт електричних вимірювань, а також як новітні методи, зокрема вейвлет-аналіз, штучний інтелект та IoT-рішення (Інтернет речей), інтегруються у вимірювальні системи для підвищення продуктивності, надійності та точності. Стаття заглиблюється у перехід від традиційних підходів до вимірювання до більш адаптивних, орієнтованих на дані методів, здатних реагувати на динамічні умови системи та зростаючу інтеграцію відновлюваних джерел енергії. Також розглядаються принципи та застосування цих інноваційних методик, оцінюється їхній вплив на довгострокові проблеми, такі як коливання напруги, гармонійні спотворення та електромагнітні перешкоди, а також наведено приклади з реального життя та кейс-стаді, що ілюструють їхню ефективність. Більше того, стаття обговорює технічні та організаційні виклики інтеграції передових вимірювальних технологій у існуючі електричні системи, водночас висвітлюючи можливості для майбутнього розвитку, зокрема подальшу інтеграцію розумних технологій та розширення ролі штучного інтелекту і IoT у сфері управління енергоспоживанням. Надаючи стратегічні рекомендації та визначаючи прогалини у сучасних знаннях, ця стаття має на меті поглибити розуміння, спрямувати подальші дослідження та сприяти впровадженню передових вимірювальних систем, що в кінцевому підсумку сприятиме створенню більш сталої та інтелектуальної енергетичної інфраструктури.

4. Виклад основного матеріалу

Розглянемо вейвлет-аналіз у контексті сучасної метрології. Вейвлет-аналіз є одним із найбільш інноваційних і універсальних методів обробки сигналів, який знайшов широке застосування в сучасній метрології, зокрема в електротехніці та промисловій електроніці. Цей метод дозволяє аналізувати нестационарні сигнали, одночасно оцінюючи їх характеристики як у часовій, так і у частотній областях, що робить його незамінним для дослідження перехідних процесів, гармонійних спотворень і аналізу якості енергетичних систем.

Вейвлет-аналіз є сучасним інструментом для обробки сигналів у електротехніці, який дозволяє ефективно аналізувати часово-частотні характеристики. Основою методу є багатопоточна декомпозиція, яка забезпечує поділ сигналу на складові різних масштабів, та можливість часово-частотної локалізації, що дозволяє ідентифікувати короточасні зміни сигналів із високою точністю [1, 2].

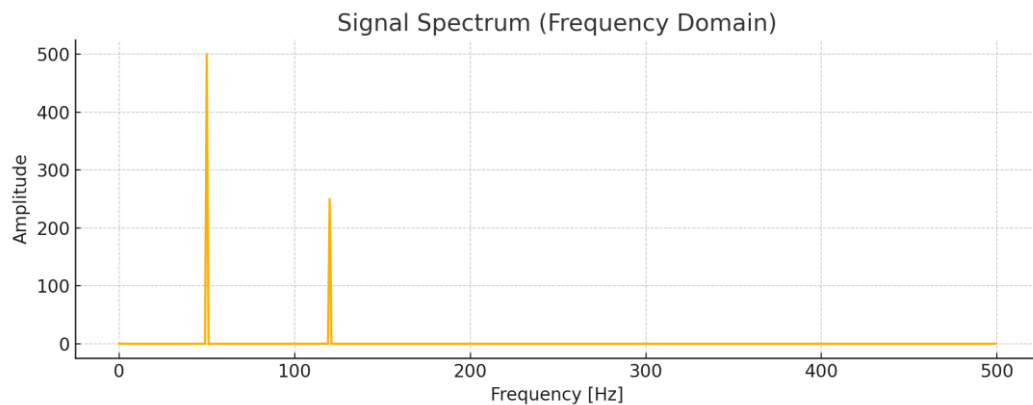


Рис. 1. Представлення сигналу в частотній області (FFT).

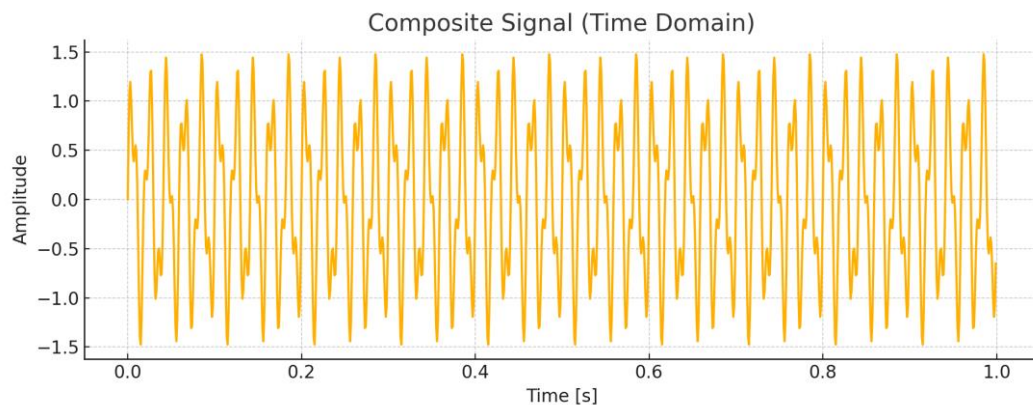


Рис.2. Часове представлення складеного електричного сигналу.

Застосування вейвлет-аналізу для оцінки якості електроенергії охоплює кілька напрямків. Зокрема, методи вейвлет-перетворення ефективно використовуються для оцінки напруги та фазових кутів (RMS значень), що є важливим для аналізу гармонійних складових сигналів у системах електропостачання [3].

Крім того, вейвлет-аналіз широко застосовується для діагностики явища мерехтіння напруги [4]. Ця проблема пов'язана зі змінами напруги, що можуть негативно впливати на роботу обладнання. Методи, засновані на вейвлетах, дозволяють ідентифікувати та аналізувати мерехтіння з високою точністю, забезпечуючи інструмент для його оцінки та усунення [4, 5].

Окремий акцент у вейвлет-аналізі робиться на покращенні точності вимірювань. Розроблені алгоритми, які базуються на віконних функціях та інтерполяційних методах, дають змогу мінімізувати похибки вимірювань та підвищити точність розрахунків параметрів електричних сигналів [6].

SMART METERING

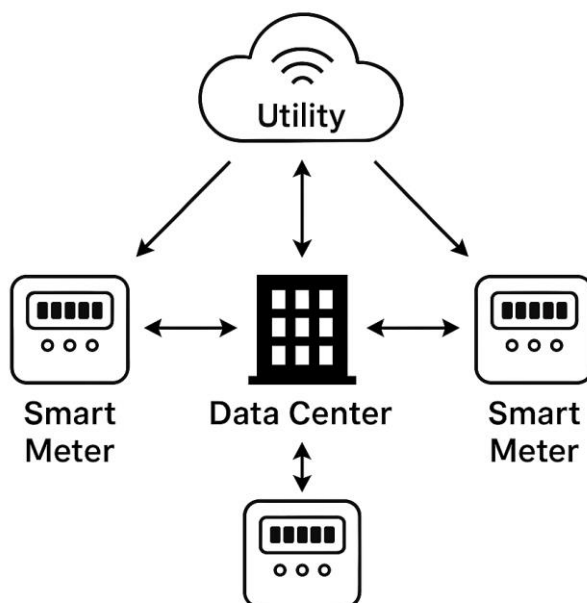


Рис. 3. Архітектура системи інтелектуального обліку.

Вейвлет-аналіз є потужним інструментом для аналізу сигналів, який дозволяє ефективно вирішувати завдання, пов'язані з оцінкою якості електроенергії, діагностикою процесів у мережах та покращенням точності вимірювань.

Сучасні виклики у сфері енергетики вимагають впровадження інноваційних технологій, здатних забезпечити ефективне управління енергоспоживанням, зменшити втрати енергії та інтегрувати відновлювані джерела енергії у глобальну енергосистему. Одним із найперспективніших напрямків є застосування Smart-технологій, які поєднують автоматизацію, аналітику та можливості Інтернету речей (IoT) [7].

Інтеграція систем Smart Metering у сучасні енергетичні системи є ключовим компонентом концепції розумного енергоспоживання. Smart Metering — це технологія, яка дозволяє автоматично реєструвати, передавати та аналізувати дані про енергоспоживання в реальному часі. Як зазначає Бунько В. (2023), впровадження таких систем у електроспоживанні сприяє підвищенню прозорості у відносинах між споживачами та постачальниками, забезпечуючи зручний доступ до інформації про енергоспоживання через мобільні додатки та онлайн-платформи.

ARCHITECTURE OF IoT

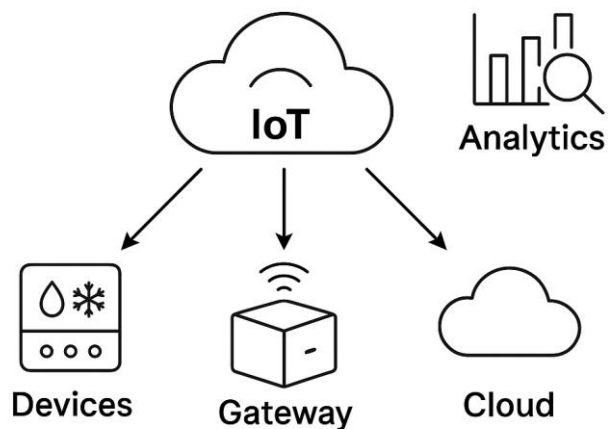


Рис. 4. Базова структура архітектури Інтернету речей в енергетичних системах.

Smart Metering дозволяє не лише здійснювати точний облік енергії, але й ефективно управляти попитом у пікові години, що значно знижує навантаження на енергосистему [8]. Зокрема, ця технологія сприяє зменшенню технічних і комерційних втрат, оптимізуючи споживання енергії.

Однією з ключових переваг автоматизації є інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Використання Smart Metering у поєднанні з технологіями розподіленої генерації сприяє ефективному управлінню джерелами сонячної та вітрової енергії [9]. Це забезпечує стабільність електромереж навіть за умов значної частки ВДЕ.

Ще одним важливим компонентом Smart-технологій є Інтернет речей (IoT), який забезпечує можливість моніторингу та управління енергетичними системами в реальному часі. IoT дозволяє інтегрувати численні сенсори, які збирають дані про параметри енергоспоживання, такі як напруга, струм, частота та інші показники. Ці дані обробляються у режимі реального часу, що дозволяє швидко реагувати на зміни у системі. IoT-технології дозволяють створити адаптивні системи управління, які оптимізують розподіл енергії та підвищують енергоефективність [10]. Завдяки IoT можна здійснювати інтелектуальний аналіз великих обсягів даних, отриманих від Smart Metering, що сприяє прогнозуванню енергоспоживання та оптимізації ресурсів.

Таким чином, Smart-технології, включаючи Smart Metering та IoT, створюють нові можливості для управління енергетичними системами. Вони забезпечують інтеграцію ВДЕ, оптимізацію розподілу енергії та покращення якості обслуговування споживачів, що є важливими складовими сталого розвитку сучасної енергетики.

Якість електроенергії є ключовим фактором для стабільного функціонування електричних мереж та споживачів. Підвищення показників якості електропостачання має вирішальне значення для забезпечення надійності, ефективності та безпеки енергетичних систем. У сучасних умовах це завдання вирішується за допомогою вдосконалених алгоритмів управління та інтеграції концепції Smart Grid, яка поєднує традиційні енергосистеми з інтелектуальними технологіями.

ADAPTIVE CONTROL

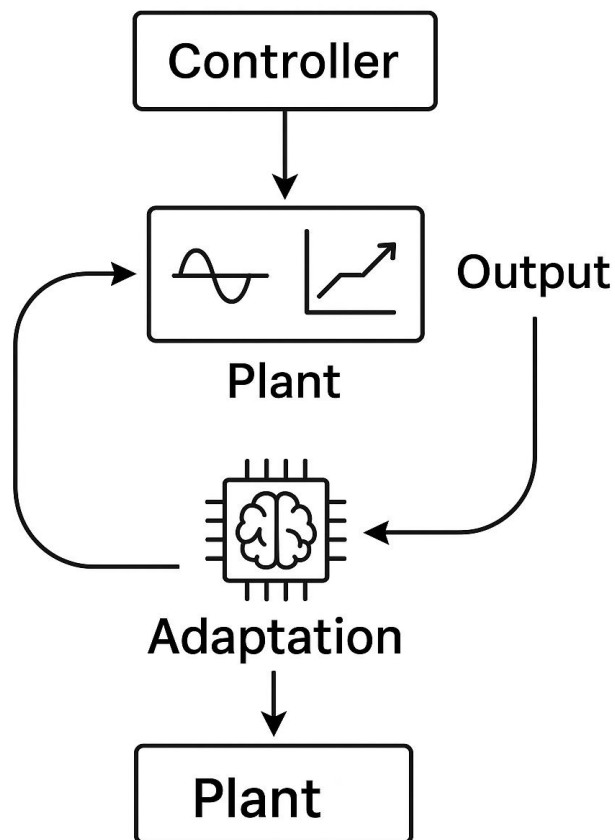


Рис. 5. Блок-схема адаптивної системи керування.

Одним із основних підходів до покращення якості електроенергії є використання алгоритмів покращення стабільності систем. Стабільність електромереж залежить від ефективного управління параметрами напруги, струму та частоти, особливо в умовах динамічних змін у системі [11]. У статті підкреслено, що для зменшення коливань напруги, усунення гармонійних спотворень та оптимізації розподілу енергії необхідно впроваджувати адаптивні алгоритми. Ці алгоритми базуються на аналізі великих обсягів даних у реальному часі, що дозволяє швидко і точно реагувати на будь-які відхилення в роботі системи.

Алгоритми, орієнтовані на підвищення стабільності, також враховують інтеграцію відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія. Завдяки адаптації системи до змін у виробленні енергії з ВДЕ забезпечується стабільність навіть у складних умовах роботи мережі.

Електромагнітна сумісність (ЕМС) є ще одним важливим аспектом якості електроенергії. В умовах зростання кількості електронних пристроїв та інтеграції відновлюваних джерел енергії виникають численні проблеми з ЕМС, які можуть призводити до порушень у роботі електрообладнання та систем у цілому. Для вирішення цих проблем необхідно застосовувати новітні підходи, засновані на концепції Smart Grid [9].

Smart Grid дозволяє інтегрувати технології автоматизації, моніторингу та управління, що забезпечують виявлення та мінімізацію впливу електромагнітних перешкод. Наприклад,

виявлення гармонійних спотворень та їх компенсація за допомогою активних фільтрів є одним із дієвих рішень для підвищення ЕМС. Також впровадження адаптивних контролерів у розумних мережах сприяє підвищенню надійності енергопостачання за рахунок автоматичної адаптації до змінних умов роботи мережі.

Таким чином, підвищення якості електроенергії забезпечується як завдяки вдосконаленню алгоритмів управління стабільністю систем, так і за рахунок вирішення проблем електромагнітної сумісності у концепції Smart Grid. Інтеграція інтелектуальних технологій, таких як адаптивні фільтри та автоматизовані системи контролю, є важливим етапом на шляху до забезпечення стабільності та ефективності сучасних енергетичних мереж.

Автоматизовані системи контролю відіграють ключову роль у сучасній електроенергетиці, забезпечуючи ефективний моніторинг, управління та оптимізацію енергоспоживання. Удосконалення структур цих систем і впровадження новітніх технологій дозволяють адаптуватися до зростаючих вимог галузі, таких як інтеграція відновлюваних джерел енергії та покращення якості обслуговування.

Основу сучасних автоматизованих систем контролю становлять первинні пристрої збору та обробки даних. Ці пристрої забезпечують отримання ключової інформації про параметри енергетичних систем, такі як напруга, струм, частота, потужність тощо [12]. Зібрані дані є основою для подальшого аналізу та прийняття рішень у реальному часі.

Первинні пристрої, такі як інтелектуальні сенсори, вимірювальні трансформатори та пристрої Smart Metering, дозволяють не лише фіксувати стан енергосистеми, але й здійснювати попередню обробку даних. Це дає змогу суттєво знизити навантаження на центральні обчислювальні ресурси та забезпечити високу швидкість реакції на зміни в мережі. Завдяки використанню таких технологій підвищується ефективність роботи систем, мінімізуються втрати енергії та покращується точність діагностики.

Попри значний прогрес у розвитку автоматизованих систем контролю, перед галуззю стоїть низка викликів. Одним із ключових є необхідність інтеграції новітніх вимірювальних технологій у відновлювану енергетику. Відновлювані джерела енергії, такі як сонячна та вітрова, характеризуються нестабільністю генерації, що створює додаткове навантаження на енергетичні системи. Для ефективного вирішення цієї проблеми необхідно впроваджувати інтелектуальні системи контролю, які здатні адаптуватися до змінних умов роботи мережі.

Перспективним напрямком є застосування технологій машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу даних, отриманих від первинних пристроїв. Ці технології дозволяють прогнозувати поведінку енергетичних систем, виявляти можливі аномалії та оптимізувати процеси управління. Крім того, інтеграція IoT (Інтернету речей) дає змогу створювати масштабовані системи контролю, які забезпечують постійний доступ до даних з будь-якого пристрою.

Автоматизовані системи також відіграють важливу роль у створенні розумних мереж (Smart Grids), які поєднують традиційні енергетичні мережі з цифровими технологіями. Це дозволяє підвищити стабільність системи, знизити втрати енергії та забезпечити інтеграцію відновлюваних джерел. Такі рішення сприяють переходу до більш сталої та ефективної енергетики.

Таким чином, сучасні автоматизовані системи контролю забезпечують фундамент для ефективного управління енергетичними системами. Інтеграція новітніх технологій та адаптація до викликів, пов'язаних із відновлюваною енергетикою, є ключовими для майбутнього розвитку галузі.

Висновки

У статті розглянуто сучасні методи та технології, які сприяють удосконаленню електротехнічних систем, підвищенню їх ефективності, точності та надійності.

Застосування вейвлет-аналізу демонструє високу результативність у вирішенні завдань моніторингу якості електроенергії, діагностики електричних сигналів та компенсації гармонійних спотворень. Це дозволяє значно підвищити рівень автоматизації та стабільності електромереж, особливо в умовах інтенсивного розвитку концепції Smart Grid.

Smart-технології, такі як Smart Metering та IoT, відіграють ключову роль у створенні сучасних систем управління енергоспоживанням. Вони забезпечують точний облік, оптимізацію використання енергоресурсів і інтеграцію відновлюваних джерел енергії. Розробка інтелектуальних систем моніторингу на основі IoT-технологій дозволяє здійснювати аналіз даних у реальному часі, підвищуючи оперативність і точність прийняття рішень.

Окрему увагу приділено автоматизованим системам контролю, які є основою для забезпечення надійності та ефективності енергетичних систем. Використання сучасних пристроїв збору даних та адаптивних алгоритмів управління сприяє покращенню якості електропостачання, вирішенню проблем електромагнітної сумісності та інтеграції нестабільних відновлюваних джерел енергії.

Таким чином, новітні методи та технології в електротехніці дозволяють забезпечити перехід до більш сталої, адаптивної та високотехнологічної енергетики. Перспективи подальшого розвитку полягають у поглибленні інтеграції інтелектуальних рішень, впровадженні машинного навчання та розширенні можливостей автоматизації для створення енергетичних систем майбутнього.

Список використаної літератури

1. Daubechies, I. The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis // IEEE Transactions on Information Theory. 1990. Vol. 36, No. 5. P. 961–1005. DOI: 10.1109/18.57199.
2. Mallat, S. G. A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1989. Vol. 11, No. 7. P. 674–693. DOI: 10.1109/34.192463.
3. Vatansever, F., Ozdemir, A. A new approach for measuring RMS value and phase angle of fundamental harmonic based on Wavelet Packet Transform // Electric Power Systems Research. 2008. Vol. 78. P. 74–79. DOI: 10.1016/j.epsr.2006.07.009.
4. Zheng, T., Makram, E. B. Wavelet representation of voltage flicker // Electric Power Systems Research. 1998. Vol. 48, No. 2. P. 133–140. DOI: 10.1016/S0378-7796(98)00006-0.
5. Chin, M. T., Meliopoulos, S. Wavelet-based algorithm for voltage flicker analysis // Proceedings of the Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power. 2000. Vol. 2. P. 732–738. DOI: 10.1109/ICHQP.2000.897057.
6. Andria, G., Savino, M., Trotta, A. Windows and interpolation algorithms to improve electrical measurement accuracy // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 1989. Vol. 38, No. 4. P. 856–863. DOI: 10.1109/19.32195.
7. Бунько, В. Використання пристроїв Smart metering в системах електроспоживання // Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 18–19 травня 2023 р.). Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2023. С. 36–37.
8. Коцар, О. В. Smart-системи вимірювання, обліку та управління енерговикористанням // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2018. № 2. С. 20–25.
9. Папаїка, Ю. А., Рогоза, М. В., Лисенко, О. Г. Проблеми електромагнітної сумісності в задачах надійності та ефективності електропостачання з урахуванням тенденцій концепції SMAR GRID // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2018. Вип. 4 (111). С. 16–22.

10. Despa, D., Nama, G. F., Muhammad, M. A., Anwar, K. The Implementation Internet of Things (IoT) Technology in Real Time Monitoring of Electrical Quantities // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. T. 335, № 1. С. 012063. DOI: 10.1088/1757-899X/335/1/012063.
11. Hart, D., Uy, D., Novosel, D., Kunsman, S., Laplace, C., Tellarini, M. Improving power quality // ABB Review. 2000. Vol. 4, No. 1. P. 12–19.
12. Тодоров, О. В., Бялобржеський, О. В. Аналіз структури сучасної автоматизованої системи контролю та обліку електроенергії, первинних пристроїв збору та обробки даних // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2020. Вип. 1 (120). С. 145–150.