

УДК 004.031.43:62-501/-502:620.91

DOI: [https://www.doi.org/10.31474/2415-7902-2022-1\(8\)-2\(9\)-152-161](https://www.doi.org/10.31474/2415-7902-2022-1(8)-2(9)-152-161)

М.В. Ступак, Г.В. Ступак

КОНЦЕПЦІЯ INTERNET OF ENERGY ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ

Мета. Визначення перспективного способу управління електричними мережами в умовах зростання кількості впроваджених об'єктів розподіленої генерації з використанням відновлювальних джерел. Об'єктом виступають системи диспетчеризації, предметом – способи побудови диспетчерських систем.

Методи. Дослідження проведені на основі системного та елементно-структурного підходів.

Результати. В роботі проведено аналіз предметної області та еволюції систем управління об'єктами електроенергетики. Актуальність роботи полягає в нагальній потребі необхідності вивчення сучасних підходів до управління в об'єктах електроенергетики, покликаних змінити не тільки способи управління, а і взагалі переглянути концепцію модернізації існуючих систем та побудови нових мереж. Визначено, що інформаційні мережі стають не тільки засобом спілкування між людьми, а і відкривають абсолютно нові шляхи обміну телеметричною інформацією щодо управління технологічними процесами між пристроями. Не виключенням є і енергетична галузь, де з кожним роком відбувається все більш глибоке проникнення саме телекомунікаційних технологій, створення нових підходів до управління енергетичними системами генерації та розподілу електроенергії. В роботі були розглянуті способи організації управління мережами та підвищення стійкості зі зниженням рівня інерційності, що базуються на використанні диференціальних лічильників, концепції гарячого резервування, застосування інтелектуальних технологій прогнозування та інформаційного обміну, впровадженням сучасних комунікаційних технологій та проведенням паралелей між рівнями дистрибуції електроенергії та передачею даних в інформаційних мережах.

Наукова новизна. Запропоновано застосування енергетичних маршрутизаторів для підвищення оперативності управління в електричних мережах з розподіленою генерацією.

Практичне значення. В роботі доведено, що саме концепція ІоЕ є найбільш перспективною для використання в електромережах в умовах зростання кількості розподілених об'єктів малої генерації.

Ключові слова: телеметрична інформація, концепція, електроенергетика, ІоЕ, телекомунікаційні технології, управління.

Вступ. Процес інтелектуалізації принципів керування в електричних мережах є одним з рушійних механізмів розвитку цієї галузі. Переосмислення підходів до управління об'єктами електроенергетики набув сталості у 70-ті роки. Передумовами інтеграції інтелектуальних систем управління та керування є необхідність оцінки реального рівня споживання електроенергії та всебічне ускладнення інфраструктури енергосистем з часом. Отримання адекватних та реальних цифр, а не умовно прогнозних значень щодо споживання електроенергії як об'єктами промисловості так і побутовими споживачами, унеможливило перенавантаження в мережі та виникнення аварійних ситуацій, таких як відключення, або ж вихід з ладу генеруючих або розподільчих потужностей. Ускладнення інфраструктури передбачає не тільки збільшення потужності та структури розподільчої мережі але й додатково вимагає більш якісного управління та своєчасного прийняття оперативних рішень. Наслідком умовно безконтрольного розвитку сфери генерації та розподілу без врахування реальних потреб ринку електроенергії стала поява так званих «блекаутів» – тимчасового відключення складових частин енергосистеми внаслідок перевантаження. Вірне нарощування інфраструктури і відхід від традиційних підходів дозволяють мінімізувати проблему «блекауту» та уникнути масових відключень, а також оптимізувати роботу мережі в цілому.

Основна частина. Як зазначалось вище, аспектами управління в електромережах почали перейматись в другій половині минулого сторіччя, таке прагнення здебільшого

було зумовлено саме технологічними та технічними чинниками, щодо стабільності та надійності функціонування енергосистем в цілому, і в меншій мірі було викликано економічним фактором, пов'язаним з прибутками генеруючих та розподільчих компаній. На першому етапі були розроблені та впроваджені диференціальні моделі лічильників, що проводили не тільки добовий обрахунок спожитої електроенергії, а давали змогу зрозуміти розподіл реального споживання протягом доби не спираючись на графіки роботи споживачів, а реально відображаючи тенденції щодо споживання. В якості регулюючого елементу в такій системі став економічний чинник, а саме диференціація тарифів в залежності від часу доби. Такий підхід, за рахунок економічного стимулювання дозволив дещо знизити пікове навантаження і збільшити горизонт планування рівня генерації в залежності від реальних потреб ринку. В цілому це дало змогу зробити електричні мережі більш надійними в умовах буму промислового виробництва. Також з промисловим бумом напряду пов'язаний процес ускладнення інфраструктури енергосистем. Безперечно це є незворотнім процесом, який тільки збільшує оберти, і це є невід'ємною частиною науково-технічного прогресу, тому як з кожним днем людство вимагає все більше і більше електроенергії для задоволення як власних так і промислових потреб. Виходячи саме з вимог забезпечення безперервним живленням кінцевих споживачів починає впроваджуватись концепція гарячого резервування, зокрема такий підхід отримав назву «Strong grids» («міцні мережі»), що спрямований на підвищення надійності роботи енергосистеми за умов аварій на її окремих ділянках. Тобто, вихід з ладу окремої підстанції, або, тим більше, трансформатора, не призведе до тотального відключення всіх споживачів електроенергії. Таким чином забезпечується стабільність роботи, але при цьому досягати належного економічного ефекту в таких системах доволі складно, саме через неоптимальне резервування. Але незважаючи на централізовану ієрархію «Strong grids», і те, що використовується односторонній принцип розподілу, управління та передачі електроенергії без зворотного зв'язку, в такі системи активно впроваджувались пристрої інтелектуального обліку. Дані системи характеризуються наявністю суворої ієрархії, обмеженою кількістю потужних виробників електроенергії, та однонаправленістю потоків. Окрім цього з'являється можливість імплементації в систему невеликої за зазначенням потужності генерації, що базується на використанні відновлювальних джерел (СЕС, ВЕС, ГЕС). Вже на початку 2000-х підхід до інтелектуалізації електроенергетичних мереж дозволив використати зворотний зв'язок із споживачами для управління генерацією електроенергії в режимі реального часу. При цьому ставилося завдання з великою точністю прогнозувати споживання електроенергії, а не лише оперативно вмикати резервні потужності електростанцій для компенсації підвищеного споживання. Тобто з'явилася можливість збалансувати споживання та генерацію електроенергії в автоматичному режимі.

У 2007 р. у законодавчому акті про енергетичну незалежність та безпеку США вперше з'явився термін «Smart grid». Цю назву отримала технологія модернізації національної електроенергетичної системи з метою захисту, контролю та оптимізації енергоспоживання всіх елементів та учасників мережі. Поява та розвиток концепції «Smart grid» є природним етапом еволюції електроенергетичної системи, і поступового переходу від централізованих систем генерації та розподілу з використанням підходу «Strong grid» до децентралізованої ієрархії з використанням зворотного зв'язку і оперативного управління. Це зумовлено, з одного боку, нагальними потребами енергоринку, на якому взаємодіють виробники та споживачі електроенергії, а з іншого боку, наявністю технічних можливостей вирішувати ці проблеми насамперед із використанням нових комп'ютерних та телекомунікаційних технологій. Загальні ідеї, закладені в «Smart grid», показані на рис.1 [1], а саме взаємодію елементів традиційної

енергосистеми (електроенергетична інфраструктура), з одного боку, системи управління, систем телекомунікацій, приладів обліку, вітрогенераторів, сонячних панелей – з іншого боку.



Рисунок 1 – Концепція побудови взаємодії в Smart grid

«Smart Grid» – інтегрована безпечна і надійна електроенергетична система, що охоплює генерацію, транспорт, розподіл і кінцеве споживання електричної енергії, ефективність якої забезпечується оперативним обліком енергоданих та заснована на застосуванні передових засобів моніторингу, комунікації, аналізу та динамічного управління. Дана схема взаємодії дозволяє в години пікових навантажень на мережу, замість введення в дію резервних потужностей, за сигналами з центру управління виконати тимчасове відключення потужних споживачів не критичної інфраструктури, наприклад спеціально оснащених кондиціонерів і промислових холодильників. Оскільки це відключення відбувається короткочасно (10...15 хв) і за окремо визначеними групами, то базові показники для кінцевого споживача електричних послуг майже не змінювались і за часту споживач навіть і не знає про зовнішнє втручання в роботу його електрообладнання. Такий підхід дозволяє зменшити потужність резервних блоків, які більшу частину часу простоюють, а значить, здешевити енергосистему в цілому. Концепція Smart grid характеризується рядом властивостей [2]:

1. Взаємодія з елементами виробництва, розподілу та споживання: ТЕЦ, ГЕС, АЕС, ВЕС, СЕС, накопичувачі енергії, електророзподільні мережі та кінцевий споживач.
2. Реалізовано активну двонаправлену взаємодію шляхом обміну інформацією між усіма елементами мережі, від генерації до споживача.
3. Забезпечується обмін даними у реальному масштабі часу, що практично безперервно забезпечує керований баланс між виробництвом та споживанням електроенергії.
4. Сприяє оптимальній експлуатації електромережі та здатністю до самовідновлення.
5. Усі елементи та пристрої, що входять до складу «Smart grid», повинні бути оснащені засобами, що здійснюють інформаційну взаємодію.

Але з розвитком малої генерації і трансформації підходів до формування енергоринку «Smart Grid» почали втрачати актуальність. Можливість здійснювати оперативний облік як рівня генерації так і рівня споживання істотно зменшується. Одним з найвагоміших чинників, що призводить до розбалансування існуючих

систем – активне впровадження зелених технологій. Здешевлення фотоелектричних модулів, акумуляторних батарей, впровадження зеленого тарифу створює умови для широкого впровадження індивідуальних станцій генерації електроенергії в домогосподарствах. При цьому на меті ставиться не тільки можливість знизити власні витрати на електроенергію, а й отримати прибуток від продажу надлишкової потужності до енергосистеми. З одного боку «Smart Grid» дозволяє виконувати оперативне керування енергосистемою, і з даною задачею повністю може впоратись, але за умови, що доля малих СЕС та ВЕС не буде перевищувати 10% від загального бюджету потужностей генерації в енергосистемі. Даний рівень проникнення зелених технологій може легко бути компенсований маневруючими потужностями у випадку зниження зеленої генерації. Але сьогодні ми спостерігаємо прагнення фізичних та юридичних осіб активніше впроваджувати альтернативні джерела як для задоволення власних потреб так і для отримання прибутків. Доля індивідуальних виробників електроенергії вже збільшилась на 15%, а до виробників зеленої електрики активно додаються і комерційні структури з сумарною встановленою потужністю вже понад 7000 МВт станом на кінець 2021 за даними НЕК «Укренерго». Якщо кількість «промислових» виробників зеленої енергії вимірюється 10, і інтегрувати їх у об'єднану енергосистему «Smart Grid» відносно просто, то в випадку приватних об'єктів генерації (переважно домогосподарства) інтегрувати їх значно складніше через їх кількість, яка на сьогоднішній день в Україні перевищила 25 000. «Smart Grid» не розрахована роботу з системою, де одночасно працюватиме багато тисяч дрібних нестабільних виробників електроенергії, які, до того ж, час від часу перетворюються на споживачів електроенергії. Крім того, у такій мережі постійно виникатимуть добові та регіональні великі перетікання електроенергії. Для регулювання цього необхідно повсюдне впровадження інформаційно-комунікаційних технологій, щоб забезпечити баланс виробництва та споживання електроенергії шляхом регулювання, як виробників, і споживачів електроенергії. Процес еволюції систем управління в електроенергетичній галузі приведений на рисунку 2 [3].

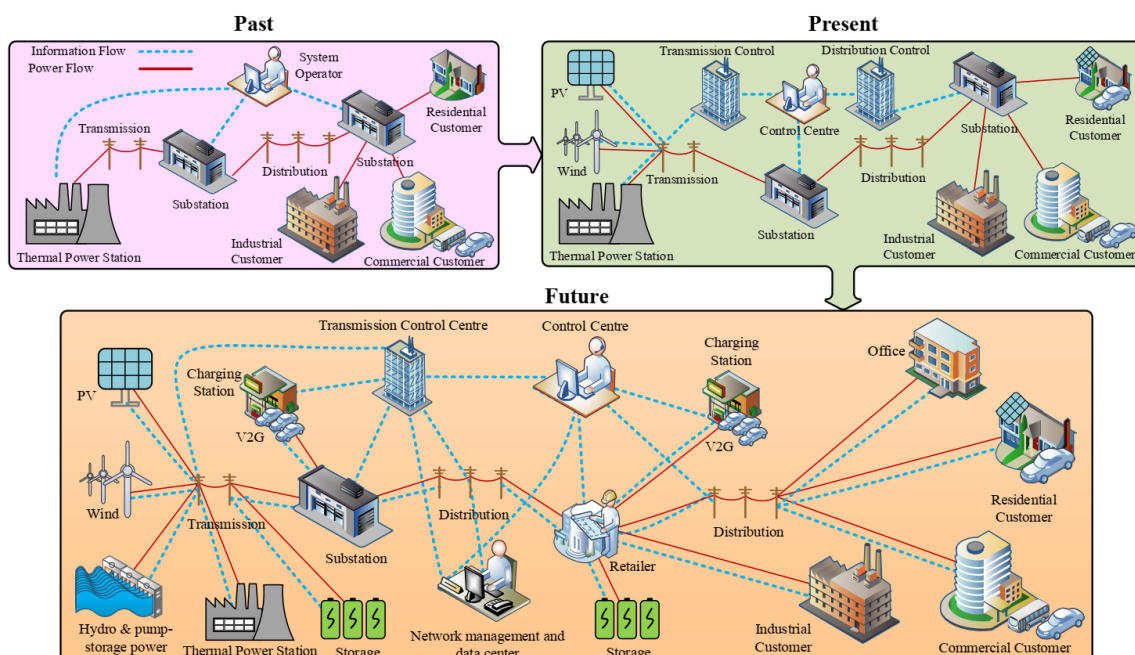


Рисунок 2 – Еволюція систем диспетчеризації в електроенергетиці

В застарілих системах використовувався підхід диспетчеризації, що заснований довгостроковому плануванні з можливістю замовляти необхідний рівень потужності. Такий підхід унеможливорює гнучкість системи та робить систему незбалансованою у випадку зміни поведінки споживачів. Також слід зауважити, що можливість інтеграції зелених та відновлювальних технологій, що не мають стабільних показників генерації практично неможлива. На сьогоднішній день використовуються моделі керування, що передбачають зворотній зв'язок, але не на рівні кінцевого користувача, а на рівні дистрибуції та генерації. При цьому існує можливість керувати генерацією в залежності від глобального попиту, а також враховувати графіки пікових годинних, добових і сезонних навантажень.

Керування генерацією, окрім пікових графіків здійснюється також за рахунок формування відкритого ринку і балансування вартості в залежності від добових показників генерації або ж споживання. Таким чином системи управління та диспетчеризації доповнюються короткостроковим прогнозуванням, що дозволяє диспетчерському центру виконувати оперативне керування рівнем генерації в залежності від вхідних і поточних умов. Підхід IoE (internet of energy), приходить на заміну Smart Grid і значно розширює доступні можливості.

Він вже частково впроваджується сьогодні, дозволяє отримувати зворотній зв'язок не тільки на рівні дистрибуції, а й вже від кінцевого споживача або систем що представляють сектор малої генерації. Концепція IoE поділяється на три категорії:

1. Генеруючі ресурси.
2. Споживачі енергії.
3. Накопичувачі електричної енергії.

Одним з найбільших чинників до впровадження концепції IoE є стрімке зростання некерованих малих електростанцій з відновлювальною генерацією, що загрожує безпеці та стабільності мережі через зменшення інерції енергосистеми. Моніторинг і контроль відновлюваної генерації повинен здійснюватися в режимі реального часу у глобальному масштабі, а не на локальному рівні, і це дасть змогу планування генерації та управління енергетичною системою в цілому.

Базою для впровадження IoE є застосування Інтернет-платформ та комунікаційного обладнання в управління величезною кількістю елементів мережі. У випадку реалізованої інфраструктури IoE, різні частини енергомережі можуть краще координувати одна одну, а позитивні чи негативні дисбаланси ВДЕ будуть визначатися майже в режимі реального часу. Для коректного функціонування необхідно забезпечити надійний і високошвидкісний зв'язок між всіма складовими електромережі та диспетчерським центром. В такому випадку оператор має більше контролю над електромережею і в автоматичному режимі забезпечувати швидкі включення або ж відключення як потужностей генерації так і окремих користувачів, для яких такі рішення не є критичними. Наприклад, якщо оператор вирішить зменшити споживання в певній лінії на рівні розподілу, відповідний сигнал буде надіслано до цільового регіонального розподільного центру. Цей центр також може надсилати подібний сигнал усім кінцевим споживачам, що підключені до цієї лінії. Кожен окремий споживач також може мати різні попередньо визначені та регульовані схеми керування, і вони можуть бути оснащені певними інтерфейсами на основі IoE та автоматичними контролерами, які інформують споживача та оператора щодо зменшення споживання. Крім того, користувач може застосувати попередньо визначені стратегії зменшення споживання енергії для автоматичного відключення деяких навантажень. Усі ці контрольні завдання керуються автоматично за допомогою інфраструктури IoE. Даний підхід о організації взаємозв'язків в мережі і принципів керування в деякому сенсі

повторює ієрархію мережі Інтернет. В таблиці 1 проведені паралелі між концепцією ІоЕ та мережею Інтернет [4].

Таблиця 1 – Подібність мережі Інтернет та ІоЕ

Параметр	ІоЕ	Інтернет
Сховище	Акумулятори, мережеві накопичувачі енергії	Кеш- і проксі-сервери, датацентри
Передача	Лінії передачі	Сукупність кабелів і систем передачі
Генерація	Невідновлювальні та відновлювальні джерела енергії	Сервери мережних служб і додатків
Розподільча компанія	Оператор енергоринку	Інтернет провайдер
Розподільча мережа	Сукупність інформаційних каналів та каналів передачі даних	Мережа доступу
Комутація	Маршрутизатор енергії	Комутатори та маршрутизатори
Хости	Споживачі	Клієнти
Зони обслуговування	Окремі ділянки енергомережі	Сегменти глобальної мережі, що обслуговуються окремими Інтернет провайдерами
Інтерфейси	Порти підключення споживачів	Мережні інтерфейси для підключення пристроїв

Виходячи з рівня подібності ІоЕ та мережі Інтернет, та результатів досліджень, що представлені в [4, 5, 6], можна зробити висновок про те, що підходи до комутації і маршрутизації трафіка які використовуються в мережі Інтернет можна застосовувати для управління в мережах ІоЕ. Але слід зауважити, що справедливність даного твердження можлива за умови використання надійної і захищеної мережі передачі даних між всіма об'єктами енергосистеми та операторським центром. Моніторинг стану енергомережі, швидкість і коректність прийняття диспетчерських рішень оператором енергосистеми залежить саме від надійності і швидкодії телекомунікаційної складової ІоЕ. Структура ІоЕ достатньо складна і містить елементи ІоТ, сервери додатків, хмарні сервіси для зберігання та обробки даних, та SCADA-системи з відповідними НМІ інтерфейсами.

ІоЕ має подібну структуру та функціональність порівняно з сучасними розподіленими обчисленнями та інфраструктурами Інтернету. Вона складається з розподіленої генерації та накопичення енергії з можливістю plug-and-play (рис. 3).

В енергетичній системі розподілені відновлювані/невідновлювані джерела подібні до різних інтернет-серверів, лінія електричної передачі порівнянна з кабелем передачі на великі відстані для Інтернету, а місцева розподільча компанія аналогічна постачальникам послуг Інтернету (ISP). Подібно до того, як провайдери Інтернету контролюють використання Інтернету своїм клієнтом за допомогою власних засобів контролю, розподільча компанія відповідає за управління енергією та контроль своїх пов'язаних клієнтів. Користувачі як інтернет-, так і енергетичної мережі виконують подвійні ролі. Користувач Інтернету може надсилати або отримувати інформацію через Інтернет, а користувач мережі може продавати або купувати енергію в мережу.

Також важливим аспектом є і те, що концепція ІоЕ повністю лежить в контексті парадигми Industry 4.0, що також свідчить про те, що в ІоЕ окрім підходів мережного управління можна застосовувати підходи з Industry 4.0. ІоЕ в комплексі забезпечує обмін інформацією та електроенергією між різними джерелами та навантаженнями,

включаючи відновлювані джерела енергії, розподілені сховища, електричні транспортні засоби, що підключаються до електромережі, побутові та промислові споживачі, тощо.

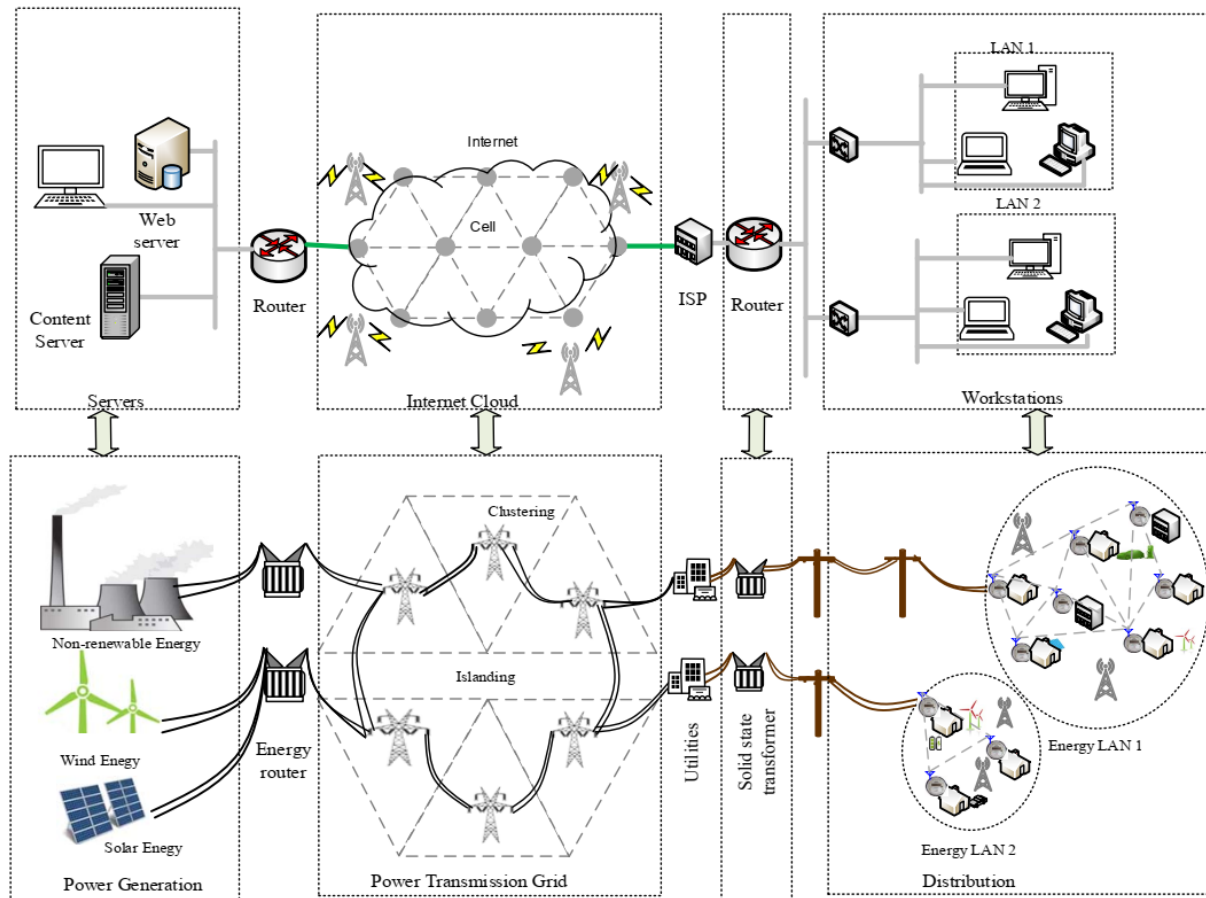


Рисунок 3 – Функціональне порівняння IoE та мережі Інтернет

Архітектура мережі – однорангова, але за потреби може бути введено додатковий рівень ієрархічного контролю. Для IoE запропоновано різні детальні архітектури, у [5, 6] визначені ключові компоненти для створення автоматизованої та гнучкої системи розподілу електроенергії або енергетичного Інтернету (рис. 4).

Основним елементом в цій системі є «маршрутизатор енергії – energy router» або блок інтелектуального управління енергією (IEM), який містить уніфікований інтерфейс для підключення та компонент DGI – розподілена інтелектуальна мережа. Блок інтелектуального управління несправностями (IFM) ізолює енергетичну локальну мережу у випадку виникнення електричного збою або ж у випадку коли відбувається регламентне відключення. IEM і IFM повинні обмінюватись даними через надійну та безпечну мережу зв'язку. З точки зору можливості підключення до електромережі, то energy router може працювати як зі змінним так і з постійним струмом, і його основою є блок розподіленої електромережі (DGI).

Основними функціями energy router є обробка інформації, диспетчеризація електроенергії та перетворення напруги. Його роль полягає в підвищенні надійності, ефективності та безпеки енергосистеми, а також в оптимізації використання енергії шляхом збалансування попиту та пропозиції. Він має можливість отримувати, обробляти та передавати інформацію про стан мережі щодо поточної генеруючої потужності та поточного попиту. У відповідності до концепції IoE, енергетичні

маршрутизатори будуть розміщені в різних точках енергетичної мережі, подібно до трансформатора в сьогодишній мережі, або ж до пристроїв обліку у споживачів з можливістю підключення до і них інтелектуальних пристроїв споживання/генерації. Пристрій відповідає за зв'язок із великою кількістю розподілених джерел і навантажень, а також за локальне балансування попиту та пропозиції. Коли місцеве постачання перевищує місцеве споживання, енергетичний маршрутизатор передає надлишок енергії в мережу. Енергетичний маршрутизатор також спілкується з іншими маршрутизаторами для більш широкого балансування попиту та пропозиції в більш широкому масштабі [7].

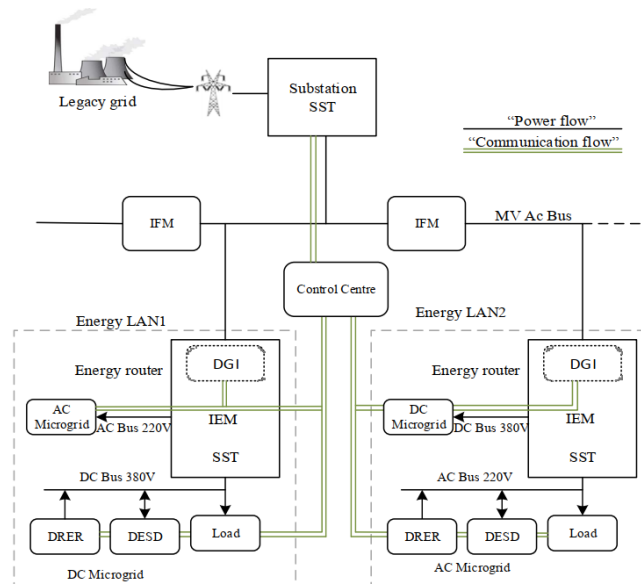


Рисунок 4 – Ключові компоненти IoE

Енергетичний маршрутизатор складається з трьох модулів:

- твердотільного трансформатора;
- інтелектуального управління розподіленою мережею;
- комунікаційного блоку.

Твердотільний трансформатор, по суті, є перетворювачем напруги на основі силової електроніки. Інтелектуальний блок управління розподіленою мережею — це операційна система на основі відкритого стандарту, яка оптимізує виробництво та розподіл енергії в мікромережі, до якої вона підключена. Комунікаційний модуль відповідає за обмін даними всередині та між енергетичними маршрутизаторами

Енергетичний маршрутизатор функціонально подібний до інформаційного маршрутизатора, оскільки він здатний виконувати маршрутизацію, контролювати та координувати потоки електроенергії. Він повинен автоматично розпізнавати будь-який пристрій, підключений до енергетичної локальної мережі, через інтерфейс plug-and-play. Ці інтерфейси plug-and-play повинні мати однакові функції в обох системах, як показано на рис. 3. Якщо провести аналогії, то Інтернет складається з інтерфейсу plug-and-play, наприклад RJ45, Ethernet і USB, а і IoE, в свою чергу, де завантажуються/розподіляються ресурси (AC або DC) можна підключати або відключати через шину постійного або змінного струму. В Інтернеті всі пристрої можуть взаємодіяти один з одним, і те саме стосується IoE. Інформаційно-залежні інтелектуальні пристрої спілкуються один з одним через комунікаційний інтерфейс за відкритим протоколом.

Обидва типи маршрутизаторів мають різні ступені контролю. ІоЕ має багато контрольних вузлів від центрального ядра до розподілених інтелектуальних периферійних вузлів, подібних до Інтернету. Основна мережа має строгий контроль, а в системах розподілу є розподілений контроль, де сектори виконуються для простоти та ефективного контролю різних розподілених споживачів. Крім того, існує слабко контрольоване середовище в будинку або будівлях [15].

Висновки. Виходячи з проведеного аналізу, доведено що на даний час модель функціонування електричних мереж знаходиться у процесі трансформації, і відбувається перехід до більш інтелектуальних систем які в собі поєднують технології ІоТ та Smart Grid задля більш оперативного управління. Дане поєднання створює абсолютно нову концепцію – ІоЕ. Необхідно зазначити, що системний оператор, при впровадженні сучасних підходів телеметрії і переходу до ІоЕ стикається з величезною кількістю невизначеності в моделі і збільшенням обсягів вхідних даних, що вимагає створення нових алгоритмів роботи як на рівні генерації так і на рівні споживання для устаткування кінцевих користувачів. Подальші роботи в цьому напрямі повинні бути спрямовані на розробку алгоритмів роботи електричних мереж з використанням штучного інтелекту, а також створенні нових пристроїв – energy router.

Список літератури

1. Ступак М.В., Ступак Г.В. Способи управління в електричних мережах. «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології: зб. доповідей Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, 1-2 грудня 2021 р. / ДВНЗ «ДонНТУ»; відп. ред. М.В. Ступак. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2021, 138-141 с.
2. Технология Smart grid и будущее мировой электроэнергетики - Статьи :: Международный Электротехнический Журнал Электрик [Электронное джерело] <http://electrician.com.ua/posts/1389>
3. H. Shahinzadeh, J. Moradi, G.B. Gharehpetian, H. Nafisi and M. Abedi, "Internet of Energy (IoE) in Smart Power Systems," 2019. The 5th Conference on Knowledge Based Engineering and Innovation (KBEI), 2019, pp. 627-636.
4. Y.R. Kafle, K. Mahmud, S. Morsalin and G.E. Town, "Towards an internet of energy," 2016 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON), 2016, pp. 1-6.
5. Huang, Alex Q., et al. "The future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system: the energy internet." Proceedings of the IEEE 99.1 (2011): 133-148.
6. Chen, Dong, et al. "Distributed and autonomous control of the FREEDM system: A power electronics based distribution system." Industrial Electronics Society, IECON 2014-40th Annual Conference of the IEEE. IEEE, 2014.
7. Xu, Yi, et al. "Energy router: Architectures and functionalities toward Energy Internet." Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011.

References

1. Stupak M.V., Stupak H.V. Spособы upravlinnia v elektrychnykh merezhakh. «ТАК»: telekomunikatsii, avtomatyka, komp'yuterno-intehrovani tekhnolohii: zb. dopovidei Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh, 1-2 hrudnia 2021 r. / DVNZ «DonNTU»; vidp. red. M.V. Stupak. – Pokrovsk: DVNZ «DonNTU», 2021. 138-141 s.
2. Tekhnolohyia Smart grid y budushchee myrovoi elektroenerhetyky - Staty :: Mezhdunarodnyi Elektrotekhnicheskyy Zhurnal Elektrik [Elektronne dzherelo] <http://electrician.com.ua/posts/1389>
3. H. Shahinzadeh, J. Moradi, G.B. Gharehpetian, H. Nafisi and M. Abedi, "Internet of Energy (IoE) in Smart Power Systems," 2019. The 5th Conference on Knowledge Based Engineering and Innovation (KBEI), 2019, pp. 627-636.
4. Y.R. Kafle, K. Mahmud, S. Morsalin and G.E. Town, "Towards an internet of energy," 2016 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON), 2016, pp. 1-6.
5. Huang, Alex Q., et al. "The future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system: the energy internet." Proceedings of the IEEE 99.1 (2011): 133-148.

6. Chen, Dong, et al. "Distributed and autonomous control of the FREEDM system: A power electronics based distribution system." Industrial Electronics Society, IECON 2014-40th Annual Conference of the IEEE. IEEE, 2014.

7. Xu, Yi, et al. "Energy router: Architectures and functionalities toward Energy Internet." Smart Grid Com7. munications (SmartGridComm), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011.

Надійшла до редакції 22.10.2022

M. Stupak, H. Stupak

THE INTERNET OF ENERGY CONCEPT FOR MANAGEMENT OF ELECTRICAL NETWORK FACILITIES

Purpose. Determination of a promising way of managing electric networks in the conditions of an increase in the number of implemented distributed generation facilities using renewable sources. Dispatch systems are the object, methods of building dispatch systems are the subject.

Methods. Research was carried out on the basis of system and elemental-structural approaches.

Results. The article analyzes the subject industry and the evolution of energy facility management systems. The relevance of the work lies in the acute study of modern approaches to the management of electric power facilities, designed to change not only management methods, but also to generally revise the concept of modernization of existing systems and construction of new networks. It has been determined that information networks become not only the means of communication between people, but also open completely new ways of exchanging telemetric information regarding the management of technological processes between devices. The energy sector is no exception, where every year the penetration of telecommunication technologies is deepening, creating new approaches to the management of energy systems of electricity generation and distribution. The work considers ways of organizing network management and increasing its stability with a decrease in the level of inertia, based on the use of differential meters, the concept of hot backup, the use of intelligent forecasting and information exchange technologies, and the introduction of modern communication technologies, and parallels between the levels of power distribution and data transmission in information networks.

Scientific novelty. It has been offered to increase the efficiency of management in electrical networks with distributed generation with the help of energy routers.

Practical significance. The work proves that the IoE concept is the most promising for the use in power grids in the conditions of an increase in the number of distributed objects of small generation.

Keywords: telemetric information, concept, electric power industry, IoE, telecommunication technologies, management.

Відомості про авторів

Ступак Марина Володимирівна, аспірантка кафедри автоматики та телекомунікацій, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», maryna.stupak@donntu.edu.ua

Ступак Гліб Володимирович, старший викладач кафедри автоматики та телекомунікацій, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», glib.stupak@donntu.edu.ua

Stupak Maryna Volodymyrivna, PhD student of the Department of Automation and Telecommunications, Donetsk National Technical University, maryna.stupak@donntu.edu.ua

Stupak Hlib Volodymyrovych, senior lecturer of the Department of Automation and Telecommunications, Donetsk National Technical University, glib.stupak@donntu.edu.ua