

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМ SMART-МОНІТОРИНГУ MICROGRID СИСТЕМ

У даній статті проведено аналіз основних вимог до систем керування в Microgrid системах. Визначено основні цілі впровадження Microgrid систем та, на основі проведеного аналізу, систематизовано вимоги до систем Smart-моніторингу. Проаналізовано складові систем Smart-моніторингу, які включають: комунікаційну програмну платформу, апаратну комунікаційну платформу та типи обладнання джерел РГ для Microgrid систем. Запропоновано побудову систем Smart-моніторингу для Microgrid систем здійснювати на основі моделі SGAM з урахуванням різноманітних моделей агрегування різноманітних джерел РГ у рамках Microgrid систем. Запропонована структура системи Smart-моніторингу для Microgrid систем з різноманітними джерелами РГ дає змогу ефективно агрегувати джерела РГ та активних споживачів та здійснювати ефективну диспетчеризацію генерувальних потужностей на основі ринкових механізмів їх взаємодії зі споживачами та між собою.

Ключові слова: *Microgrid, системи моніторингу, відновлювальні джерела енергії, системи накопичення енергії, активні споживачі.*

Вступ. Незважаючи на те, що локальні Microgrid системи пропонують цілий ряд переваг, їх впровадження пов'язане з багатьма проблемами. Ці виклики можна структурувати наступним чином: двонаправлений потік електроенергії; проблеми з якістю електроенергії; низька інерційність; ізолюваний режим роботи; скоординоване керування декількома джерелами розосередженої генерації (РГ); накопичення енергії; економічна та надійна робота; технологічні виклики та кібербезпека; регуляторні бар'єри [1-7].

Інтеграція джерел РГ в мережу Microgrid систем починається з взаємозв'язку між різноманітними джерелами РГ та системами накопичення енергії (СНЕ) або їх агрегування у точці приєднання, організованої як Microgrid система або агрегації операторами систем розподілу (ОСР) або сторонніми агрегаторами, якими можна керувати для надання послуг клієнтам та мережі. Microgrid системи в основному створюються для забезпечення стійкої та надійної роботи критичних інфраструктурних об'єктів. Вони можуть надавати послуги мережі, але в основному вони зосереджуються на обслуговуванні споживачів у межах своїх кордонів, коли вони являють собою повністю локальні системи. Агреговані джерела РГ, з іншого боку, не живлять окремі навантаження, а надають послуги системам розподілу та передачі та беруть участь у роботі ринків електроенергії. ОСР/регулюючі органи повинні брати участь у визначенні операцій приєднання/інтеграції джерел РГ у Microgrid системах чи їх агрегуванні.

Інтеграція джерел РГ є одним із важливих завдань Microgrid, оскільки джерела РГ та системи накопичення енергії (СНЕ) є конкурентними альтернативами для керування генеруванням у пікові години на ринку електричної енергії України. Для забезпечення ефективної процедури агрегування розосереджених енергетичних ресурсів, Інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) повинні забезпечувати двосторонній зв'язок між зацікавленими суб'єктами, тобто споживачами ↔ агрегатором та власниками РГ/СНЕ ↔ агрегатором.

Окремою задачею є регулювання ціноутворення та виставлення рахунків у реальному часі. Для її виконання повинні використовуватися Smart системи моніторингу, котрі здатні забезпечити двосторонній потік інформації між означеними суб'єктами.

Є дві основні цілі Microgrid систем щодо управління енергоресурсами, які повинні бути враховані при побудові відповідної системи моніторингу, - це можлива інтеграція джерел РГ та здатність системи накопичувати енергію (Рис. 1) [1, 8].

Сучасні архітектури Microgrid систем повинні відповідати моделі архітектури Smart Grid (SGAM), яка складається з трьох вимірів: домени, зони та рівні сумісності [9]. Він зосереджений на сумісності архітектур розумних мереж шляхом моделювання електричних з'єднань, інформаційних потоків і комунікаційних технологій між фізичними компонентами та програмними додатками, враховуючи при цьому існуючі нормативні та бізнес-обмеження. Усі важливі аспекти інтелектуальної мережі представлені на п'яти рівнях сумісності: компонентному, комунікаційному, інформаційному, функціональному та бізнес-рівні. Горизонтальна вісь SGAM структурована на п'ять доменів. Вона складається з традиційних елементів у ланцюжку постачання енергії: генерації, передачі та розподілу, а також двох досить децентралізованих доменів, розосереджені енергетичні ресурси (РГ та СНЕ (DER)) та «Customer Premise».

Останній домен включає (промислових, комерційних і житлових) споживачів. Третій вимір представляє ієрархічні зони управління енергосистемою в інтелектуальній мережі. Він включає: процес (перетворення енергії та залучене фізичне обладнання), поле (обладнання для захисту, контролю та моніторингу енергетичної системи), станцію (рівень площинної агрегації для рівня поля), експлуатацію (операцію керування енергосистемою), підприємство (комерційне та організаційні процеси, послуги та інфраструктури), і Ринок (можливі ринкові операції) [9].

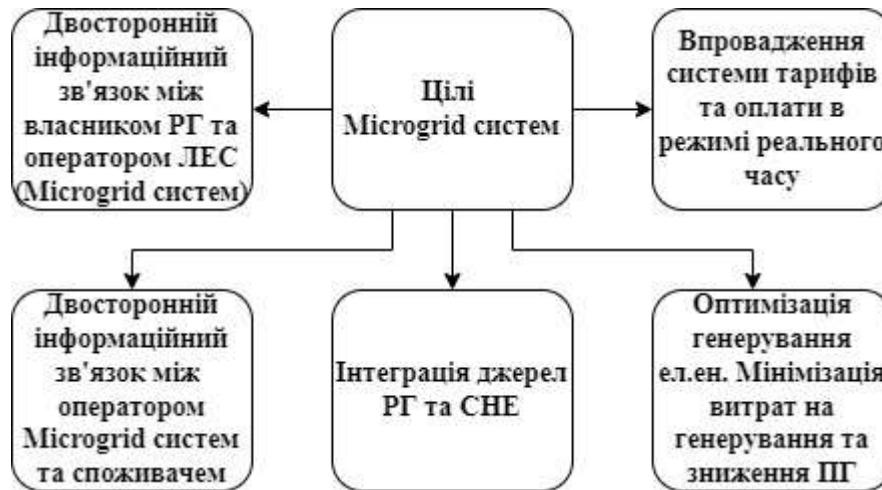


Рисунок 1 – Основні цілі впровадження Microgrid систем

Оскільки генерація стає більш децентралізованою завдяки інтеграції значної кількості джерел РГ, енергетичні ринки та електромережі повинні адаптуватися на рівні систем передачі та розподілу. Таким чином, Microgrid системи та пов'язана з ними концепція локальних енергетичних ринків стають все більш важливими для стійкої та надійної роботи енергетичних систем [10-12].

Впроваджуючи моделі змінного ціноутворення для локальних енергетичних ринків, оператор / агрегатор Microgrid (MGA) системи повинен враховувати характеристики різних типів джерел РГ та *LCOE* для кожного типу джерел РГ, щоб стимулювати кожного місцевого учасника ринку електроенергії окремо.

У відповідності до окреслених структурних особливостей, сучасний розвиток Microgrid систем для вирішення задач керування енергетичними потоками та оптимізації режимів генерування та споживання електричної енергії неможливий без наявності систем Smart-моніторингу та керування.

Враховуючи вищезазначене, вимоги до моніторингу та керування Microgrid систем визначаються наступним:

1. Профіль і прогнозованість генерування від різнотипних джерел РГ та залишкового навантаження є двома ключовими показниками завдань, що стоять перед іншими елементами електроенергетичної системи.

2. Джерела РГ поділяються на диспетчеризовані та недиспетчеризовані (керовані та некеровані) і технічні засоби системи моніторингу повинні забезпечувати достатність інформації для прийняття керуючих рішень, що в свою чергу, дасть змогу, на основі існуючих методів керування оптимізувати електроенергетичні процеси в Microgrid системі.

3. Архітектура системи Smart-моніторингу, завдяки сучасним комунікаційним технологіям повинна забезпечувати функції з координації та керування джерелами РГ.

Мета роботи. Метою даного дослідження є розробка структури системи Smart-моніторингу для Microgrid систем з джерелами розосередженої генерації, котра дасть змогу враховуючи особливості різнотипних джерел генерації при їх роботі.

Матеріал і результати дослідження.

Smart-моніторинг Microgrid систем це багатоцільова складна система моніторингу та контролю: розподіл потужності навантаження, регулювання напруги/частоти та якості електроенергії, участь у локальних ринках, коротко- та довгострокове планування.

Можна виділити три рівня Smart-моніторингу [13].:

- перший рівень – є базовим, це моніторинг у реальному часі параметрів мережі: частоти, напруги, струмів. Швидке інформування щодо наявності невідповідностей у системі, також збір даних з усіх датчиків в системі. Цей рівень вважаються найскладнішими.

- другий рівень – є продовженням першого рівня, в ньому відбувається аналіз якості параметрів електричної енергії та якості енергопостачання, відповідність стандартам всіх параметрів мережі. Крім того, він контролює синхронізацію та обмін електроенергією між елементами локальної системи

- третій рівень – на основі отриманих даних, формуються згідно алгоритмів інформація для участі у ринках електроенергії. Виконується загальна перевірка даних та вирішується, які кроки зробити далі.

Модель такої комплексної Microgrid системи охоплює напрямки від схемотехнічного та технологічного аж до формування відповідних бізнес-процесів, зокрема: розвиток інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ); поширення джерел розосередженої генерації (ДРГ), у тому числі ВДЕ, формування різних за типом та потужністю локальних систем енергозабезпечення; розвиток енергетичних кооперативів, агрегаторів навантажень та генераторів електроенергії при широкому застосуванні активних споживачів (prosumer); урізноманітнення навантажень при швидкому розвитку технологій перетворення та накопичення електроенергії; формування нових ринкових механізмів та нових бізнес-моделей з врахуванням положень клієнтоорієнтованого підходу концепції Smart Grid; наявність системи двостороннього обміну енергією та інформацією в реальному часі відносно точки приєднання.

При розвитку динамічного ціноутворення необхідно враховувати технічні можливості Smart-лічильників. Ефективне динамічне ціноутворення можливе за умови використання Smart-лічильників з мінімальними вимогами, що дають змогу надійно відслідковувати споживання в конкретні часові інтервали, що відповідають інтервалам, визначених ринковими відносинами.

Загалом, система керування Microgrid системи повинна відповідати наступним вимогам:

1. Експлуатація microgrid в допустимих межах (первинне і вторинне керування в обох режимах роботи).

2. Розподіл активної та реактивної потужності (первинне і вторинне керування в режимі підключення до мережі).

3. Безперебійне підключення та відключення від основної мережі (первинне і вторинне керування в обох режимах роботи).

4. Участь у ринку з оптимізацією локальної Microgrid системи та обмін електроенергією з мережею (третинне керування в ізолюваному режимі).

5. Безперебійне живлення чутливих навантажень, таких як медичне обладнання та комп'ютерні сервери (в обох робочих режимах).

6. Робота з "чорним пуском" (black start) у разі будь-якої загальної помилки (в ізолюваному режимі).

7. Підвищення продуктивності та надійності системи шляхом забезпечення підтримки систем акумулювання енергії (первинне і вторинне керування в обох режимах роботи).

З точки зору реалізації, системи керування Microgrid системи поділяється на дві категорії, централізовані та децентралізовані [14]. Кожна використовується в залежності від типу Microgrid системи, мережевих умов та рівню керування. В останніх дослідженнях серед різних структур систем керування, ієрархічна модель виявилася найбільш широко вживаною в централізованих та децентралізованих структурах. Ієрархічне керування має три рівні керування, включаючи первинне, вторинне і третинне (див. рис. 2)[15].

Загалом, система керування Microgrid повинна мати наступні характеристики:

Вихідне керування: напруги та струми блоків РГ повинні відслідковувати їх еталонні значення, а коливання повинні бути повністю затухаючими (первинне і вторинне керування в обох режимах роботи).

Балансування потужності: блоки РГ у Microgrid системи повинні мати можливості для компенсації раптового дисбалансу активної потужності та збереження відхилення частоти і напруги в прийнятному діапазоні (первинне і вторинне керування в обох режимах роботи).

Управління попитом (DSM): відповідні DSM методи повинні бути розроблені для управління навантаженням (третинне керування в обох режимах роботи).

Економічна диспетчеризація: належна диспетчеризація блоків РГ в локальних Microgrid системах знижує експлуатаційні витрати та збільшує загальний прибуток (первинне, вторинне і третинне керування в ізолюваному режимі).

Функції керування розосередженими енергоресурсами (DER) можуть виконувати локальні системи керування кожного агрегату [16]. Однак зі зростанням кількості об'єктів керування в Microgrid неможливо обійтися без автоматизованої інформаційно-керуючої системи, яка має здійснювати координуюче і оптимальне керування всіма розосередженими енергоресурсами, мінімізуючи витрати на первинне паливо, закупівлю енергії на ринках від «третьої сторони» і технічне обслуговування обладнання, підвищуючи доходи від продажу енергії та надання системних послуг (цінозалежне споживання, регулювання частоти і напруги). Системи відомі, як Distributed Energy Resource Management System (DERMS) відповідають за взаємодію з «загальною» енергосистемою, яку, в свою чергу, представляє система керування DMS енергетичної компанії [16].

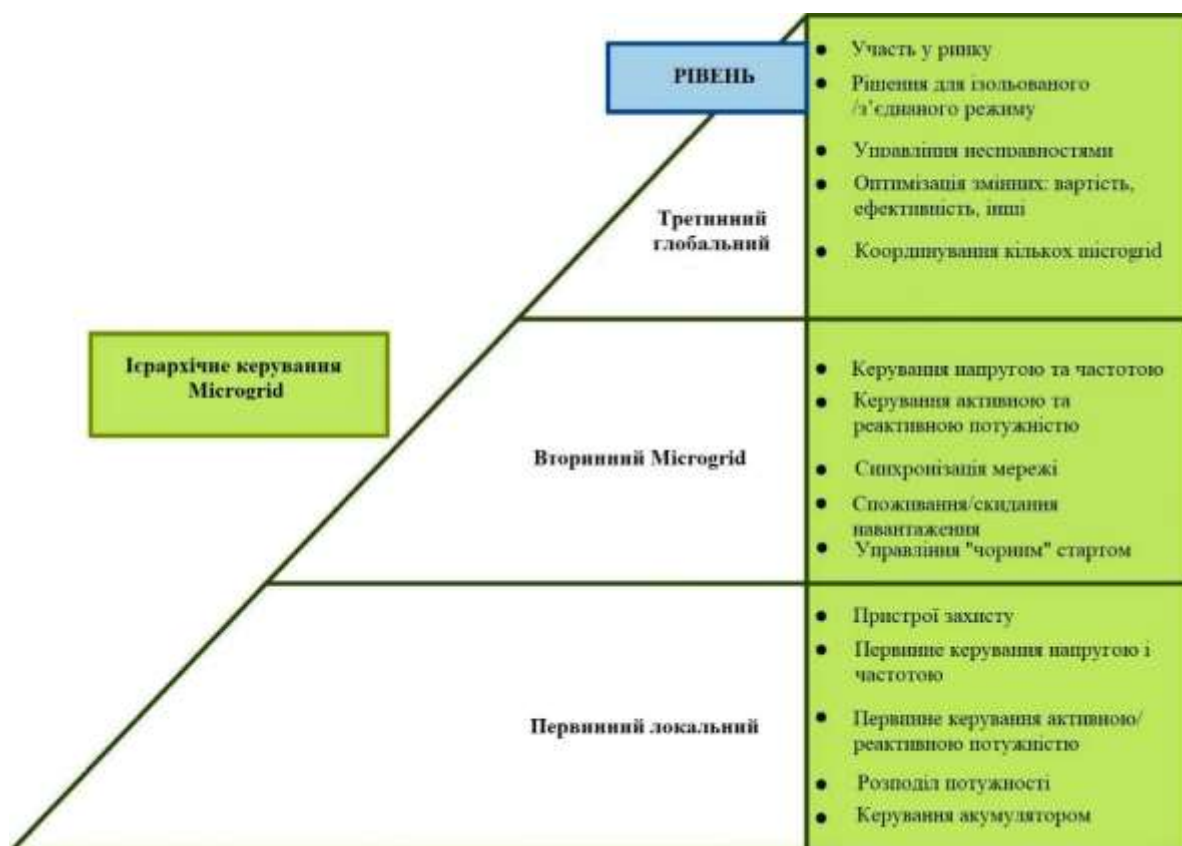


Рисунок 2 – Система керування для Microgrid систем – часові рамки та область дії

Перші технології DERMS з'явилися лише в 2014 році. Так, на початку 2017 року компанія Siemens запустила власну DERMS, що складається з програм збору і надання даних і візуалізації енергосистеми від планування до прогнозування. За основу взята адаптація програмних засобів системи керування Spectrum 7 Utilidata [16].

Для Microgrid та віртуальних електростанцій (VPP) система керування розосередженими енергоресурсами (DERMS) оптимально керує функціонуванням розосередженими енергоресурсами для надання мережеских послуг, полегшує альтернативи, дозволяє розосередженим енергоресурсам приймати участь на ринках. DERMS дозволяє підвищити ситуаційну обізнаність при збільшенні проникнення DER, забезпечуючи моделювання, агрегування та групування розосереджених енергоресурсів. DERMS також покращує використання розосереджених енергоресурсів, забезпечуючи їх зв'язок, прогнозування їх роботи, покращує послуги надійності мережі та керування обмеженнями розосереджених енергоресурсів. Виникає проблема побудови нових алгоритмів обліку та керування, коли при побудові системи керування необхідно, поряд з технічним (технологічним) контуром, використовувати економічний контур керування. Звичайно, на вищих рівнях ієрархії таких контурів буде «кілька», причому з'являється контур керування, в який включено людину, наприклад, диспетчера. Однак на самому нижчому рівні, а саме Microgrid – диспетчер відсутній. У цьому випадку функції, які покладаються на диспетчера на верхніх рівнях (коли існує необхідність багатоваріантних розрахунків за низкою, часто суперечливих, критеріїв та обмежень), покладено на систему керування (її ядро – контролер).

На сьогодні розроблено два основні підходи до залучення споживачів до керування навантаженням: неявне керування попитом (implicit demand response, price-based demand response), засноване на застосуванні різних видів диференційованих за часом тарифів на електроенергію або поведінкових стимулів; явне керування попитом (explicit demand response, incentive-based demand response, event-based demand response), що передбачає безпосереднє керування навантаженням споживача.

Для оптимального функціонування Microgrid на першому етапі важливо забезпечити баланс попиту та пропозиції з використанням (формуванням) відповідних функцій попиту та пропозицій, а також створення сучасних інноваційних бізнес-моделей Microgrid. Наприклад, два основних нових гравця представлені бізнес-моделлю E+ для досягнення цілі оптимізації енергопроцесів в Microgrid: активний споживач (prosumer) та АРМ (менеджер агрегованих активних споживачів, Aggregated Prosumers' Manager) [17, 18]. Просюмери є фізичними або юридичними особами, здатними створювати різні договірні відносини з АРМ, ОСР або агрегатор (Commercial Aggregator (CA)). АРМ може взаємодіяти з іншими

агентами в електроенергетичній системі та тісно співпрацює з ОСР для керування та оптимізації роботи розподільної мережі, пропонуючи допоміжні послуги, що стосуються якості параметрів режимів мережі або компенсації реактивної потужності.

Впровадження такої системи Smart-моніторингу для Microgrid систем вимагає трьох основних компонентів [17]:

1) *комунікаційна програмна платформа* – служить основою для оператора мережі для надсилання ринкових сигналів стороннім агрегаторам, клієнтам джерел РГ або напряму власникам джерел РГ. За допомогою відповідної програмної платформи і-й ОСР або сторонній агрегатор можуть безпосередньо керувати окремими джерелами РГ, надсилати сигнали споживачам і надсилати запити на надання послуг третіми сторонами.

2) *апаратна комунікаційна платформа* – дає змогу власникам джерел РГ реагувати на запити ОСР, агрегаторів третьої сторони, або клієнтів джерел РГ. Якщо джерело РГ відповідає на відповідний запит, комунікаційна платформа відстежує згенеровані РГ у мережу обсяги ел.ен. та надсилає дані назад до ОСР або стороннього агрегатора. Фотоелектричні модулі та акумуляторні батареї, оснащені счасними інверторами, сумісні з цими платформами, як і деякі пристрої, такі як інтелектуальні термостати та зарядні пристрої для електромобілів.

3) *обладнання джерел РГ* – Фотоелектричні системи, вітрові установки, СНЕ, електромобілі, розумна побутова техніка, дизельні генератори та ін. Тип джерела РГ, який має право брати участь в агрегації, залежить від типу комунікаційної платформи, регуляторних факторів і місця розташування (вимоги щодо розміщення, навколишнього середовища та інші вимоги для участі у процесі агрегування).

Саму процедуру агрегування для Microgrid системи можна формалізувати у вигляді відповідної ринкової моделі (рис. 2) у рамках побудови Microgrid системи на основі моделі SGAM [2, 9].

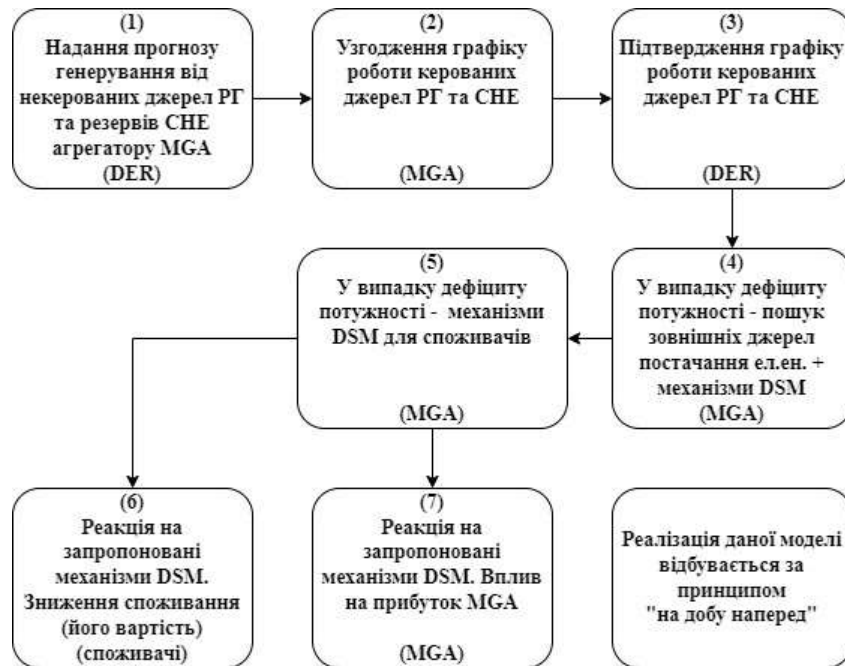


Рисунок 2 – Ринкова модель агрегування та взаємодії джерел РГ та СНЕ з оператором Microgrid

На рис. 3 зображена архітектура системи Smart-моніторингу Microgrid системи, котра враховує усі типи джерел РГ та СНЕ та особливості їх функціонування. Дана система працює неперервно в певних часових інтервалах $t \in [1, 2, \dots, T]$, забезпечуючи обмін інформаційними потоками, які дозволяють в свою чергу керувати енергопотоками забезпечуючи оптимальне функціонування системи моніторингу на всіх трьох рівнях, а відтак і оптимальну роботу Microgrid системи.

Універсальність такої системи Smart-моніторингу та відповідність її вимогам керування можна проілюструвати на прикладі Microgrid системи з джерелами РГ двох типів (тип Т1 та Т2). У якості типу Т1 оберемо некероване джерело енергії, - СФЕУ, а в якості джерела типу Т2 оберемо МГЕС. На Рис. 4, а) наведено прогнозні значення генерування електроенергії генераторами типу Т1 та Т2 та прогнозний графік навантаження відповідно до яких агрегатором (MGA) визначаються стратегії роботи джерел типів Т1 та Т2. На Рис. 4, б) наведено змодельовані графіки фактичної роботи генераторів типів Т1 та Т2 та фактичний графік навантажень, що дає змогу агрегатору/оператору Microgrid керувати режимами роботи джерел РГ у реальному часі та здійснювати розрахунки з кожним з агентів.



Рисунок 3 – Структура системи Smart-моніторингу Microgrid системи

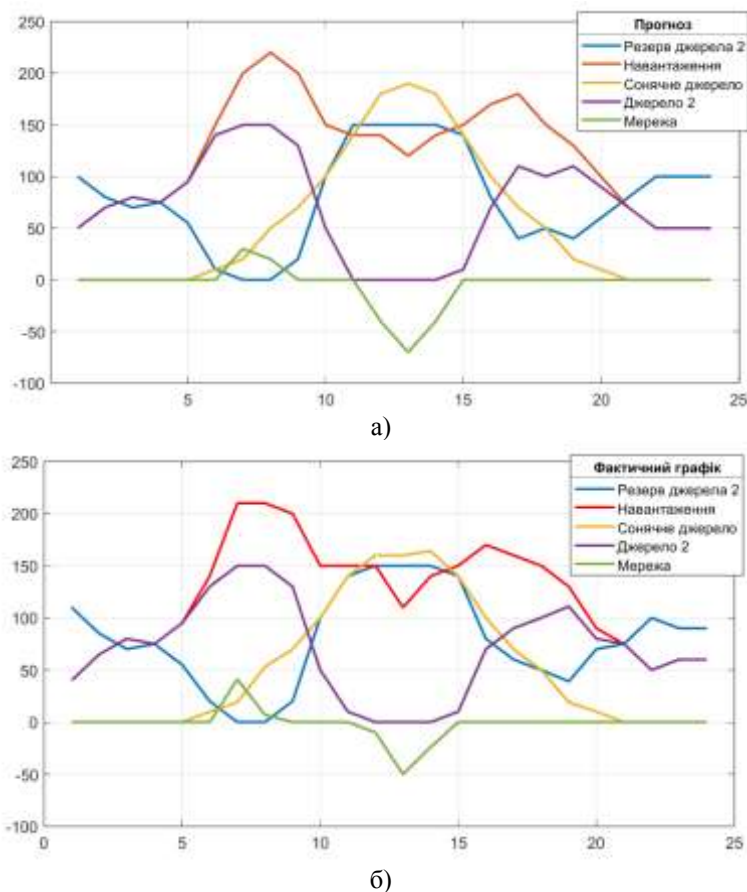


Рисунок 4 – Моделювання прогнозних (а) та фактичних (б) значень генерування та споживання електроенергії в Microgrid системі з РЕ відповідно до наявної структури системи моніторингу

Результати моделювання наглядно ілюструють роботу системи Smart-моніторингу Microgrid запропонованої структури.

Висновки.

Запропонована структура системи Smart-моніторингу Microgrid системи є вигідною, оскільки: споживачі вже мають певну інфраструктуру для експорту електроенергії в мережу, тому надання допоміжних послуг для мережі є для них відносно дешевшим та вигідним; моніторинг енергоспоживання генерувальних установок і зв'язок з зовнішньою енергосистемою допомагає прогнозувати можливий

експорт/імпорт електроенергії оператором/агрегатором Microgrid системи до/з мережі. Також за допомогою запропонованої системи моніторингу можна отримати інформацію щодо стану заряду акумуляторів окремих СНЕ або активних споживачів (Prosumer), яка є корисною оператору Microgrid системи для оптимальної диспетчеризації; прямий контроль над ресурсами споживачів дає змогу системному оператору скористатися перевагами гнучкості попиту споживачів у режимі реального часу; агрегація різнотипних джерел РГ утворює розосереджений енергетичний ресурс для надання допоміжних послуг на ринку електричної енергії.

Список використаної літератури

1. Carpintero-Rentería, M., Santos-Martín, D., & Guerrero, J. M. (2019). Microgrids Literature Review through a Layers Structure. *Energies*, 12(22), 4381. doi:10.3390/en12224381
2. Денисюк С.П., Дерев'янюк Д.Г., Белоха Г.С. Синтез моделей локальних електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації. *Технічна електродинаміка*. 2022. № 4. С. 60–69. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2022.04.048>
3. Blinov I.V., Trach I.V., Parus Ye. V., Derevianko D.H., Khomenko V.M. Voltage and reactive power regulation in distribution networks by the means of distributed renewable energy sources. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2022. No 2. Pp. 60–69. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2022.02.060>
4. Ackerman T. Knyazkin V. Interaction between distributed generation and the distribution network. *Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia Pacific IEEE/PES. – 2000. – Vol. 2. – P. 1357–1362.*
5. Esposito G., Zaninelli D., Lazaroiu G. C., Golovanov N., Impact of embedded generation on the voltage quality of distribution networks. *2007 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, Barcelona, Spain, 2007*, pp. 1-6, DOI: <https://doi.org/10.1109/EPQU.2007.4424154>.
6. <https://www.iea.org/energy-system/renewables>
7. O. Kyrylenko et al. (eds.), *Power Systems Research and Operation, Studies in Systems, Decision and Control 512*, https://doi.org/10.1007/978-3-031-44772-3_10
8. Elmouatamid, A.; Ouladsine, R.; Bakhouya, M.; El Kamoun, N.; Khaidar, M.; Zine-Dine, K. Review of Control and Energy Management Approaches in Micro-Grid Systems. *Energies* 2021, 14, 168. <https://doi.org/10.3390/en14010168>
9. Денисюк С.П., Дерев'янюк Д.Г., Белоха Г.С., Зайченко С.В. Цінові моделі агрегування для Microgrid систем з розосередженими джерелами енергії. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2022. № 3. С. 7–12. ISSN 1813-5420. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2022.270225>
10. Goutam Dutta, Krishnendranath Mitra. A literature review on dynamic pricing of electricity. *Journal of the Operational Research Society* (2017) 68, 1131–1145.
11. Kirpes, B., Mengelkamp, E., Schaal, G. & Weinhardt, C. (2019). Design of a microgrid local energy market on a blockchain-based information system. *it - Information Technology*, 61(2-3), 87-99. <https://doi.org/10.1515/itit-2019-0012>
12. S. Denysiuk and D. Derevianko, "The Cost Based DSM Methods in Microgrids with DG Sources," *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 2021, pp. 544-548, doi: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570096.
13. F. Jamil, N. Iqbal, Imran, S. Ahmad and D. Kim, "Peer-to-Peer Energy Trading Mechanism Based on Blockchain and Machine Learning for Sustainable Electrical Power Supply in Smart Grid," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 39193-39217, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3060457.
14. Chung, I.Y., Liu, W.X., Cartes, D.A., Collins, E.G., Moon, S.I. (2010). Control methods of inverter-interfaced distributed generators in a microgrid system. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 46(3): 1078-1088. <https://doi.org/10.1109/TIA.2010.2044970>
15. Villalón, A.; Rivera, M.; Salgueiro, Y.; Muñoz, J.; Dragičević, T.; Blaabjerg, F. Predictive Control for Microgrid Applications: A Review Study. *Energies* 2020, 13, 2454. <https://doi.org/10.3390/en13102454>
16. Chowdhury S.. *Microgrids and Active Distribution Networks / S. Chowdhury, S. P. Chowdhury, P. Crossley // - London, UK, 2009.*
17. James T. Reilly, From microgrids to aggregators of distributed energy resources. *The microgrid controller and distributed energy management systems*, *The Electricity Journal*, Volume 32, Issue 5, 2019, Pages 30-34, ISSN 1040-6190, <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.05.007>.
18. J. P. Lopes, et al., "Defining control strategies for microgrids islanded operation," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 21, pp. 916-924, 2006.

D. Derevinko¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-4877-5601

O. Perehuda¹, master student

¹**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

FEATURES OF CREATION OF THE SMART MONITORING SYSTEMS FOR MICROGRIDS

In this paper, an analysis of the main requirements for control systems in Microgrid is conducted. The main objectives of the implementation of Microgrid systems were determined and, based on the performed analysis, the

requirements for Smart-monitoring systems were systematized. The components of Smart-monitoring systems, which include: communication software platform, hardware communication platform and types of equipment of DG sources for Microgrid systems were analyzed. It is proposed to build Smart-monitoring systems for Microgrid systems on the basis of the SGAM model, taking into account various models of aggregation of different types of DG sources within the framework of Microgrid systems. The proposed structure of the Smart-monitoring system for Microgrid systems with various DG sources makes it possible to effectively aggregate DG sources and prosumers and to carry out effective dispatching of generating capacities based on market mechanisms of their interaction with consumers and among themselves.

Keywords: *Microgrid, monitoring systems, renewable energy sources, energy storage systems, prosumers.*

REFERENCES

1. Carpintero-Rentería, M., Santos-Martín, D., & Guerrero, J. M. (2019). Microgrids Literature Review through a Layers Structure. *Energies*, 12(22), 4381. doi:10.3390/en12224381
2. Denysiuk S.P., Derevianko D.H., Bielokha H.S. Syntez modelei lokalnykh elektroenerhetychnykh system z dzhерelamy rozoseredzhenoi heneratsii. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2022. № 4. S. 60–69. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2022.04.048>
3. Blinov I.V., Trach I.V., Parus Ye. V., Derevianko D.H., Khomenko V.M. Voltage and reactive power regulation in distribution networks by the means of distributed renewable energy sources. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2022. No 2. Pp. 60–69. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2022.02.060>
4. Ackerman T. Knyazkin V. Interaction between distributed generation and the distribution network. *Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia Pacific IEEE/PES*. – 2000. – Vol. 2. – P. 1357–1362.
5. Esposito G., Zaninelli D., Lazaroiu G. C., Golovanov N., Impact of embedded generation on the voltage quality of distribution networks. 2007 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, Barcelona, Spain, 2007, pp. 1-6, DOI: <https://doi.org/10.1109/EPQU.2007.4424154>.
6. <https://www.iea.org/energy-system/renewables>
7. O. Kyrylenko et al. (eds.), *Power Systems Research and Operation, Studies in Systems, Decision and Control* 512, https://doi.org/10.1007/978-3-031-44772-3_10
8. Elmouatamid, A.; Ouladsine, R.; Bakhouya, M.; El Kamoun, N.; Khaidar, M.; Zine-Dine, K. Review of Control and Energy Management Approaches in Micro-Grid Systems. *Energies* 2021, 14, 168. <https://doi.org/10.3390/en14010168>
9. Denysiuk S.P. Derevianko D.H., Bielokha H.S., Zaichenko S.V. Tsinovi modeli ahrehuvannia dlia Microgrid system z rozoseredzhenymy dzhерelamy enerhii. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*. 2022. № 3. S. 7–12. ISSN 1813-5420. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2022.270225>
10. Goutam Dutta, Krishnendranath Mitra. A literature review on dynamic pricing of electricity. *Journal of the Operational Research Society* (2017) 68, 1131–1145.
11. Kirpes, B., Mengelkamp, E., Schaal, G. & Weinhardt, C. (2019). Design of a microgrid local energy market on a blockchain-based information system. *IT - Information Technology*, 61(2-3), 87-99. <https://doi.org/10.1515/itit-2019-0012>
12. S. Denysiuk and D. Derevianko, "The Cost Based DSM Methods in Microgrids with DG Sources," 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 2021, pp. 544-548, doi: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570096.
13. F. Jamil, N. Iqbal, Imran, S. Ahmad and D. Kim, "Peer-to-Peer Energy Trading Mechanism Based on Blockchain and Machine Learning for Sustainable Electrical Power Supply in Smart Grid," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 39193-39217, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3060457.
14. Chung, I.Y., Liu, W.X., Cartes, D.A., Collins, E.G., Moon, S.I. (2010). Control methods of inverter-interfaced distributed generators in a microgrid system. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 46(3): 1078-1088. <https://doi.org/10.1109/TIA.2010.2044970>
15. Villalón, A.; Rivera, M.; Salgueiro, Y.; Muñoz, J.; Dragičević, T.; Blaabjerg, F. Predictive Control for Microgrid Applications: A Review Study. *Energies* 2020, 13, 2454. <https://doi.org/10.3390/en13102454>
16. Chowdhury S.. *Microgrids and Active Distribution, Networks / S. Chowdhury, S. P. Chowdhury, P. Crossley // - London, UK, 2009.*
17. James T. Reilly, From microgrids to aggregators of distributed energy resources. *The microgrid controller and distributed energy management systems, The Electricity Journal*, Volume 32, Issue 5, 2019, Pages 30-34, ISSN 1040-6190, <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.05.007>.
18. J. P. Lopes, et al., "Defining control strategies for microgrids islanded operation," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 21, pp. 916-924, 2006.

Надійшла: 13.02.2024

Received: 13.02.2024