

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Методи інтеграції в Smart Grid

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи КСММ-19-1
Дьомін Д.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерні системи та мережі
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Бовчалюк С.Я.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

(підпис)

Коваленко А.А.

(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 123 – Комп'ютерна інженерія _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Комп'ютерні системи та мережі _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Дьоміну Дмитру Валерійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи інтеграції в Smart Grid

затверджена наказом по університету від “ 30 ” жовтня 2020 р. № 1487Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 14 грудня 2020 р.

3. Вхідні дані до роботи 1) документація по системі Smart Grid; 2) інформація по використанню Smart Grid у різних країнах; 3) технічна документація альтернативних джерел електроенергії

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1) аналіз поточного стану енергосистем і можливості застосування у них Smart Grid

2) огляд існуючих технологій Smart Grid

3) розробка пропозицій щодо методів Smart Grid

4) розробка пропозицій щодо використання елементів технічної реалізації Smart Grid

5) висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Слайд-презентація – 14 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

| Найменування розділу | Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові) | Позначка консультанта про виконання розділу | |
|----------------------|---|---|------|
| | | підпис | дата |
| | | | |
| | | | |

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|--|----------|
| 1 | Розв'язання питань безпеки даних у Smart Grid | 03.11.20-06.11.20 | |
| 2 | Розробка питань підготовки персоналу | 07.11.20-09.11.20 | |
| 3 | Комунікація і збір даних Smart Grid | 08.11.20-11.11.20 | |
| 4 | Стабільність роботи елементів Smart Grid | 12.11.20-14.11.20 | |
| 5 | Пропозиції щодо втілення Smart Grid до існуючих електромереж | 15.11.20-19.11.20 20.11.20-24.11.20 | |
| 6 | Інтеграція альтернативних джерел енергії | 25.11.20-01.12.20 | |
| 7 | Оформлення матеріалів атестаційної роботи | 02.12.20-07.12.20 | |
| 8 | Подання атестаційної роботи керівникові та її попередній захист | 08.12.20-09.12.20 | |
| 9 | Подання атестаційної роботи на рецензування | 10.12.20-11.12.20 | |
| | | | |

Дата видачі завдання 02 листопада 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Бовчалуок С. Я.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи: 73 с., 5 рис., 1 дод., 21 джерел.

SMART GRID, РОЗУМНА СІТКА, АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ЕКОЛОГІЯ, ВІДДАЛЕНЕ КЕРУВАННЯ, КІБЕРБЕЗПЕКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ.

Метою атестаційної роботи є підвищення ефективності роботи енергосистем України шляхом дослідження і розробки методів інтеграції елементів «Smart Grid».

У ході виконання атестаційної роботи були розглянуті принципи та методи роботи системи «Розумної мережі», проведений аналіз існуючих систем Smart Grid та визначені їхні переваги та недоліки, розглянуто досвід побудови Smart Grid у різних країнах. Розглянуті питання безпеки і захисту даних, вимоги до персоналу, елементи технічних систем реалізації елементів Smart Grid. Були запропоновані технології інтеграції «зелених» джерел енергії, проаналізовані їх перспективи. Розглянуто можливість інтеграції автоматизованих приладів обліку енергії, що дозволяють значно спростити збір даних і підвищити ефективність цього процесу.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 73 pages, 5 figures, 1 appendice, 21 sources.

SMART GRID, RENEWABLE ENERGY SOURCES, ENERGY, ECOLOGY, REMOTE CONTROL, CYBERSECURITY, AUTOMATIZATION.

The purpose of attestation work is to increase the efficiency of Ukrainian energy systems through the development and research of “Smart Grid” integration methods.

In the process of the certification work, the principles and methods of the system were considered as well as the experience of Smart Grid construction in different countries, also the existing Smart Grid systems were analyzed and the main strengths and weaknesses were identified. In addition to the above, the patterns of “green” energy integration were proposed, their perspectives were evaluated. This work considers the possibility of the automated electric meter installation, which will allow to simplify the process of data collection and make the process more effective.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ | 8 |
| ВСТУП | 9 |
| 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ | 11 |
| 1.1 Завдання впровадження та функціонування Smart Grid концепції..... | 11 |
| 1.1.1 Аналіз обраної теми та літератури | 11 |
| 1.1.2 Основні принципи та технології Smart Grid..... | 13 |
| 1.2 Екологічні проблеми існуючих електромереж і способи їх подолання..... | 15 |
| 1.3 Досвід використання Smart Grid у різних країнах..... | 19 |
| 1.4 Визначення задач атестаційної роботи..... | 23 |
| 2 ЕТАПИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ | 25 |
| 2.1 Безпека та захист даних..... | 25 |
| 2.2 Вимоги Smart Grid до персоналу..... | 30 |
| 2.3 Комунікація і вимірювання даних за допомогою Smart Grid..... | 32 |
| 2.3.1 Системи широкого моніторингу..... | 35 |
| 2.3.2 Розумні лічильники..... | 35 |
| 2.3.3 Розумні прилади..... | 36 |
| 2.3.4 Розширена інфраструктура вимірювання..... | 36 |
| 2.4 Аналіз роботи системи | 38 |
| 2.5 Стабільність роботи Smart Grid..... | 40 |
| 3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЙ РЕАЛІЗАЦІЇ..... | 43 |
| 3.1 Проектування та дизайн системи. | 43 |
| 3.2 Інтеграція альтернативних джерел енергії до електромереж України..... | 51 |
| 3.2.1 Кодекси мережі | 53 |
| 3.2.1.1 Кодекси планування..... | 55 |

| | |
|--|----|
| 3.2.1.2 Кодекси підключення | 56 |
| 3.2.1.3 Мережеві кодекси для інтеграції та експлуатації відновлюваних джерел енергії..... | 58 |
| 3.2.2 Інтеграція систем генерації сонячної енергії | 58 |
| 3.3 Інтеграція розумних лічильників | 60 |
| ВИСНОВКИ..... | 63 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ | 64 |
| ДОДАТОК А Графічний матеріал атестаційної роботи | 66 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

AC – повітряний кондиціонер (англ., Air Conditioning)

DMS – система управління розподілом (англ., Distribution Management System)

DN – розподілена мережа (англ., Distributed Network)

EMS – система енергоменеджменту (англ., Energy Management System)

ETSAP – програма аналізу систем енергетичних технологій (англ., Energy Technology Systems Analysis Program)

FACTS – гнучка система передачі змінного струму (англ., Flexible AC Transmission System)

IED – інтелектуальний електронний пристрій (англ., Intelligent Electronic Device)

IT – інформаційні технології (англ., Information Technology)

LAN – локальна мережа (англ., Local Area Network)

MPPT – відстеження точки максимальної потужності (англ., Maximum Power Point Tracking)

SCADA – диспетчерське управління і збір даних (англ., Supervisory Control And Data Acquisition)

TOU – час використання (англ., Time-Of-Use)

WAM – широкий моніторинг (англ., Wide Area Monitoring)

WAN – широкопasmово мережа (англ., Wide Area Network)

ВСТУП

У зв'язку з розвитком сучасних технологій та стрімким ростом попиту на електроенергію існує необхідність переходу до енергосистем, що мають певні «інтелектуальні» можливості. Ця необхідність зумовлена тим, що “Розумна сітка”, або загальноновживаний термін – Smart Grid, надає можливості моніторингу та може зменшувати навантаженість системи в екстрених ситуаціях.

Smart Grid являє собою сукупність комп'ютерних (або мікроконтролерних) технічних засобів, програмного забезпечення та управління розумною комунікаційною системою. Система може формувати розподілений струм до споживача, що заощаджує гроші та сприяє зменшенню зайвих втрат електроенергії. Крім того, Smart Grid може прогнозувати попити шляхом використання статистичних даних про виробництво та споживання енергії, таким чином забезпечується баланс між постачанням енергії та попитом.

Так як у Smart Grid поширені технології віддаленого керування, зчитування, та зберігання даних у зручному форматі у єдиному центрі, така система є дуже потужним інструментом. Вона дозволяє легко збирати та обробляти дані, спостерігати скільки саме енергії потребує окремий споживач чи організація. Таким чином кожен користувач може отримувати стільки енергії скільки він потребує. У такому випадку, система може обирати різні способи передачі даних. Такі параметри, як швидкість передачі даних, діапазон передачі даних, вартість та надійність мають бути враховані при виборі способів передачі даних. Звичайно, таким чином, легко збільшити надійність зберігання даних, завдяки використанню сучасних баз даних та методів захисту, як результат збільшиться рівень прозорості та зменшиться шахрайство.

Проводилося багато досліджень методів передачі даних, комунікаційних технологій та проблем безпеки, з різних точок зору, у середовищі інтелектуальної мережі. Очевидно, що будь-які проблеми мережі можна вирішити за допомогою інтелектуального вимірювання. Розумне вимірювання та управління даними, а також двосторонній зв'язок забезпечують низку можливостей для виробництва, передачі та розподілу енергії. Наприклад, відключення електроенергії можна уникнути, застосувавши поріг для споживання енергії у разі відсутності енергії, і таким чином, можна запобігти відключенню абонентів за рахунок зменшення простою, спричиненого перевантаженням. Крім того, накопичення енергії є ще однією формою балансу мережі за допомогою регулювання енергопостачання та попиту на навантаження в кожній ієрархічній системі регулювання частоти в мікромережових мережах. При зберіганні відновлюваної енергії, енергія постійного струму розглядається як доповнення енергії, щоб зробити мережу стабільною при перебоях живлення змінного струму. Крім того, інтелектуальні трансформатори добре справляються з забезпеченням ефективного захисту енергії, і їх алгоритми можуть бути вдосконалені для виявлення кібератак, що спричиняють відключення електроенергії.

Таким чином мету атестаційної роботи можна сформулювати наступним чином: підвищення ефективності роботи енергосистем України шляхом дослідження і розробки методів інтеграції елементів «Smart Grid».

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Завдання впровадження та функціонування Smart Grid концепції

1.1.1 Аналіз обраної теми та літератури

Загальну концепцію Smart Grid можна розглянути, як сукупність наступних елементів:

- розподілене виробництво енергії, за допомогою відновлюваних джерел енергії, на місцевому рівні;
- ефективна та економічна енергія;
- управління періодичністю відновлювальних джерел, за допомогою систем зберігання;
- управління системою контролю і комунікаційною системою, для прийняття рішень та їх виконання.

Чому Smart Grid необхідна у сучасних реаліях? Наразі викиди вуглецю є величезним і екологія кожного року страждає все більше і більше, але при цьому також важливим фактором є економічне зростання та технічний прогрес. За таких обставин Smart Grid є ледь не єдиним рішенням для вирішення таких проблем. Розумна енергосистема з інтенсивними технологіями та чудова комунікаційна мережа забезпечить місцевий контроль, високу ефективність та надійне живлення. Зниження запасів викопного палива зробить розумні мережі більш інтегрованими у використання відновлюваних джерел енергії, що стає все більш економічно вигідним. Поєднання відновлюваних джерел та систем зберігання, у години пік споживання енергії ними можна без проблем керувати, отже, зменшувати витрати енергії в години пік споживання. Розумна мережа керуватиме попитом та пропозицією у будь-який момент часу, використовуючи сховище та миттєві джерела живлення на місцевому рівні.

Наразі було розглянуто, які глобальні переваги має Smart Grid – вплив на екологію, економіку, швидкість управління, надійність. У якості висновку, нижче наведені переваги системи Smart Grid з погляду соціуму:

- вона дозволяє високоякісне постачання енергії на місцевому рівні;
- має легке керування, що дозволяє швидко застосовувати прийняті рішення;
- безпечна та надійна у роботі;
- оптимізує структуру споживання та постачання;
- стимулює розвиток альтернативних джерел енергії, як наслідок має позитивний вплив на екологію;
- зменшує втрати енергії, що у свою чергу має економічні та екологічні переваги;
- подібні системи можна підлаштувати та оптимізувати під різні потреби, та будь яку галузь.

Як ми можемо бачити Smart Grid має безліч переваг, та покращує багато сфер суспільного життя, але незважаючи на це, таку систему ще потрібно інтегрувати, а це може бути непростюю задачею. Основні проблеми, при інтеграції Smart Grid:

- енергетична політика країни не є гнучкою, що є несприятливим фактором для локального керування та розподілу;
- складність взаємозв'язку з інженерною мережею;
- відсутність регулювання ціноутворення між постачальником та клієнтом у режимі реального часу;
- складності взаємодії різних джерел, та управління системами контролю.

У якості літератури були обрані такі джерела, як “Smart Grid: integrating renewable, distributed and efficient energy” автора Ферейдун Сиаошанси, “Smart Grid systems: modeling and control” автора Рамеш Бабу, “Smart Grid infrastructure & networking” автора Кшиштов Иневский. Були розглянуті механізми роботи такої концепції і вивчені механізми її інтеграції.

1.1.2 Основні принципи та технології Smart Grid

Звичайна електрична система, як правило, складається з системи генерації, транспортування, розподілу та споживання. Система генерації складається з поєднання масштабних підприємств вироблення енергії. Наступна система, транспортна, відіграє роль посередника між генераторами та системою розподілу, при цьому, передачу енергії вона виконує на досить великі відстані при високій напрузі. Система розподілення розроблена для того, щоб приймати електроенергію від трансмісійної системи та передавати її до центрів навантаження, тому роль такої системи є пасивною.

Частіше за все, такі електромережі мають вертикальну будову, завдяки чому електроенергія, вироблена системою генерації, передається в систему передачі, яка потім передається в розподільчу мережу для її подачі до центру навантаження. На рисунку 1.1 показано принцип вертикальної структури звичайної електричної мережі, завдяки чому електроенергія рухається в одному напрямку, починаючи з системи виробництва, через систему передачі до розподільчих мереж і, нарешті, до системи споживання.

Тож чому інтеграція Smart Grid є актуальною задачею. Беручи до уваги зміни у сучасних технологіях яким піддаються електричні мережі за останні роки та темп з яким вони відбуваються, існує необхідність підлаштувати сьогоденну мережу під ці технології, так як звичайна система не відповідає викликам майбутнього. Ці фактори і призвели до нагальної необхідності модернізації електричних мереж, що в свою чергу викликало необхідність у концепції Smart Grid. Така концепція відкриває шлях вперед і допомагає у вирішенні проблем, пов'язаних із зростаючим споживанням енергії, інтеграцією розподіленої (локальної) генерації, енергоефективністю, надійністю енергопостачання, екологією та якістю електроенергії.

Нижче розглянемо основні відмінності Smart Grid від звичайної енергосистеми:

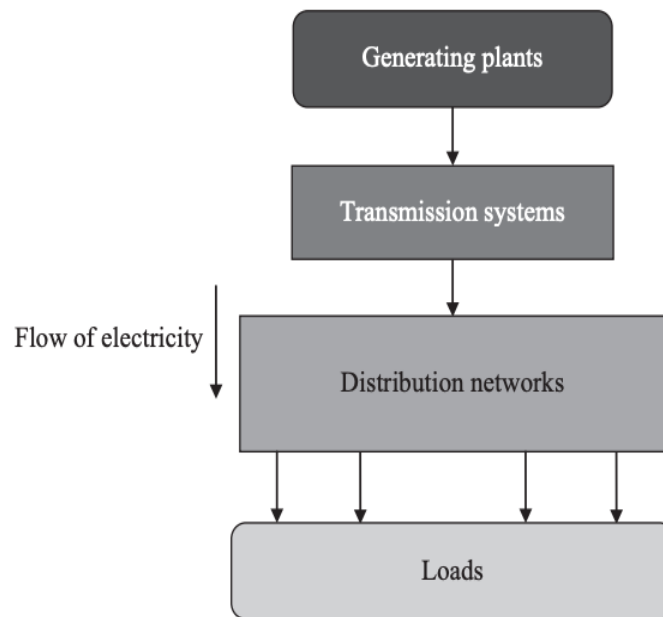


Рисунок 1.1 – Структура звичайної електромережі

- стосовно комунікації Smart Grid значно переважає звичайну систему, оскільки як вона використовує комунікацію у реальному часі та у дві сторони, у той час, як застарілий аналог або зовсім її не має або лише в один бік;
- вимірювання показників з боку клієнта: у звичайній системі використовується електромеханічний спосіб, у той час як Smart Grid використовує цифрові технології;
- Smart Grid використовує віддалені технології для контролю за системою та для попередження неполадок (при звичайній системі необхідні регулярні технічні перевірки);
- стосовно генерації енергії, відмінність полягає у тому, що Smart grid переважно використовує розподілені системи, тоді як існуючий аналог використовує централізовану;
- звичайна система не здатна повністю контролювати потік потужності, на відміну від Smart Grid – де контроль повний та здійснюється автоматично;
- Smart Grid значно кращий за попередню модель, що має схильність до відмов і часто трапляються каскадні відключення, у плані надійності, завдяки автоматизованому попереджувальному захисту;

- у разі порушення у роботі системи Smart Grid на відміну від класичної системи може відновлюватися самостійно, без втручання людини;

- Smart Grid має мережеву топологію з кількома потужними потоками, у той час, як звичайна система має радіальну топологію і, як правило, лише один потік.

Завдяки цим відмінностям та сучасним підходом до вирішення проблем Smart Grid являє собою новітню альтернативу, але є й інші чинники, які можуть поставити крапку на попередніх енергосистемах:

- інтеграція у систему генераторів, які базуються на основі розподілених енергетичних ресурсів, у тому числі генератори і системи накопичення в електричній мережі, особливо на рівнях розподілу напруги;

- виникнення стрімкого розвитку з боку транспортної галузі в плані електромобілів – це, звичайно, призведе до додаткового нового типу навантаження, що створює додаткові вимоги до мережі.

- вирішення нестабільної ситуації між клієнтами та споживачами ринку електроенергії шляхом лібералізації ринку електроенергії в останні роки, що, в свою чергу, потребує впровадження нових інструментів та методів, що базуються на сучасних технологіях.

Такі зміни негативно вплинули на функціонування, управління та захист мереж існуючими шляхами. На додаток до цього, розвиток цифрових технологій, засобів зв'язку, автоматичного управління та інших технологій відкрив нові шляхи та можливості знайти рішення для вирішення проблеми мережі. Такий підхід потягнув за собою необхідність модернізації звичайних електричних мереж, а зрештою і розвиток концепції Smart Grid.

1.2 Екологічні проблеми існуючих електромереж і способи їх подолання

Розглянемо сучасні проблеми, які можуть бути розв'язані, після реалізації концепції Smart Grid.

Наразі, електричні мережі мають проблему значних втрат електроенергії. Це трапляється через поганий контроль попиту, екстрені ситуації тощо. Це негативно впливає, як на саму країну так і на її мешканців, збільшуючі ціну на електроенергію. Сучасна електромережа вимагає постійного контролю, який має виконувати персонал. Це призводить до збоїв, через «людський фактор». Автоматичний контроль за системою, який пропонує Smart Grid є куди більш сучасним і досконалим рішенням. Крім цього, зараз існує можливість шахрайства, завдяки відсутності прозорих, та контролюємих механізмів передачі енергії.

У наш час однією з головних проблем є екологічний стан навколишнього середовища, яке з кожним роком забруднюється усе більше. Однією з можливостей, для вирішення цієї проблеми є Smart Grid. Покращення впливу на навколишнє середовище є одним з основних факторів розвитку розумних мереж. Інтеграція відновлюваних енергетичних джерел живлення для виробництва та перехід до використання гібридних транспортних засобів є двома важливими чинниками екологічного впливу інтелектуальної мережі. Окрім того, підвищення енергоефективності, швидка реакція на попит та управління навантаженням буде призводити до стрімкого та стабільного розвитку ринку чистої енергетики.

Зміна клімату – це термін, який як правило пов'язаний з проблемами швидких та непередбачених змін клімату в результаті великій кількості викидів парникових газів. Таке поняття як зміна клімату може відноситися до будь-якої чіткої зміни кліматичних показників, що триває тривалий періоду часу, наприклад – значні зміни температури, опадів, снігу або вітру, що тривають на протязі багатьох років. Такі проблеми виникають як наслідок наступної діяльності:

- природні фактори, як, наприклад, зміна енергії сонця або повільна зміна орбіти Землі навколо сонця;
- природні процеси в кліматичній системі Землі, такі як зміни в циркуляції океану;

- діяльність людини, основний фактор, який відіграє вирішальну роль у зміні клімату останні 200 років.

Таким чином змінюється склад атмосфери, наприклад, через спалювання викопного палива і поверхня суші – через вирубку лісів, посадку дерев, розширення міст та передмістя та інші фактори. Глобальне потепління є середнім підвищенням температури на поверхні Землі та в найнижчому шарі атмосфери. Підвищення температур в атмосфері Землі провокує зміни глобальних кліматичних моделей. Глобальні зміни це широкий термін, що стосується змін у цілому середовищі, включаючи зміни клімату, розпад озонового шару та зміни у використанні землі.

Як можна помітити викиди парникових газів до атмосфери є великою екологічною проблемою, але до яких наслідків воно приводить. Ключові наслідки зміни клімату включають:

- підвищення температури призведе до збільшення рахунків за енергію, оскільки споживачі використовують більше кондиціонерів, що, в свою чергу, створює замкнуте коло;

- екстремальні температури, такі як надмірне перебування в теплі, сприятимуть захворюванню та погіршенню імунітету;

- нерегулярність та непередбачуваність погоди призводить до відсутності належного водопостачання, а підвищена температура може призвести до пересихання ґрунту, як наслідок до зменшення виробництва врожаю та, зрештою, зростання витрат на їжу;

- постійні зміни погоди збільшує можливість пожежі та посухи, які останнім часом трапляються дуже часто, та впливають на якість та доступність глобального постачання прісної води. Через те, що порушується водопостачання, фермерам необхідно буде зрошувати сільськогосподарські культури.

Виробництво електроенергії з допомогою альтернативних джерел енергії стрімко зростає у світі, з метою подолати дефіцит попиту на енергію. Наразі, основним джерелом енергії є паливо, таке як нафта та вугілля.

Постійне виснаження викопного палива, яке скоро скінчиться та веде до екологічних проблем, змусило енергетичний сектор сконцентруватися на альтернативному джерелі енергії.

Сонячні та вітрові відновлювані джерела енергії користуються найбільшим попитом, оскільки вони широко доступні. Продуктивність сонячних та вітрових джерел дуже залежить від кліматичних змін та має непередбачуваний характер. Таким чином ефективна стратегія управління повинна бути впроваджена разом з відновлювальними джерелами енергії для забезпечення стабільності інтеграції мереж.

Вплив відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна або вітрова енергія, збільшується під час нафтової кризи. У попередні роки, коли ціна на нафту була меншою, при цьому вартість відновлюваної енергії впливала на економічний баланс і була економічно не вигідною, інтерес до виробництва такої енергії був мінімальним. Наразі відчувається зникнення викопного палива та досліджується його вплив на екологічну проблему. Тим часом виробництво, що базується на відновлюваних джерелах енергії, зосереджується в найбільш розвинутих країнах. Інвестиції в альтернативну енергію значно зросли, і вартість виробництва таких приладів, як наприклад сонячна батарея також зменшилась на 70%. Основними проблемами та викликами здобуття сонячної енергії є: ефективний спосіб використання сонячної радіації, ефективне перетворення сонячної енергії в електричну, накопичення отриманої енергії та зменшення загальних витрат на систему. До основних недоліків сонячної енергії можна віднести дуже високу вартість такої системи, як наслідок дороговизну такої енергії для кінцевого споживача, а також її залежність від клімату та як наслідок періодичну недоступність.

Вищезазначені недоліки можна подолати, використовуючи ефективні способи для контролю різних параметрів сонячної енергії. Багато досліджень зосереджених на шляху вдосконалення стратегій управління сонячною системою для забезпечення ефективного та безперебійного живлення споживача.

Повна блок-схема технології виробництва електроенергії на сонячній батареї має наступну будову – перетворювач та інвертор відіграють ключову роль у контролі всієї системи. Перетворювач постійного струму є головним компонентом електричної системи сонячного перетворення. У ньому реалізовано управління максимальною потужністю. Контролер з боку сітки керує інверторною системою. Системами управління, що використовуються в системі перетворення сонячній енергії у електричну, є MPPT (система відстеження точки максимальної потужності), система синхронізації мережі та контролю якості електроенергії.

1.3 Досвід використання Smart Grid у різних країнах

Світова спільнота вже давно почала застосовувати відновлювану енергію як основне джерело енергії для вирішення проблеми глобального потепління та інших кліматичних аномалій, шляхом зменшення виробництва парникових газів через спалювання викопного палива. Використання електричної енергії є ключовим фактором економічного зростання будь-якої країни. Величезні інвестиції проводяться різними країнами при розробці та впровадженні виробництва енергії на основі альтернативних джерел енергії. Відновлювана енергія також відіграє важливу роль у забезпеченні електроенергією сільських та віддалених районів, де передача електроенергії неможлива. Основні поновлювані джерела, які виробляють електроенергію – це сонячна енергія, вітер, гідроенергія, припливи та відливи, геотермальна енергія та біомаса.

За приблизними підрахунками енергія вироблена на гідросистемі становить майже 70% від загального обсягу виробництва альтернативних джерел енергії. Основна причина високого видобутку полягає в тому, що вода є у 800 разів щільніша за повітря. Таким чином, невеликий потік води може генерувати значну кількість електроенергії. Основною гідроенергетикою є дамби. Існує багато дамб, здатних генерувати 50 МВт потужності. Китай є

найбільшим виробником гідроелектростанції, за ним ідуть Бразилія та Венесуела. Сила хвиль і сила припливу – це інші форми технологій виробництва енергії на гідросистемі, які перетворюють кінетичну енергію хвилі в електроенергію. Інший метод використання електрика з океану – це перетворення океанічної теплової енергії, яке використовує різницю температур між більш холодною та теплою областями води, але економічні переваги дуже слабкі.

Найбільший у світі завод на основі методу припливів і відливів знаходиться в затоці Фанді, яка є пілотний проект, керований компанією Ocean Renewable Power Company. Вітрова енергія становить 4% від загального попиту на електроенергію у світі. Енергія вітру – один з найперспективніших видів альтернативного добутку енергії, який має найбільший темп зростання країнах, що розвиваються. Вітрова енергія задовольняє більшість загальних потреб у електроенергії в таких країнах, як Данія, Іспанія та Португалія. Довгостроковий технічний потенціал енергії вітру становить у п'ять разів більше загального поточного світового виробництва енергії. Китай знову займає перше місце у виробництві електроенергії, виробленій завдяки вітру. Офшорні вітрові турбіни набувають набагато більшого інтересу завдяки своїй безперервній роботі. Найбільша країна, яка ввела в експлуатацію офшорну енергію вітру, – це Великобританія, яка має майже 1,3 ГВт офшорної енергії вітру. Сонячна енергія, наразі, вносить 1% від загального виробництва енергії у всьому світі.

Сонячна енергія також є дуже популярною і економічно вигідною. Основна увага, в процесі впровадження сонячної енергії приділяється розробці доступної, невичерпної і чистою енергії. Це має величезну довгострокову перспективу при одноразових великих інвестиціях. Країни, що розвиваються, потребують надійного постачання енергії, чого можна досягти за допомогою сонячних фотоелектричних установок.

Геотермальна енергія використовує теплову енергію, яка зберігається в земній корі. Цей метод використовує тепло і температуру, які присутні у Землі

для утворення пари, яка потім використовується для запуску двигуна і генерації електроенергії. Таким чином, це зменшує спалювання вугілля, яке в основному використовується для нагрівання води для утворення пари. Геотермальна енергія прогресує зі швидкістю 5% кожні 3 роки. За даними GEA, лише 6,5% від загального усього потенціалу геотермальної енергії зараз використовується. Такі країни, як Кенія, Філіппіни, Ісландія, Коста Ріка та Сальвадор виробляють понад 15% геотермальної енергії загального виробництва енергії. Енергія на основі біомаси також називається біоенергією. Біомаса – це органічний матеріал, який зберігає сонячне світло у вигляді хімічної енергії. Біоенергетична установка використовує такі побічні продукти та органічні матеріали, як цукровий очерет, дерево, гній та багато іншого як паливо для виробництва електроенергії. Біоенергетика має встановлену потужність 35 ГВт, станом на 2010 рік. Сполучені Штати мають найвищу виробничу потужність у 15,4 ГВт.

Термін розумна мережа зазвичай відноситься до електричної мережі, яка має двосторонню комунікацію між споживачами та виробниками. Важливою метою інтелектуальної мережі є розробка удосконаленої інфраструктури електроенергії зі складним зв'язком, точним управлінням та високою ефективністю і надійністю. Вперше концепція розумної мережі була реалізована на початку 2000 р. Багато країн зробили великий вклад у розвиток інтелектуальної мережі. Кожна країна має своє власне цільове визначення відповідно до її вимог.

Розглянемо досвід використання Smart Grid у деяких країнах.

Китай є одним з найбільшим користувачем альтернативних джерел енергії. Цілі інтелектуальної мережі в Китаї зосереджено на трьох основних сферах. Основна мета розумною мережа в Китаї – це ефективна, економічно вигідна та чиста енергія. Вони включають:

- розширення генерації для задоволення високого попиту;
- передачу та розподіл виробленої електроенергії;
- зменшення викидів вуглецю.

Китай є країною з високим рівнем виробництва, що вимагає значних затрат електроенергії. Такий попит вимагає більше електростанцій для реалізації процесу генерації. Найбільше вклад буде зроблено у розвиток гідроелектростанцій, оскільки вони мають величезний вплив на океан. Виробничі потужності Китаю, за оцінками, становлять 120 ГВт від гідроелектростанцій, 70 ГВт від енергії вітру, сонячна енергія – 5 ГВт потужності на 2020 рік. Атомна енергетика в Китаї також має більше великий вклад у 40 ГВт. Нові вугільні заводи, які планується встановити в Китаї будуть дотримуватимуться технології чистого вугілля для зменшення шкідливих викидів, спалюючи їх.

Китайська технологія інтелектуальних мереж, перш за все, орієнтована на транспортування. Широка технологія системи моніторингу районів впроваджена Китаєм для відстеження процесів генерації та передачі в мережі. Датчики PMU встановлені на всіх електростанціях, що мають генеруючу потужність 300 МВт і вище. Уся комунікація в поколінні буде дотримуватися стандартного використання ширококутового зв'язку для доставки даних без будь-яких затримок через приватну мережу.

США виділило на фінансування технологія інтелектуальної мережі близько 100 мільйонів доларів тільки у 2012 році, і ці суми постійно зростають. Фінансування використовується для створення сучасної мережі з розумними лічильниками та безпечною комунікацією між комунальними підприємствами та споживачами. Стандарти протоколів рекомендуються з використанням переваг та реагують на попит. Федеральна комісія з регулювання енергетики розробляє офіційну політичну заяву та плани дій.

Основними цілями інтелектуальної мережі в США є чиста енергія, система реагування, система накопичення енергії та використання електромобілів. Розумна мережа із захищеним зв'язком та надійністю є головною ціллю у США. Ця країна навиділяє найбільше з усіх країн фінансування ніж будь-яка інша країна для впровадження інтелектуальної мережі. Вся електрична мережа в США буде охоплена 850 датчиками, які

змусять операторів мережі стежити за її станом та дозволяти їм змінювати навантаження на основі наявності відновлюваної енергії. Сполучені Штати встановлять 2,5 мільйона розумних лічильників протягом 2020 року, що дозволить споживачам отримати доступ до динамічного ціноутворення та уникати завищених цін в години пік.

Європейська комісія назвала Європейську технологічну платформу ініціативою європейського електричного співтовариства щодо розвитку Smart Grid. Модернізація європейської мережі заснована головним чином на контролі, автоматизації та моніторингу. Ключові цілі інтелектуальної мережі у Європі є розподілене управління, пристрої зберігання даних та силова електроніка. Управління попитом також вважається ключовим фактором в реалізації інтелектуальної мережі в Європі. Розвиток спрямований на досягнення енергоефективності та динамічного ціноутворення. Для досягнення цих цілей було впроваджено кілька методів динамічного ціноутворення. Управління даними в європейській Smart Grid все ще перебуває у критичній ситуації, оскільки є велечезна кількість оброблених даних. Захист та автоматика системи розподілу є перевагою європейської інтелектуальної мережі. Таким чином, це забезпечує постійне, надійне та безпечне постачання електроенергії. Автоматизація у побуті та на промисловості є ключовим фактором розвитку Smart Grid в Європі.

1.4 Визначення задач атестаційної роботи

У відповідності до проведеного аналізу, та з урахуванням мети атестаційної роботи можна визначити наступні задачі:

- висвітлити питання безпеки і захисту даних при їх зборі, передачі і обробки;
- сформулювати вимоги до підготовки обслуговуючого персоналу в умовах впровадження елементів Smart Grid;

- виконати аналіз робочих процесів і стабільності роботи системи Smart Grid;
- розглянути питання загального проектування та дизайну системи;
- сформувавши підхід для інтеграції до енергосистем альтернативних (відновлювальних, «зелених») джерел енергії;
- розглянути можливість інтеграції інтелектуальних приладів обліку споживання електричної енергії.

2 ЕТАПИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ

2.1 Безпека та захист даних

Розглянемо Smart Grid з боку надійності та кібербезпеки. Інтеграція компонентів інтелектуальної мережі вимагає значного перегляду сучасних стандартів та протоколів. Також, покращення кіберзахисту мережі, яка є загальноновизнаною, є одним з головних пріоритетів такої архітектури. Наразі, розподіл та моніторинг електроенергії, у системі, досі перебувають недостатньо розвинуті та мають значно вдосконалитися для перетворення в інтелектуальну мережу. Незважаючи на те, що основні мережеві магістралі є дуже простими, вони не були спроектовані для того щоб підключати двосторонні цифрові комунікаційні пристрої для кожного будинку, будівлі, а також обладнання по всій території комунального підприємства. Насправді додати безліч таких підключень до розподільчої системи є непростим завданням, і тому, енергетичні компанії перебувають у нестабільному положенні та намагається перейти на більш сучасні методи.

Якщо розумні мережі будуть здатні реалізувати весь свій потенціал це піде на користь і користувачам і державі і навколишньому середовищу. На жаль, як і майже у будь-якій новій технології, основна увага приділяється швидкому підключенню до експлуатації інтелектуальних електромереж, при цьому часто доводиться закривати очі на кібербезпеку. Гірше того, деякі експерти, вважають, що нові ІТ-мережі та системи промислового управління можуть бути захищені шляхом адаптації існуючих методів, що може створити діру у системі безпеки. Тому в далі розглянемо виклики і проблеми для планувальників та дизайнерів, а також роль політиків у забезпеченні надійності та безпечної роботи нової системи.

Важливим фактором у глобальній системі є здатність двох або більше компонентів обмінюватися інформацією та використовувати інформацію

отриману у результаті такого обміну. Проблеми можуть зустрічатися як у результаті взаємодії системних компонентів, які повинні відповідати одному і тому ж стандарту, так у результаті взаємодії компонентів які мають різні стандарти. Тобто навіть чіткого дотримання стандартів інтелектуальної мережі може бути недостатньо для забезпечення стабільності взаємодії та роботи. Тому, Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК) виділяє компоненти системи та атрибути як обов'язкові, необов'язкові або умовні. Повідомлення про комунікації, управління, безпеку та виконання дій повинні розумітися за допомогою взаємодіючого обладнання. Правильний підхід до налаштування комунікації у мережі включає:

- огляд діяльності керівних органів – результат визначатиме діяльність, по технічному налаштуванню, яку користувачі інтелектуальних мереж повинні виконувати;
- огляд компонентів системи перед розгортанням – необхідно забезпечити сумісність, з допомогою функціональних вимог;
- розробка внутрішніх стандартних проектів – вирішення регулярних питань та проблем керівного органу.

Сумісність є дуже важливим фактором у розвитку інтелектуального оцінювання для підтримки та розвитку конкурентоспроможного ринку торгівлі енергією. Існує два елементи взаємодії: технічний та комерційний. Технічна сумісність, як правило, полягає у функціональності таких інтерфейсів як облік газу та електроенергії, які визначають вимоги до інтелектуального вимірювання (форматування та вміст даних). Визначення технічної сумісності буде залежати від моделі ринку використання інтелектуального вимірювання. Необхідні дослідження інтерфейсів комунікацій WAN та LAN. Для того, щоб правильно сформувавши підхід до споживачів, буде визначено в аналізі вигід та витрат. Використання таких тематичних досліджень повинно проводитися заздалегідь, щоб гарантувати, що такі системи, як, наприклад, інтелектуальні мережі, будуть продовжувати свою роботу.

Сумісність вирішує багато проблем та такій дозволяє такій мережі безперешкодно та автономно інтегрувати усі компоненти електропостачання, як, наприклад, обладнання контролю та вимірювання, обладнання розподілу, а також обладнання зв'язку. Зменшення людського втручання в цей процес є однією з значних переваг такої функціональності.

Проблеми пов'язані з інтеграцією такої системи включають у себе необхідність технічного вдосконалення мережі, додавання нових та адаптацію існуючих технологій, а також розробку та впровадження глобальних стандартів. Процедури захисту від хакерства та кібератак вимагатимуть розробки нових протоколів безпеки для аутентифікації та перевірки для надання доступу до ресурсів.

Комп'ютери та електронні машини вимагають чітких даних та інструкцій для виконання завдань. Завдання представляє собою протоколи дизайну, описані на мові програмування для того, щоб забезпечити ефективний зв'язок між машинами, які регулюються одним і тим же протоколом, і, що більш важливо для тих, які використовують різні протоколи. Головна мета представляє собою пошук найбільш ефективного, швидкого шляху для передачі даних між пристроями. Сумісність, не обмежується проблемами лише фізичним аспектів мережі, оскільки інженери також мають враховувати, що, коли два пристрої виконують обмін даними, повідомлення тепер повинні передавати дані мережевої навігації та правильно адресуватися до іншої електронної машини. Ця проблема створює потребу в мережевих стандартах, для машин, які будуть підключені. Це робиться з метою того, щоб вони могли спілкуватися без перерв та перебоїв. Але, на жаль, виконати таке завдання не зовсім просто, наприклад, деякі машини можуть використовувати певний мовний протокол, який вимагає, щоб інша машина здійснювала зв'язок із повними специфічними системними вимогами, які можуть бути поза сферою його застосування, ще до того, як передача може бути завершена. У такому випадку передача та прийом даних можуть бути заборонені або

неповні, що призводить до інших проблем, та як наслідок зменшує ефективність роботи такої системи.

У попередньому розділі було розглянуто те, що управління мережею є однією з основних проблемою для комунальних підприємств. Що стосується інтелектуальної системи, мережа повинна бути обладнана сучасними пристроями, які виявляють проблеми, повідомляють про це різні утиліті, отримують команди управління або виконують їх. Повний контроль вимагає, щоб між машинами була налагоджена комунікація і щоб вони мали змогу інтерпретувати та виконувати завдання, які більшість машин сьогодні не здатні виконувати. Використання SCADA та EMS стало неефективним, і залишає центрам управління необхідність спілкуватися з іншими центрами управління, а також з регулюючими органами, енергетичними ринками, незалежними виробниками електроенергії, споживачами та постачальниками, щоб підтримувати динамічне ринкове середовище. Центри управління повинні мати можливість підключатися до машин, що використовують розумні технології, щоб забезпечити налагоджену ефективну роботу без обмежень та перебоїв. Зрештою, користувач або замовник повинен мати певний ступінь автономії над споживанням із швидкою та ефективною реакцією на перебої в постачанні.

Кібербезпека – це концепція захисту цифрових даних та каналів, яка з часом набуває все більшого поширення разом із розвитком технологій інтелектуальних мереж. Крім того, збільшується використання цифрової інформації та технологій управління для підвищення надійності, безпеки, ефективності електричної мережі. Усе частіше впроваджуються інтелектуальні технології у реальному часі, автоматизовані, інтерактивні технології, що оптимізують фізичну роботу приладів та споживчих пристроїв для вимірювання та зв'язку. Тому ефективна взаємодія енергетичних, комунікаційних та інформаційних мереж є критично важливим фактором для полегшення стійкості та надійності інфраструктури та підтримання економічного та соціального становища. Наразі розроблені технології та

протоколи для підтримки системи, мережі, даних та безпеки SCADA, проводиться захист мережевих даних, а також даних на хмарних носіях.

Кібербезпека є одним з найважливіших пріоритетів розвитку інтелектуальної мережі. Однак вимоги до кібербезпеки для інтелектуальної мережі постійно зміню. Кібербезпека включає заходи щодо забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності електронних інформаційних систем зв'язку, необхідних для управління та захисту енергії, інформаційних технологій та інфраструктури телекомунікацій інтелектуальної мережі. Ця інфраструктура включає інформаційні та комунікаційні системи та послуги, які складаються з апаратного та програмного забезпечення, яке обробляє, зберігає та передає інформацію. Обробка включає паперові, магнітні, електронні та всі інші типи носіїв інформації.

Кібербезпека забезпечує як захист від загроз, що передаються комп'ютерними терміналами, а також захист інших фізичних активів від модифікації чи пошкодження у результаті випадкового або зловмисного використання комп'ютерного управління. Розумні протоколи мережевої безпеки містять елементи стримування, запобігання, виявлення, реагування та пом'якшення; зріла інтелектуальна мережа буде здатна зірвати множинні, скоординовані атаки протягом певного часового інтервалу. Посилена безпека зменшить вплив випадкових подій на стабільність та цілісність роботи мережі, забезпечуючи безпеку користувачів та економічної складової. Існує цільова група з координації кібербезпеки, спрямована на проектування мережевої безпеки на архітектурному рівні. Завдання включають виявлення використаних тематичних досліджень з урахуванням кібербезпеки, проведення оцінки ризиків, таких як вразливості, загрози та наслідки, а також розробку архітектури безпеки. Основна концепція полягає у тому, що безпека повинна бути інтегрованою, а не додатковою. Така стратегія включає:

- огляд функціональності системи та потоків даних, з великою увагою ставиться до їх подібності та відмінності з визначеними випадками використання мережі dsmart;

- визначення відповідних загроз та наслідків, якщо конфіденційність, цілісність, доступність або підзвітність потоків даних системи порушені, та складання протоколів дій у таких випадках.

Безпека вимагає багатьох різних рішень і не зводиться до шифрування та захисту паролем. Грані кібербезпеки включають:

- оцінку безпеки та зміцнення існуючих систем;
- оцінку вразливості;
- системи аварійного відновлення;
- реакцію на виявлення вторгнення;
- реєстрацію подій, агрегування та кореляцію.

Ще одним критичним фактором проблеми безпеки, з метою її подпольного розвитку, є усвідомлення того факту, що порушення будуть виникати і потрібно бути готовими до них. Це призводить до розробки планів та протоколів на випадок надзвичайних ситуацій, щоб систему можна було відновити.

2.2 Вимоги Smart Grid до персоналу

У зв'язку з тим, що Smart Grid складається з сучасних технологій та компонентів, вона вимагає інженерів та професіоналів з більш високим досвідом та підготовкою, ніж вони є сьогодні. Крім технологічних аспектів розвитку, працівникам необхідно буде вивчити виробництво, управління даними, оптимізацію та розробку протоколів. Розумна мережа також буде залежати від розширення поточних дослідницьких зусиль у галузі кібербезпеки, контролю, зв'язку, обчислювальної техніки та інструментів підтримки і прийняття рішень. Внаслідок технологічного розвитку та енергетичної галузі експлуатація та управління виробництвом, передачею та розподілом електроенергії змінюються, що вимагає перекваліфікації спеціалістів. Такі зміни зумовлені впровадженням нових технологій, таких як

мікромережі, координація цифрового захисту, візуальний контроль та управління енергією.

Наразі у світі ведеться робота над розробкою науково-дослідної підтримки інтелектуальної мережі в координації та розміщенні технологій FACTS для застосування в реальному часі, PMU забезпечення роботи при стабільній напрузі у реального і покращення надійності. Інші дослідження включають у себе вдосконалення автоматизованого розподілу, яке дозволить обробляти функції DSM за допомогою опцій та механізмів ціноутворення в реальному часі.

Дослідницьку діяльність можна класифікувати за необхідними інструментами:

- інструменти моделювання та аналізу. Такі інструменти будуть поєднувати необхідні операції та економіку в єдиній моделі для аналізу та моніторингу системи під час впровадження змін, щоб визначити прогрес та забезпечити стабільність;

- розробка інтелектуальних технологій від уряду та промисловості;

- випробувальні стенди та демонстраційні проекти. Такі інструменти використовуються для проведення експериментів зі збільшенням масштабу, щоб або підтвердити цінність таких технологій або виявити їх несправності; нарощувати імпульс змін, зменшувати фактор ризику та сформулювати концепцію трансформованої енергетичної мережі;

Створення ефективної та продуманої навчальної програми професійного розвитку є життєво важливим компонентом для майбутньої енергетичної галузі. Тому час від часу потрібно впроваджувати нові напрямки та засоби навчання і створювати нові можливості для професійного розвитку. Необхідно вдосконалювати інфраструктуру для підтримки проведення таких курсів, як розробка сховища інформації у веб мережі, інтерактивні та віддалені лабораторні експерименти. Крім цього, необхідно заохочувати міжнародну спільноту для співпраці та обміну знаннями і досвідом. Основи Smart Grid включатимуть визначення, архітектуру вимог до ефективності, та правильного

підходу до розробки аналітичних інструментів та інструментів підтримки прийняття рішень. Проектування електромереж має базуватися на таких критеріях як – оптимізація, контроль, соціальні та екологічні вигоди та динамічні методи оптимізації. Також важливим фактором є проектування систем зв'язку та розробка систем управління, так як це значно полегшує роботу з електро системою. Такий план енергетичної системи дозволяє ефективно вести теорію або практичну роботу у багатьох областях даної системи з високим акцентом на фундаментальних модулях поточної енергетичної програми.

2.3 Комунікація і вимірювання даних за допомогою Smart Grid

Оскільки більша частина сучасних систем передачі та розподілення електроенергії використовує застарілі технології, необхідно вдосконалювати такі системи і налагоджувати автоматизовану роботу. Кінцевою метою є інтеграція двосторонньої комунікаційної технології, яка дозволить динамічно обмінюватися інформацією та електроенергією у режимі реального часу. На такий обмін значно впливають системи кібербезпеки, яку також потрібно розробляти з оглядом на сучасні технології. Також існує потреба у формалізації стандартів і протоколів, які будуть застосовуватися для забезпечення передачі цінної та високочутливої інформації в рамках схеми зв'язку. Одним з рішень цієї проблеми може бути відкрите архітектурне середовище plug-and-play, яке забезпечить захищені мережеві датчики та розумні пристрої та центри управління, системи захисту користувачів. Такі дротові та бездротові комунікаційні технології можуть включати:

- мультипротокольную комутацію етикеток – високопродуктивні телекомунікаційні мережі для передачі даних між вузлами;
- глобальну систему взаємодії для мікрохвильового доступу – бездротова технологія телекомунікації для передачі даних від однієї точки до багатьох із використанням інтернету;

- широкосмуговий доступ через лінії електропередач;
- Wi-Fi– бездротова локальна мережа.

Для забезпечення надійного взаємозв'язку апаратного та програмного забезпечення необхідно буде налаштування декількох типів мережевих топологій. Далі буде розглянуто список найбільш підходящих топологій. Звичайна локальна мережа складається з двох або більше компонентів та накопичувача на великій ємності (файлові сервери), які дозволяють кожному комп'ютеру в такій мережі отримати доступ до загального набору даних. Структура локальної мережі має операційну систему, яка зчитує введені дані, контролює мережеві пристрої та дозволяє користувачам спілкуватися між собою. Кожен апаратний пристрій (комп'ютер, принтер тощо) у локальній мережі є вузлом. Локальна мережа може включати у себе до декількох сотень комп'ютерів. Локальна мережа поєднує в собі високу швидкість з радіусом роботи близько 1-10 км. Локальна мережа може також отримувати доступ до інших локальних мереж або підключатися до мереж до більш широких мереж. Локальні мережі зі схожими архітектурами є мостами, які діють як точки передачі, тоді як мережі з різними архітектурами є шлюзами, які перетворюють дані, коли вони передаються між системами.

Особливі атрибути та переваги локальної мережі включають:

- спільне використання ресурсів: дозволяє інтелектуальним пристроям, таким як, наприклад, пристроям зберігання, обмінюватися ресурсами, тобто користувачі локальної мережі можуть використовувати один і той же принтер у мережі, встановлену базу даних та програмне забезпечення. Такий підхід є досить зручним та ефективним, як для самої системи, так і для користувачів;
- радіус роботи: локальна мережа, як правило, обмежена невеликою площею, наприклад, будівлею офісу чи комунальним господарством;
- вартість та доступність: прикладне програмне забезпечення та пристрої доступні і досить прості;
- висока швидкість каналу: можливість передачі даних зі швидкістю від 1 до 10 мільйонів біт в секунду;

- гнучкість: може розширюватися з низькою ймовірністю помилки, мережа є простою в обслуговуванні та експлуатації.

Мережа домашнього доступу – це така локальна мережа, що надається окремому будинку. Такий підхід дозволяє дистанційно керувати автоматизованими цифровими пристроями та приладами у рамках цього будинку. Різні розумні прилади та веб-моніторинг можуть бути інтегровані в таку мережу.

Районна мережа восьми місць – це спільнота бездротових мереж, яка наразі використовується для бездротових програм розповсюдження. Взагалі така мережа може охоплювати територію, більшу за територію локальної мережу. Деякі архітектурні структури зосереджені на інтеграції та сумісності різних доменів у розумній мережі. Домени складаються з груп будівель, систем, людей або пристроїв, що мають подібні характеристики зв'язку.

Середовище Smart Grid вимагає оновлення інструментів зондування, вимірювання та вимірювання на всіх рівнях мережі. Ці компоненти надаватимуть дані, необхідні для зручного моніторингу мережі та ринку електроенергії. Такі датчики забезпечують контроль та виявлення відключень та дають оцінку справності обладнання та цілісності мережі, виконують оцінки вимірювачів, забезпечують захист від втрат та крадіжки енергії, забезпечують більш просту комунікацію зі споживачем і дозволяють проводити моніторинг мережі.

Що стосується вимірювання, то нові цифрові технології, які використовують двосторонні комунікації, різноманітні вхідні дані, різноманітні вихідні дані (інформація про споживання в реальному часі, якість електроенергії, електричні параметри), можливість підключення та відключення та інтерфейси з генераторами, операторами мережі та порталами споживачів для підвищення вимірювання потужності. Цьому сприяє широке використання цифрової електроніки для вимірювання, наприклад, встановлення електролічильника на рівні споживача та встановлення системи

моніторингу глобального рівню для вдосконаленого спостереження та захисту комунальних послуг.

2.3.1 Системи широкого моніторингу

Такі системи розроблені комунальними службами для оптимальної пропускної здатності електромережі та запобігання поширенню порушень. Надаючи інформацію в режимі реального часу про стабільність та стан безпеки при експлуатації, система попереджає про порушення для попередження та пом'якшення загальносистемних відключень. Використовуються датчики, розподілені по всій мережі у поєднанні з супутниками GPS для більш точного встановлення часу вимірювань в системі передачі. Інтегровані датчики будуть взаємодіяти з мережею зв'язку.

2.3.2 Розумні лічильники

Розумні лічильники мають дві основні функції: перша – надання даних про споживання енергії кінцевим споживачам для контролю витрат та споживання електроенергії, інша функція – надсилання даних до утиліти для контролю коефіцієнта навантаження, вимог до пікового навантаження та розробки стратегій ціноутворення на основі інформації про споживання. Автоматизоване зчитування даних є додатковою складовою як розумних лічильників, так і двостороннього зв'язку між клієнтами та комунальними службами. Розробка інтелектуальних лічильників планується для споживання електроенергії, води та газу. Крім того, розумні лічильники оснащують споживачів комунальних послуг знаннями про те, скільки вони платять за кіловат-годину та як і коли вони використовують енергію. Це, як наслідок, призведе до кращого інформування про ціни та отримання більш точних рахунків на додаток до забезпечення швидшого виявлення та відновлення відключення енергії комунальною службою. Додаткові функції дозволяють

задовольнити зростаючий попит на енергію, завдяки більш ефективному її використанню та меншим втратам. Інші функції включатимуть віддалене підключення або відключення користувачів, управління та моніторинг приладів, розумний термостат, покращений моніторинг мережі, комутацію та передплачений облік.

2.3.3 Розумні прилади

Ці програми дозволяють клієнтам брати участь у програмах добровільного реагування на попит, які присуджують кредити для обмеження споживання електроенергії в періоди пікового попиту або коли мережа перебуває під великою напругою. Функція заміни дозволяє клієнтам контролювати свою техніку за допомогою веб мережі. Кондиціонери, обігрівачі приміщень, водонагрівачі, холодильники, пральні машини та інша побутова техніка становлять близько 20% від загальної потреби в електроенергії протягом року. Прилади, зручні для використання в електромережі, використовують простий комп'ютерний чіп, який може відчувати порушення в частоті живлення мережі та може вимкнути прилад на кілька хвилин, щоб забезпечити стабілізацію мережі під час виникнення проблем.

2.3.4 Розширена інфраструктура вимірювання

Ця мережа є своєрідним поєднанням комунікаційної інфраструктури та допоміжної інформаційної інфраструктури. Мережева IPB в поєднанні з відсутністю поєданого набору міжгалузевих вимог до безпеки IPB та керівництвом щодо впровадження такої системи є основною мотивацією для її розвитку. Такі рішення є відносно новими для галузі комунальних послуг, однак вони мають перевагу для впровадження широкомасштабних мереживорієнтованих рішень із високими вимогами до забезпечення інформації.

Кібербезпека, кабельна та телекомунікаційна промисловість пропонує багато вимог, стандартів та найкращих практик, які безпосередньо застосовуються до реалізації ІРВ. Функції ІРВ можна розділити на три основні категорії:

- застосування на ринку: служать для зменшення або взагалі усунення витрат на оплату праці, транспортування, пов'язаних із зчитуванням та обслуговуванням лічильників, підвищення точності рахунків. Крім відбувається сприяння інформованій участі споживачів в управлінні енергією;

- заявки клієнтів: служать для підвищення обізнаності споживачів про зменшення навантаження та покращує рух грошових коштів та взагалі надає більше інформації для споживачів, як наслідок підвищує їх задоволеність. Також забезпечується управління навантаженням для підвищення надійності та продуктивності системи, під час великого навантаження;

- операції з розподілу: зменшує навантаження споживачів при управлінні мережею, оптимізує мережу на основі зібраних даних, дозволяє локалізувати відключення та відновити обслуговування, зменшує втрати енергії. До переваг, також можна віднести – покращення ефективності у разі відключення і зменшення часу самого відключення, більш оптимізована систему розподілу та управління генерацією, забезпечується ефективно реагування на надзвичайні потреби.

Порівняння Microgrid і Smart Grid. Були проведені дослідження, щоб зрозуміти різницю між «Мікро сіткою» і «Розумною сіткою». Як правило мікро мережа – це локальна мережа, яка може працювати як окремо, так і як підключена до головної система. Вона живиться від газових турбін або відновлюваних джерел енергії, включаючи інвертори спеціального призначення та може бути підключена до застарілої мережі. Фільтри спеціального призначення долають проблеми гармонік, одночасно покращуючи якість енергії та ефективність. Деякі демонстраційних проекти діють в університетах та урядових установах. Підводячи підсумок, можна розглядати мікромережу як про локального постачальника електроенергії з обмеженими удосконаленими інструментами управління, тоді як

інтелектуальна мережа – це система з більш широким діапазоном, що має сучасні можливості автоматизованої підтримки прийняття рішень.

2.4 Аналіз роботи системи

Дослідження потоку навантаження мають дуже важливе значення для планування системи та її подальшої роботи. Наприклад, дані про умови пікового навантаження допомагають дизайнерам і людям які займаються плануванням такої системи у визначенні розміру компонентів (ліній електропередач, трансформаторів, реакторів та конденсаторів), їх розміщенні та передачі. Крім цього, також проводиться планування взаємозалежностей із сусідніми системами та елементами для задоволення попиту, який прогнозується, що відповідає вимогам надійності. Дослідження потоку навантаження визначають лінійні навантаження та напруги шини поза діапазоном, занадто великі фазові кути шини (і потенціал проблемної стабільності), навантаження компонентів (головним чином трансформаторів) та інші параметри, що можуть створити операційні труднощі. Також мають сенс інші дослідження проміжних навантажень та пікових навантажень, оскільки не пікові навантаження можуть призвести до виникнення високої напруги, що не трапляється під час пікових навантажень. Дослідження потоку навантажень допомагає системним операторам підраховувати рівні потужності на кожному енергоблоці для економічної диспетчеризації, аналізувати відключення та інші вимушені умови експлуатації (аналіз непередбачених ситуацій) та координувати потоки енергії. У більшості випадків дослідження потоку навантаження використовуються для оцінки продуктивності системи.

Проблеми потоку енергії в розумній сітці та слабкості поточних методів навантаження. Поточні методи застарілі та мають слабкі місця, які необхідно усунути перед тим, як використовувати їх для аналізу продуктивності та

експлуатації інтелектуальної мережі. Тож, перед її використанням необхідно відповісти на чотири фундаментальні питання:

- які особливості та переваги інтелектуальної мережі в порівнянні із застарілою системою?
- які обчислення потрібні у випадку інтелектуальної мережі?
- які конкретні напрямки необхідні для розвитку нового енергетичного потоку?
- які нові особливості потоку навантаження роблять його придатним для роботи інтелектуальної мережі та оцінки?

Інші особливості, які слід враховувати при розробці нового потоку навантаження, включають:

- адаптивність стану передачі та розподілу для забезпечення потоків навантаження, що включають відновлювані джерела енергії;
- самоадаптація для забезпечення належної координації;
- збіг топології високого імпедансу для розподільчої мережі із випадковістю та невизначеністю, що вимагає аналітичних інструментів оцінки.

Оскільки можлива техніка зворотного струму, використання пристроїв для живлення будівельних блоків електроніки є дуже важливим. Традиційні методи потоку навантаження, які зазвичай використовуються для розподілу навантаження, характеризуються:

- системами розподілу є радіальні або слабозв'язані мережевими структурами;
- однофазними навантаженнями, які обробляються програмою розподілу навантаження;
- розподіленням виробництвом, інші джерела відновлюваної енергії або когенераційні джерела енергії, встановлені у відносній близькості до деяких центрів навантаження;
- розподільчими системами з великою кількістю сегментів коротких ліній, більшість з яких мають низькі значення імпедансу.

З метою дослідження навантаження моделюється мережа шин, з'єднана лініями або перемикачами, підключеними до конкретної напруги шиною джерела. Кожна шина може мати відповідну композитну форму навантаження (що складається з індуктора, шунтуючого конденсатора або комбінації).

2.5 Стабільність роботи Smart Grid

У результаті розширення електроенергетичних мереж у світі необхідно забезпечити більші об'єми генерації, вдосконалити енергоресурси та пристрої управління. Крім цього необхідно ліквідувати технічні наслідки, що виникають внаслідок слабких місць у виробництві, передачі. На сьогодні інструменти аналізу, що забезпечують керівництво експлуатацією та плануванням, є обмеженими вивченням систем із статичними та динамічними моделями генераторів, шин, елементів управління (збудників та регуляторів) та інших пристроїв. Наразі проведено певну роботу з модернізації таких інструментів з урахуванням передбачуваності та адаптивності, а також для прийняття рішень для управління енергетичною системою майбутнього. Таким чином, далі буде проведений огляд існуючих досліджень з оцінки стабільності, а також проектування нових інструментів, необхідних для аналізу та планування інтелектуальних мереж.

Нижче перелічені характеристики притаманні аналітичним інструментам інтелектуальної мережі:

- надійність – стійкість характерної поведінки системи в умовах нестабільності та екстрених ситуаціях;
- масштабованість – здатність системи, мережі або процесу функціонувати в умовах збільшення кількості роботи;
- стохастичність – стохастичні системи потрібні для введення та використання в фізичних системах, де ми не впевнені в значенні вимірюваних параметрів;

- передбачуваність – чіткий, часто кількісний, прогноз того, що відбудуватиметься за конкретних умов;
- адаптованість – система здатна адаптувати свою поведінку відповідно до змін у навколишньому середовищі або у самій мережі;
- інтернет-збір даних у режимі реального часу – швидкий збір даних, який може проводитися віддалено.

Інші відповідні інструменти та методи включають методи WAM – вимірювання напруги, кута, частоти, контрольного ряду та доступних ресурсів для перевірки стану навантаження, дані зазвичай приймаються або обчислюються для статичної моделі з появою важливості використання GPS. Крім того, проводиться моніторингу даних та контролю для оцінки стабільності та досягнення ефективності і надійності високого порядку.

Блок вимірювання фазора – PMU являє собою високошвидкісні синхронізовані за часом цифрові реєстратори, які вимірюють напругу, струм і частоту в системі передачі, а також обчислюють розмір напруги та струму, фазові кути і потоки реальної та реактивної потужності. Дані PMU можна застосувати для наступних цілей:

- управління активами;
- стабілізації напруги;
- оцінки кутової стійкості.

Розумні лічильники – двосторонній електронний лічильник зв'язку або інший прилад, що вимірює споживання електроенергії, природного газу або води. Подібні лічильники, які зазвичай називають лічильниками інтервалу, існують роками, але розумні лічильники, як правило, працюють у режимі реального часу, також вони виконують сповіщення про напругу та моніторинг якості електроенергії. Ці додаткові функції мають відіграти більшу роль, ніж просто автоматичне зчитування лічильників. Багато в чому вони схожі з лічильниками розширеного вимірювання. Також вважається, що розумні лічильники є більш доступною альтернативою традиційним лічильникам інтервалу або часу використання і призначені для широкого використання з

усіма класами споживачів, включаючи побутових споживачів. Лічильники інтервалу та часу використання є більш застарілими, яка історично була встановлена для вимірювання комерційних та промислових споживачів. Розумні лічильники можуть бути частиною інтелектуальної мережі, але самі по собі не утворюють інтелектуальну мережу.

3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЙ РЕАЛІЗАЦІЇ

3.1 Проектування та дизайн системи

Електричні мережі України у давно не оновлювалися та були створені ще за часу існування СРСР, де все управління проводиться персоналом. Звичайно це має негативний вплив на показники часу перерв в електропостачанні, який наразі складає майже 700 хвилин непланових відключень і 500 хвилин планових. У районах невеликих міст та сел такий індекс часто перевищує 1000 хвилин. Для порівняння, цей показник у країнах ЄС складає лише 100 хвилин непланових відключень і 160 – планових. Це трапляється через дуже погану автоматизацію.

Під час підключення альтернативних джерел енергії до існуючої системи, може відбуватися процес приєднання у незовсім очевидних точках, що робить неможливим централізоване управління. Також, беручі до уваги той факт, що на великих електростанціях, струм подається під величезною напругою, це вимагає створення локалізованої системи управління. Крім того, треба брати до уваги той факт, що звичайно, альтернативні джерела енергії складаються з сучасних технологій і можуть містити сотні і тисячі датчиків. Звичайно управління токою системою унеможливіюється, якщо продовжувати робити це тим самим способом. Для вирішення цієї проблеми повинно додавати розумні елементи керування, що і пропонує Smart Grid.

Дизайн інтелектуальної мережі передбачає поєднання інструментів, технологій та методів. Будуть розглянуті інструменти та технології, необхідних для обчислювального інструменту для фіксації атрибутів інтелектуальної мережі. Буде розробимо алгоритм, який буде підтримувати обчислювальні інструменти для розробки інтелектуальної мережі. Завдяки збільшенню доступності даних та сигналів у режимі реального часу або необхідно переглянути найбільш підходящі методи, які дозволять управляти

динамікою. Бар'єри для розвитку інтелектуальної мережі розробляються на основі існуючої структури енергосистеми мережі. Відмінність існуючої електромережі і електромережі, керованої Smart Grid можна побачити на рисунку 3.1.

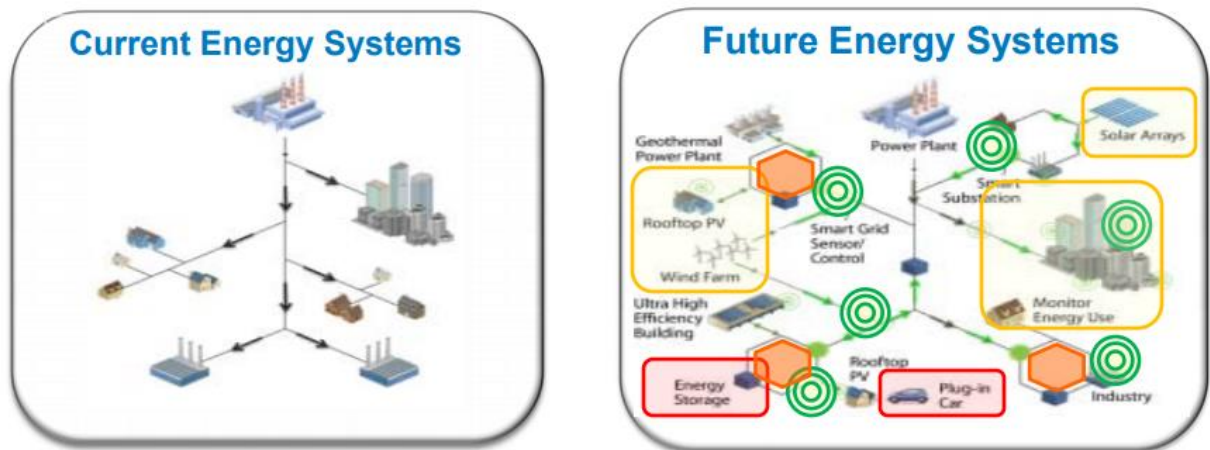


Рисунок 3.1 – Схема класичної електромережі та системи Smart Grid

Розглянемо різні способи проектування Smart Grid

Спосіб 1. Система планування та обслуговування. Проблеми відбуваються через те, що є занадто багато людей, які приймають рішення, місцеву опозицію новим заводам та лініям, невизначеність планування, відсутність передбачуваного контролю в реальному часі та недостатню увагу на під час прийняття рішень стосовно постачання. Щоб подолати ці бар'єри, для проектування інтелектуальної мережі необхідний доступ споживача до інформації про ціноутворення, що залежить від часу, податкових стимулів для впровадження передбачуваного контролю в реальному часі та податкових стимулів.

За цим способом необхідно прийняти наступні організаційні рішення:

- створити центр навчання Smart Grid;
- дозволити споживачам доступ до інформації про ціни, що залежить від часу;

- ввести податкові пільги для розгортання передбачуваного контролю в реальному часі;

- запропонувати податкові пільги для DSM.

Ці рішення повинні мінімізувати технічне обслуговування на рівні впровадження.

Спосіб 2. Конкурентний ринок енергетики. Проблеми включають опір громадськості дерегуляції, інформацію про ціни, недоступну для споживачів, відсутність участі споживачів та відсутність екологічних кредитів обкладання податками.

За цим способом необхідно прийняти наступні організаційні рішення:

- обов'язкове використання прозорих цін, які залежать від місця;

- надати споживачам доступ до інформації про ціни;

- запропонувати екологічні кредити або запровадити податки.

Енергетичний аукціон має змінити структуру цін на ринку. Це значно допоможе зробити використання мережі доступним для широких верств населення;

Спосіб 3. Рівень роботи системи. Проблеми включають комунікаційні незручності між системними операторами для вирішення надзвичайних ситуацій, відсутність інструментів прогнозного управління в режимі реального часу для ефективної обробки та відсутність програмного забезпечення для управління прогнозованою оптимальною потужністю та обладнання та технології DMS.

За цим способом необхідно прийняти наступні організаційні рішення:

- розвивати та вдосконалювати прогнозні технології управління та контролю мереж;

- створювати інтелектуальні демонстраційні проекти;

- запропонувати податкові пільги для впровадження програмного та апаратного забезпечення інтелектуального управління;

- запропонувати податкові пільги для технології DSM.

Автоматизація передбачає використання адресних обчислювальних технологій та нового алгоритму відправлення для забезпечення:

- надійності;
- стабільності;
- оптимальної відправки;
- аналізу безпеки;
- розподіленого управління генерацією.

Методи прогнозування повинні бути включені в оперативну практику в режимі реального часу, оскільки щоденне оперативне планування та послідовна і точна оцінка наявності змінної генерації для задоволення пікового попиту необхідна при довгостроковому системному плануванні. Дані про час повинні бути інтегровані в існуючі практики та програмне забезпечення. Енергетичній сфері пропонується проводити дослідження та розробки в цих сферах.

Надійність енергосистеми визначається як здатність подавати електроенергію до всіх точок використання електроенергії в межах підтримуваних стандартів. Традиційні методи аналізу надійності є детермінованими, наприклад, критерій $n-1$, коли система вважається надійною, якщо вона може працювати при одному незапланованому відключенні, тоді як в інтелектуальній мережі, аналіз надійності не може бути приміненний для екстремальних випадків. Таким чином, новий показник надійності та стійкості повинен бути здатним обробляти:

- нелінійність параметрів системи, особливо за наявності нових генераційних ресурсів (вітру, гідроенергії, сонячної енергії тощо) та пристроїв перетворення великої потужності;
- невизначеність у попиті на споживання та доступності генерації, які залежать від часу та непередбачених ситуацій;
- системну динаміку, яка відображає ринок, доступність природних ресурсів, мережеву конфігурацію та перемикання навантажень;

- стохастичність параметрів системи внаслідок техногенних або природних подій через різні часові масштаби операцій.

Такі показники, як ймовірність втрати навантаження та очікувана енергія, використовуються для визначення кількості енергії, яка може подаватися для різних служб надійності. Складова витрат врівноважує витрати на підвищення надійності та вартість перебоїв у обслуговуванні. Кінцевою метою є досягнення максимальної надійності при усіх можливих випадках. Автономний контроль допоможе досягненню цієї мети.

Стабільність енергосистеми – це здатність основної енергетичної системи протистояти раптовим порушенням, таким як електричне коротке замикання або непередбачувана втрата компонентів системи. На рівні генерації першочерговим фактором є перехідна стабільність, у міру розширення системи значення перехідної стійкості зростає. Загалом оцінки стійкості напруги та кута необхідні для забезпечення динамічної реконструкції у відповідь на несправності та порушення системи. Оскільки запас стійкості неможливо отримати за допомогою числових методів, для стійкості застосовується метод на основі енергії. Зазвичай використовуються традиційні методи для вирішення проблем стабільності, включаючи метод потоку потужності, розкладання особливого значення, число умови Якобія та методи запасання енергії, але всі вони базуються на застарілих дослідженнях. Системи вимірювання WAMS та PMU підготовлені для інтелектуального оточуючого середовища, що дозволить оцінити систему в режимі реального часу при різних навантаженнях та невідомих коефіцієнтах. Дослідження стабільності спрямовані на вирішення наслідків екстрених ситуацій за допомогою розробки нових показників для оцінки стабільності.

Аналіз безпеки енергосистеми виявляє, чи перебуває енергосистема в захищеному стані або в стані тривоги. Захищений стан означає, що задовольняється попит, і жодних порушень межі не відбуватиметься в поточних умовах експлуатації та за наявності непередбачених ситуацій. Стан сповіщення означає, що певні обмеження порушені або необхідний попит не

може бути забезпечений і необхідні коригувальні дії для повернення системи до безпечного стану. Динамічний аналіз оцінює залежний від часу перехід від попереднього стану до захищеного стану. Динамічну безпеку аналізується або шляхом виведення лише динамічних функцій безпеки, або разом із розробкою деяких методів превентивних дій. Традиційно для оцінки безпеки застосовується аналіз непередбачених ситуацій $n-1$, який визначається як здатність системи задовольняти попит. Поєднання обчислювального інтелекту та NP забезпечує покращену оцінку безпеки, яка враховує випадковість або стохастичність даних. Індекс вимірювання безпеки базується на вимірах у реальному часі. Прикладом нових індексів для оцінки продуктивності системи є вразливість, яка може базуватися на втраті індексу навантаження, індексу напруги або індексу потоку потужності.

Розробка концепції Smart Grid, врешті призводить до трансформації звичайної енергосистема до інтелектуальної мережі може сильно вплинути на шлях ретрансляції та захист енергосистем. Це пов'язано з тим фактом, що Smart Grid, як вже було сказано раніше, використовує нові технології, включаючи інформаційні та двонаправлені системи зв'язку, розподілену систему управління, датчики, встановлені в різних місцях на Smart Grid. Для того, щоб скористатися усіма перевагами, які пропонує Smart Grid концепція, існує нагальна необхідність заміни електромеханічних реле, які все ще експлуатуються у багатьох комунальних службах по всьому світу.

Сучасні мікропроцесорні реле, які також відомі як інтелектуальні електронні пристрої, мають кілька можливостей, які підходять для середовища Smart Grid. Це включає їх здатність реєструвати та зберігати форми струму та напруги до, під час і після стану несправності, або коли виникає несправність, змінюючи налаштування, і вони мають можливість комунікації з іншими пристроями. Щоб повністю скористатися такими перевагами та можливостями, ці пристрої повинні бути взаємопов'язані, що, у свою чергу, дає змогу запровадити інші корисні функції.

До епохи Smart Grid філософія захисту базувалася на забезпеченні захисту окремого обладнання на рівні підстанції. Це було досягнуто за допомогою електромагнітних реле, але нещодавно ці реле були замінені у багатьох комунальних службах по всьому світу на IED. Останні можуть постійно контролювати параметри мережі а, отже, визначають за допомогою вбудованого алгоритма, стан системи та обладнання. СВУ також мають можливість запису даних, які вони збирають, які є необхідними для аналізу інцидентів. На рівні сітки синхронні одиниці вимірювання фазорів (PMU), які здатні збирати інформацію кілька разів протягом одного циклу живлення, були представлена для допомоги у розробці детальної картини енергомереж, динаміки планування, контролю та аналізу за замовчуванням. Однак, завдяки обмеженій та застарілій інфраструктурі зв'язку, це було неможливо повністю використовувати.

Ефективність захисних реле систем може бути покращена, коли вони працюють під керівництвом Smart Grid. Це пов'язано з двома факторами. По-перше, інформація, пов'язана зі зміною в конфігурації роботи енергосистеми, яка надається завдяки структурі Smart Grid є надзвичайно корисною і дозволяє трансформувати налаштування реле захисту до динамічного. Це означає, що реле можна запрограмувати на автоматичну зміну, щоб вони відповідали найбільшій кількості конфігураційної роботи енергосистеми. По-друге, система зв'язку, яка є важливою та невід'ємною частиною Smart Grid дозволяє ретрансляторам обмінюватися інформацією із встановленими датчиками на лініях, що, в свою чергу, покращує алгоритми виявлення несправностей.

Хорошим прикладом, який показує розвиток розумного захисту широкомасштабної інформаційної інтеграції є розробка системи адаптивного захисту, присвячена застосуванню мікромереж. Мікромережа – це низьковольтний DN в яку маломасштабні можуть бути інтегровані невеликі джерела альтернативної енергії, такі як сонячні, вітрові, гідроенергетичні та накопичувальні системи. Мікросітка може бути визначена як інтегрована енергетична система, що складається з взаємопов'язаних систем, які можуть

працювати паралельно з мережею. Велика кількість сценаріїв при яких micogrid може експлуатуватися завдяки підключенню та відключенню мікроджерел, а його робота в підключених до мережі та/або ізольованих режимах створює величезні вимоги для систем захисту з точки зору їх вибірковості та чутливості. Це трапляється з наступних причин:

- ізоляція мікросітки, від основної мережі, через стан несправності, на магістральній мережі може призвести до значного падіння значення рівня короткого замикання доступного захисним пристроям, встановленим у мікромережі. Коли це трапиться, це сильно погіршить чутливість цих захисних пристроїв;

- зміни в стані підключення мікроджерел, очевидно, вплинуть на струм, на його величину та напрямок по всій мережі. Це в свою чергу вплине на чутливість та вибірковість захисних пристроїв у мікромережі. Очевидно, що описана вище динамічна робота мікромереж вимагає динамічний та обдуманий підхід до налаштувань захисних пристроїв роблячи їх налаштування адаптованими до робочих змін мікромережі.

Інтеграція Smart Grid у розподілені мережі

За останні роки трапилося кілька подій, які безпосередньо вплинули на функціонування розподільчих мереж. Це, в свою чергу, призводить до того, що необхідна концепція Smart Grid. До таких розробок належать:

- лібералізація ринку електроенергії;
- тенденції інтеграції розподілених енергетичних ресурсів, у тому числі відновлюваних джерел енергії в розподільчі мережі, що призвело до перетворення цих мереж, які є пасивними, в активні. Це, в свою чергу, має призвести до принципового зміщення управління розподільчою мережею з пасивного на активне;

- розробка інтелектуальних побутових приладів.

Ці розробки принципово змінили функціональність розподільчих мереж. Встановлено, що функціональність майбутньої мережі повинна забезпечувати контроль і функціонування на наступних рівнях:

- рівні розподільчої мережі. Цей рівень передбачає оснащення мережі з більш автоматизованими мережами розподілу МВ із можливостями самовідновлення, моніторингу та контролю мереж. Крім того необхідно забезпечити підтримку мережі інформаційно-комунікаційними технологіями (ІКТ);
- рівні інтеграції. Цей рівень стосується ефективної інтеграції розподілених енергетичних ресурсів, включаючи відновлювані джерела енергії та електромобілі;
- рівні енергоменеджменту. Цей рівень стосується управління кінцевою енергоефективністю, агрегацією та роздрібною торгівлею;
- рівні споживачів. Розподільча мережа повинна мати можливість працювати зі споживачів, які брали б активну участь у функціонування розподільчої мережі.

3.2 Інтеграція альтернативних джерел енергії до електромереж України

Як вже було сказано у попередніх розділах, використання альтернативних джерел енергії є нагальною потребою сучасного суспільства. Підвищення рівня використання альтернативних джерел енергії є ключовою складовою національної енергетичної політики. Наразі більше 150 країн вже використовують такі джерела енергії, також, багато країн, або їх об'єднань, як наприклад, Європейський Союз встановили собі цілі для досягнення в області «зеленої енергетики». Сьогодні відсоток відновлюваних джерел енергії у загальному споживанні електроенергії становить 38%, в майбутньому планується збільшити долю поновлюваних джерел енергії до діапазону у 50%-70%. У Багатьох маленьких країнах відсоток використання альтернативних джерел енергії перевищує 50%.

Технології генерації «зеленої енергії» можна згрупувати за такими джерелами енергії, як гідроенергетика (ETSAP E06, E18), геотермальна енергетика (ETSAP E07) та енергія, яка отримується через біомаси (ETSAP

P09, P11, E05, E21), а також поновлювані джерела енергії, які називаються «змінними» або «періодичними» альтернативні джерела енергії, такі як вітроенергетика (ETSAP E09), сонячна фотоенергетика (ETSAP E10), концентрація сонячної енергії (ETSAP E11) та енергія, отримана завдяки хвилям (ETSAP 08).

Керуємість джерела виробництва електроенергії стосується його здатності контролюватися у відповідь на зміну системних вимог, наприклад на зміну попиту, через запит оператора електромережі. Загалом, відновлювані джерела енергії майже завжди доступні (крім того часу, коли вони знаходяться у технічному обслуговуванні) для виробництва та пропонують високу потужність, мається на увазі, що вона є близькою до тої, що отримуються з викопного палива або ядерної енергії, хоча і з певними обмеженнями. На відміну від них, виробництво електроенергії багатьох альтернативних джерел залежить від метеорологічних умов. Як наслідок, коефіцієнти пропускну здатності можуть змінюватися, і, через це, оператори мережі не можуть повністю планувати виробництво електроенергії з цих джерел. Таким чином лише частина встановленої потужності може розглядатися як статистично гарантована та відповідає сумі резервної ємності необхідній в електромережах зі значною часткою непостійних альтернативних джерел енергії.

Зазвичай невеликі розміри та потужність змінних технологій генерації альтернативної енергії особливо підходять для розподілених систем виробництва електроенергії, які включають у себе багато малих електростанцій підключених до розподільчої мережі і виробляють електроенергію, близько до споживача. Це може зменшити потребу централізованого управління, виробництва високовольтних ліній електропередачі, а також витрати на передачу та розподіл такої енергії. Однак, для таких систем, необхідне відповідне обладнання та правильний контроль електроенергії, тобто необхідно встановлювати генерувальні установки та лінії передачі або розподілу для забезпечення надійної роботи. Таким чином

буде можливо постачання електроенергії за запитом за необхідної частоти та напруги, а також балансування потужності.

Інтеграція відновлюваних джерел енергії в Smart Grid вимагає значної трансформації існуючих мереж з метою:

- забезпечення двоспрямованого потоку енергії, мається на увазі напрямок зверху вниз та знизу вгору, спрямований на забезпечення стабільності мережі при встановленні розподіленої генерації;

- створення ефективних механізмів попиту на електроенергію та управління мережею спрямовані на зменшення пікових навантажень, поліпшення гнучкості мережі, швидкості реагування та безпеки постачання для боротьби з великою непередбачуваністю системи;

- покращення взаємозв'язку мереж на регіональному, національному та міжнародному рівнях, для покращення можливостей балансування мереж, надійності та стабільності;

- запровадження технологій та процедур для забезпечення належної стабільності та контролю роботи мережі (наприклад, частоти, напруги, балансу потужності) за наявності значної частки непостійних відновлюваних джерел енергії;

- запровадження системи накопичення енергії для зберігання електроенергії зі змінних альтернативних джерел, коли енергопостачання перевищує попит і спрямоване на збільшення системи гнучкості та безпеку постачання.

3.2.1 Кодекси мережі

Кодекси мережі – це інструкції, що описують технічні та експлуатаційні характеристичні вимоги електростанцій. Ці коди є вказівками, дотримуватися яких повинен будь-який користувач, встановлюючи нові електростанції або роблячи будь-які зміни в існуючих електростанціях, підключенні різних компонентів енергосистеми до електромережі. Оскільки ці інструкції

стосуються різноманітних компонентів, які мають бути розглянуті з кодексами мережі, їх класифікують як різні компоненти, це продемонстровано на рисунку 3.2.

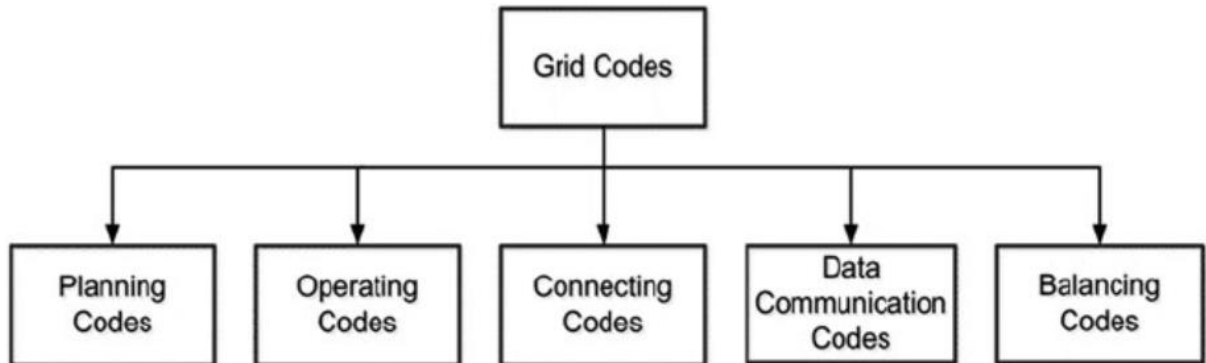


Рисунок 3.2 – Кодекси мережі

Ця класифікація спрощує розуміння та вимоги щодо впровадження та розробки нових мережевих кодексів та допомагає зрозуміти, як саме потрібно розпланувати інтеграцію компонентів. Серед різних компонентів коди планування стосуються розмірів, планування та розробки електростанції та іншого обладнання, що є, необхідний для зв'язку між користувачем, виробничою установкою та системою передачі. Кодекс підключення виставляє вимоги до з'єднання та умови, які вимагають зберігати підключення до мережі, які не можуть бути порушені. Експлуатаційні вимоги різного обладнання в енергосистемах враховуються робочими нормами. Кодекси передачі даних встановлюють вимоги щодо зберігання даних, обсягу зберігання даних та об'єм, який слід зберегти. Кодекси балансування обговорюють кроки керуючих структур для підтримання балансу потужності між навантаженням та генерацією.

Далі розглянемо основні з цих кодексів.

3.2.1.1 Кодекси планування

Кодекси планування є дуже важливою складовою мережевих кодів. Ці кодекси застосовуються на етапах планування або модифікації електростанцій. Це може включати станцію або ділянку підключення, лінії електропередачі або інші об'єкти, що з'єднують ділянку підключення до основної мережі передачі. Тут встановлюються технічні специфікації та процедури планування системи. На початкових етапах проекту оператор передачі перевіряє дотримання цього кодексу користувачем. Він може прийняти або відхилити проект, залежно від виконання критеріїв кодексу мережі. У більшості випадків кодекси вказуються або відповідно до встановленого стандарту, або у формі угоди між органами влади. Відповідно до кодексу сітки можна вказати деталі (які зазвичай вимагаються органами влади на початкових етапах), такі як:

- опис установки або обладнання, що встановлюється або модифікується;
- стандартні планові дані;
- бажана дата завершення пропонованої розробки;
- потужність введення з'єднання та вхідна потужність передачі.

На початкових етапах вся інформація існує в формах даних. Використовуючи це, відбувається взаємодія між операторами передачі та електростанцією. Однак для чіткого розуміння та однорідності дані мають бути у передбачуваному форматі, для кодексу. Тільки тоді може бути укладена двостороння угода між генераторною установкою та оператором. Пропозиція подається на відведений період часу, який може змінюватися відповідно до ліцензійного стандарту (залежить від країни). Час розробки може варіюватися в залежності від величини, складності, характеру та розташування проекту системи передачі. Метою таких кодексів можуть бути:

- сприяння взаємодії між різними структурами, які беруть участь у системі передачі, для обговорення пропозицій, що безпосередньо чи опосередковано впливають на ефективність системи передачі;
- збір інформації для планування та розробки відповідно до стандартів та існуючих об'єктів;
- підвищення обізнаність про стандарти ліцензування при плануванні та розробці.

3.2.1.2 Кодекси підключення

Завершення роботи обладнання згідно з кодексами планування не забезпечує його придатності для підключення до електромережі. Для підключення до електромережі важливо отримати дозвіл відповідно до кодексу підключення. Ці кодекси визначають мінімальні технічні, конструктивні та експлуатаційні вимоги до обладнання для дотримання та підключення для початку роботи. Ці вимоги повинні бути складені та перевірені оператором передачі під наглядом системного оператора. Завдання кодексу підключення – забезпечити відповідність специфікацій системи її законодавчим зобов'язанням та зобов'язанням щодо ліцензії на передачу. Ці кодекси застосовуються до генераторів або електростанцій, мережевих операторів, різних перетворювальних станцій (виконуючи роль інтерфейсу між системами генерації та передачі) та іншими зовнішніми операторами. Для перевірки відповідності їх підключення до електромережі перевіряються певні параметри, щоб забезпечити правильну роботу системи передачі. Умови, встановлені перед тим, як дозволити підключення до електромережі, визначаються відповідно до стандартів або двосторонньої угоди. Тільки тим користувачам або електростанціям дозволяється підключатися до мережі, які відповідають цим нормам, враховуючи наступні умови:

- різні компоненти, підключені до сітки, парцюють синхронно, тобто мають однакову частоту. Будь-які коливання частоти призведуть до втрати

цього зв'язку та відокремлення різних компонентів. Таким чином, надзвичайно важливо підтримувати частоту в межах встановлених вимог. Полоси частоти, описані в кодах сітки, можуть змінюватися залежно від регіону, наприклад, для смуги передачі 50 Гц діапазон роботи становить 49,5–50,5 Гц, що може дозволяє розширення від 52 до 47 Гц, за виняткових обставин. Цей широкий діапазон за виняткових обставин додатково поділяється на менші смуги;

- для ефективної роботи електричного обладнання важливо підтримувати рівні напруги. Допустимі рівні напруги можуть змінюються відповідно до вимог. Однак допустиме коливання напруги змінюється залежно від рівня напруги. На більш високих рівнях напруги напруга не може змінюватися так, як на нижчих рівнях. Наприклад, при більш високих напругах, скажімо, 330 кВ, допускається варіація $\pm 5\%$, якщо не переважають ненормальні умови. При ненормальних умовах допустима зміна напруги $\pm 10\%$, але зміна напруги від ± 5 до $\pm 10\%$ допустима лише протягом 15 хв. Для нижчих напруг, таких як 220 і 110 кВ на місці з'єднання, допускається відхилення $\pm 10\%$ від номінального значення, за відсутності аномальних умови. В умовах несправності напруга може тимчасово падати до нуля в точці несправності, поки несправність не буде усунена;

- більшість компонентів, що знаходяться в енергосистемі, мають нелінійний характер. Однак обладнання, особливо лічильники та захисні пристрої, призначений для їх використання з лінійним обладнанням. Генератори, обладнання електростанції та навантаження, підключені до системи передачі, можуть працювати помилково під впливом спотворення форми сигналу. Таким чином, є критично важливим встановлення обмежень на спотворення форми хвилі в місці з'єднання.

3.2.1.3 Мережеві кодекси для інтеграції та експлуатації відновлюваних джерел енергії

Робота вітрогенераторів, відповідно до мережевих кодексів, є головною задачею для власника підприємства по генерації енергії. Таким чином, аналіз технічних вимог до вітрогенераторів, в силу їх відмінних від синхронних генераторів фізичних характеристик, стає суттєвим, основні проблеми систем вітроенергетики можна описати таким чином:

- пропускну здатність низької напруги;
- регулювання реактивної потужності;
- якість електроенергії.

Для будь-якої комунальної служби основне завдання – підключення систем видобутку енергії до лінії електропередачі. Технологія вітру чутлива до змін напруги та рівнів потужності системи передачі, що може призвести до зупинки установки. Це раптове відключення є суттєвою проблемою для надійності системи, поряд з вітрогенераторами, підключеними до трансмісійної системи, оскільки кожен постачальник передач розробляє власну вимогу прохідності низької напруги, що впливає на конструкцію та експлуатаційні витрати вітрогенераторів. Як результат, і вітрогенератори, і більшість органів передачі даних прописують обмеження низької напруги з часом або іншими словами, характеристики, які повинні мати вітроелектростанції для підключення до системи передачі. Вітрогенератори, що демонструють ці характеристики, можуть підключатися до ліній електропередач.

3.2.2 Інтеграція систем генерації сонячної енергії

Значні дослідження зосереджені на вдосконаленні стратегій управління сонячною системою для забезпечення ефективного та безперебійного живлення споживача. Пояснюється стратегії управління, яка здатна впоратися

з динамічною, нелінійністю сонячної радіації. Повна блок-схема технології виробництва енергії на сонячній батареї проілюстрована на рисунку 3.3.

Перетворювач та інвертор відіграють важливу роль у контролі всієї системи. Перетворювач DC/DC струму є основним компонентом в електричній системі сонячного перетворення. Контролер з боку сітки керує інверторною системою. Методи контролю, що використовуються на системі перетворення енергії – це MPPT, мережа та якості.

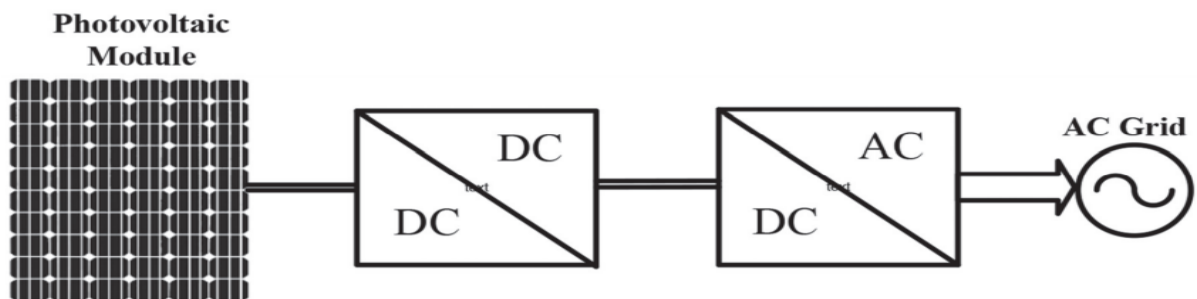


Рисунок 3.3 – Схема виробництва енергії на сонячній батареї

MPPT є найважливішою частиною сонячної системи для покращення загального збору енергії. Багато досліджень з відстеження оптимальної потужності, отримані з інтенсивності сонця, проводилися в останні роки. Дослідники впроваджують декілька стратегій управління MPPT і розробляють на основі таких параметрів, як складність, час конвергенції, вартість і стабільність системи. Алгоритм MPPT призначений для відстеження максимальної напруги.

Базові MPPT також, базуються на принципі локального пошуку. Вони широко використовуються для його простота та економічний характер. Основна ідея локального пошуку полягає в регулюванні робочого циклу перетворювача для забезпечення відповідної вихідної потужності на основі доступного входу). Цей метод визначає різницю напруг між PV панеллю і вихідом постійного струму перетворювача і налаштовує робочий цикл вимикача для отримання максимальної потужності. Отримана потужність робочого циклу відстежується і

порівнюють з потужність попереднього кроку. Різниця в потужності визначає збільшення та зменшення робочого циклу на основі потреби системи. Зміни напруги та струму вимірюється миттєво через регулярний проміжок часу. Якщо виміряна потужність позитивна, робочий цикл збільшується. Якщо отримане потужність менше попередньої, робочий цикл зменшується. Це алгоритм повторюється, поки система не досягне максимальної точки напруги. Основний недолік системи – це швидкість збіжності. Цей метод в основному використовується для малого масштабу.

Методи МРРТ на основі нечіткої логіки та нейронної мережі реалізовані для отримання точного результату під час швидких змін в атмосфері. Швидкість збіжності на основі такого методу МРРТ набагато кращий за базовий контролер МРРТ. Коливання на МРР зменшуються, щоб забезпечити кращі стабільність сонячної фотоелектричної системи.

Концепція нечіткої логіки використовує функцію приналежності для своєї роботи замість математичної моделі. Стратегії управління такою системою складаються з трьох етапів: фазифікації, системи висновків та дефазифікації, як показано на рисунку 3.3. Вхідні змінні перетворюються на лінгвістичні змінні в процесі фазифікації. Лінгвістична змінна перетворюється до числової змінної, якою вона була на початку, під час процесу дефазифікації. Зазвичай система генерації сонячної енергії має два входи і один вихід. Вибір вхідної та вихідної змінної базується на власному виборі користувача. Як правило, помилка в потужності, що отримується, і зміна в помилці використовуються як вхідні змінні, а робочий цикл вибирається як вихідна змінна для управління МРРТ.

3.3 Інтеграція розумних лічильників

Розумні лічильники – це електронні вимірювальні прилади, що використовуються комунальними службами для передачі інформації для виставлення рахунків споживачів та експлуатації їх електричних систем. Вони

дозволяють автоматично виконувати збір даних, да збирати більш детальну інформацію, а саме: частоту, максимальну споживану потужність, відхилення значення напруги від номінального, тощо. Вигляд такого лічильника показано на рисунку 3.4.

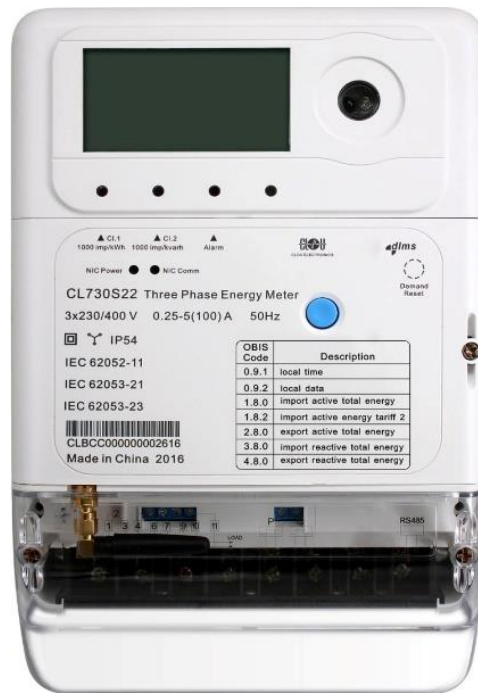


Рисунок 3.4 – Розумний лічильник

Більше п'ятнадцяти років використовуються електронні лічильники ефективно надають комунальним службам точні рахунки для принаймні частини своєї клієнтської бази. Спочатку використання цієї технології застосовувалось для комерційних та промислових споживачів через необхідність більш чітких даних та більш детальні вимоги до рахунків. Наразі використання розумних електронних лічильників може бути примінено на звичайних споживачах комунальних послуг і з часом поступово розширюється до всіх класів споживачів. Ця міграція стала можливою завдяки зменшенню вартості технології та вдосконаленим вимогам до виставлення рахунків для всіх класів клієнтів.

Впровадження системи розумних лічильників починається з вибору технології та планування встановлення, експлуатації та обслуговування. Утиліти інтегрували в процес розгортання багато елементів управління, контролю та дотримання для підтримки успішної реалізації проекту.

Одним з найважливіших процесів успішного розгортання систем Smart Meter є логістика та процес планування. Матеріали складають 80% проектного капіталу, і управління процесами є критичною точкою успіху.

Належне управління та контроль логістичної діяльності зменшує витрати на проект. Загальний процес має кілька методів передачі обладнання та даних, це може бути основним джерелом помилок при доставці товару, встановленні розумних лічильників у мережу, налаштування системи та виставлення рахунків клієнтам. Крім того, у процесі беруть участь кілька суб'єктів, включаючи закупівлі, польові установки, облік, матеріали, операції з клієнтами та обслуговування споживачів. Це критично важливо, щоб ці групи працювали разом за допомогою детальних, запланованих взаємодій і щоб процеси були виконані без зайвих труднощів.

Планування встановлення розумних лічильників настільки ж важливе, як і власне встановлення. Якщо все зробити правильно, сама установка може пройти з мінімумом помилок та затримок. Замовник повідомляється про встановлення, якщо він згоден встановлення починається. Перший етап монтажу включає оцінку доступу до місця розташування лічильника та безпеки існуючого обладнання.

Зазвичай база лічильника становить прикріплений до поверхні зовнішньої стіни, де службовий вхід кріпиться до будинку. Мережевий розгалужувач використовуються для об'єднання декількох лічильників до кількох місць для багатоквартирних житлових будинків. Як правило, ці розетки знаходяться у спеціально відведених приміщеннях, на зовнішній стіні квартири будинків, або в підвалі багатоповерхових багатоквартирних будинків. Після встановлення Smart Meter він, як правило, готовий до роботи і автоматично реєструється в мережевій системі.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання атестаційної роботи була проаналізована концепція Smart Grid, розглянуті її основні переваги та недоліки, також було досліджено досвід впровадження і експлуатації систем і елементів Smart Grid у країнах із технологічно розвиненими енергосистемами. Було доведено, що застосування концепції Smart Grid надає можливості керування електричною мережею автоматично, зменшуючі ризик похибки та покращуючі надійність системи. У роботі розглянуті питання, щодо внесення необхідних змін в енергосистему України для запровадження Smart Grid. Показано, що реалізація цієї концепції може покращити стан багатьох галузей у країні, таких як екологія, економіка, тощо.

У роботі наведено поетапне розв'язання питань інтеграції елементів концепції Smart Grid до існуючої енергосистеми, а саме: безпека і захист даних; вимоги до обслуговуючого персоналу; комунікацію, вимірювання і обробку даних; стабільність роботи Smart Grid.

Під час виконання атестаційної роботи було наведено опис технологій реалізації елементів Smart Grid на прикладах інтеграції альтернативних джерел енергії, а також інтелектуальних приладів обліку електричної енергії до існуючих електромерж України. Доведено, що за рахунок такої інтеграції можливе значне покращення експлуатаційних показників електромережі і якісних показників електричної енергії, як для енергогенеруючих і енергорозподільчих компаній, так і для кінцевих споживачів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бабу Р. Smart Grid systems: modeling and control. [Текст] / Рамеш Бабу – Apple Academic Press. – 2018. – 310 с.
2. Бовчалюк С. Я. Концепція побудови автомата паралельної дії із нечіткою логікою для формування інтелектуального ядра SMART GRID [Текст] / С. Я. Бовчалюк, С. О. Тимчук, І. О. Фурман // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2017. – № 1(6). – С. 76–79.
3. Бовчалюк С. Я. Перспективи побудови інтелектуальних мереж SMART GRID бази ПЛІС-технологій [Текст] / С. Я. Бовчалюк, С. О. Тимчук, І. О. Фурман, О. М. Піскар'юв // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – №5 (134). – С. 80–85.
4. Дьомін Д. В. Методи інтеграції в Smart Grid [Текст] / Д. В. Дьомін, С. Я. Бовчалюк // ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ. Тези доповідей восьмої науково-технічної конференції 26-27 листопада 2020 року, Том 2: секція 4. – 2020. – С. 58.
5. Електроенергетика України. Wikipedia [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Електроенергетика_України.
6. Зияд Саламех “Renewable Energy System Design” [Текст] / Зияд Саламех – Academic Press, 2014, 400 с.
7. Іневский К. Smart Grid infrastructure & networking [Текст] / Кшиштов Іневский – McGraw-Hill Education. – 2012. – 368 с.
8. Мишра Р. К. Advanced Renewable Energy Sources [Текст] / Раджив Кумар Мишра – Royal Society of Chemistry. – 2012. 568 с.
9. Сиаошанси Ф. Smart Grid: integrating renewable, distributed and efficient energy [Текст] / Ферейдун Сиаошанси. – Academic Press. – 2012. – 510 с.
10. Стогній Б. С. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні. [Текст] Стогній Б. С., Кириленко О. В. Праховник А. Д., Денисюк С. П // Техн. Електродинаміка. – 2012. - №5. – С. 52-67.

11. Bent S. Renewable Energy. [Текст] / Bent Sorensen – Academic Press. – 2017. – 301 p.
12. Borlase S. Smart Grids Advanced Technologies and Solutions [Текст] / Stuart Borlase – CRC Press. – 2017. – 147 p.
13. Bovchaliuk S. The Architecture of Fuzzy Logic Automat of Parallel Action for the Intelligent Smart Grid Networks [Текст] / S. Bovchaliuk, S.Tymchuk, S. Shendryk, V.Shendryk // New Technologies, Development and Application III. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 128. Springer, 2020. – P. 462–468.
14. Bucholz B. M. Smart Grids [Текст] / Bernd M. Bucholz, Zbigniew Styczynski – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks. Springer, Heidelberg. – 2014. – 396 p.
15. Bush S. F. Smart Grid: Communication-Enabled Intelligence for the Electric Power Grid [Текст] / Stephen F. Bush – Wiley-Ieee Press – 2014. – 576 p.
16. Kabalci E. From Smart Grid to Internet of Energy. [Текст] / Ersan Kabalci, Yasin Kabalci – Academic Press. –2011. 364 p.
17. Momoh J. A. Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis [Текст] / Jamaes A. Momoh – Academic Press. – 2012. – 232 p.
18. Salman K. Introductation to the Smart Grid [Текст] / K Salman – The Institution of Engineering and Technology. – 2017. – 271 p.
19. Smart Meters and Smart Meter Systems: A Metering Industry Perspective [Текст] – Edison Electric Institute. – 2011. – 35 p.
20. Shawkat Ali A.B.M.. Smart Grids: Opportunities, Developments, and Trends (Green Energy and Technology). [Текст] /A.B.M. Shawkat Ali // Springer. – 2013. – 238 p.
21. Thomas. M. S. Power System SCADA and Smart Grids” [Текст] / Mini S. Thomas, John Douglas McDonald – CRC Press. – 2015. – 352 p.