

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

«АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА
ЕЛЕКТРИЧНУ МЕРЕЖУ»

Виконав: студент 6 курсу

групи Ен-61 спеціальності

141 „Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка”

(шифр і назва спеціальності)

Копоть В. М.

Керівник: _____ Коробка С. В.

Рецензент: _____

ДУБЛЯНИ 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

" ___ " _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Копотю Василю Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: "Аналіз впливу відновлювальних джерел енергії на електричну мережу"

керівник роботи: к.т.н., доцент Коробка С. В.

(наук. ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП 616/к-с 12.09.2024

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 27.12.2024 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

4.1. Аналіз впливу відновлювальних джерел енергії на електричну мережу.

4.2. Обґрунтування енергоефективності використання електростанцій на основі відновлювальних джерел енергії в електричній мережі.

4.3. Розробка схем енергоефективності використання електростанцій на основі відновлювальних джерел енергії в електричній мережі.

4.4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

4.5. Обґрунтування економічної ефективності використання електростанцій на основі відновлювальних джерел енергії в електричній мережі.

Висновки і пропозиції

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових кресл.
Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І. М. к.т.н., доцент</i>			

7. Дата видачі завдання: 04.06.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз впливу відновлювальних джерел енергії на електричну мережу</i>	04.06.2024 – 02.09.2024	
2	<i>Обґрунтування енергоефективності використання електростанцій на основі відновлювальних джерел енергії в електричній мережі</i>	03.09.2024 – 27.09.2024	
3	<i>Розробка схем енергоефективності використання електростанцій на основі відновлювальних джерел енергії в електричній мережі</i>	30.09.2024 – 23.10.2024	
4	<i>Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях</i>	24.10.2024 – 31.10.2024	
5	<i>Обґрунтування економічної ефективності використання електростанцій на основі відновлювальних джерел енергії в електричній мережі</i>	01.11.2024 – 11.11.2024	
6	<i>Завершення оформлення ілюстративної частини роботи</i>	12.11.24 – 22.11.24	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	02.12.24 – 30.12.24	

Студент _____ Копоть В. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Коробка С. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 631.3.45.9

Копоть В. М. «Аналіз впливу відновлювальних джерел енергії на електричну мережу». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 54 с. текстової частини, 10 таблиць, 22 рисунків, 25 джерел посилання.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності функціонування електричних мереж на основі відновлюваних джерел енергії шляхом застосування енергетичних установок, адаптованих до умов західного регіону України.

Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати наступні **завдання**: дослідити вплив відновлюваних джерел енергії на електричну мережу до умов західного регіону України; обґрунтувати енергоефективність використання електростанцій, що працюють на основі відновлюваних джерел енергії, у складі електричної мережі до умов західного регіону України; розробити енергоефективні схеми використання електричних мережах на основі відновлюваних джерел енергії шляхом застосування енергетичних установок, адаптованих до умов західного регіону України; обґрунтувати економічну доцільність використання електростанцій на базі відновлюваних джерел енергії в електричних мережах до умов західного регіону України.

Дослідження спрямоване на підвищення ефективності роботи електричних мереж на основі відновлюваних джерел енергії через використання енергетичних установок, пристосованих до умов західного регіону України. У дослідженні використовувалися різні теоретичні методи наукового аналізу, такі як конкретизація, порівняння та узагальнення, для обґрунтування доцільності підвищення ефективності електромереж через впровадження енергетичних установок, адаптованих до умов даного регіону.

Ключові слова: схеми автономної гібридної електростанції, регулювання напруги, відновлювані джерела енергії, функціонування енергетичної мережі.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВДЕ НА ЯКІСТЬ ПОДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ	8
1.1 Аналіз інтеграції відновлюваних джерел енергії передачі електроенергії в мережу.....	8
1.2 Аналіз впливу відновлюваних джерел енергії на електросистему та їх експлуатацію.....	10
1.3 Обґрунтування актуальності теми роботи.....	12
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ОСНОВІ ВДЕ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ.....	13
2.1 Обґрунтування впливу відновлюваних джерел енергії на існування та функціонування розподільної мережі.....	13
2.2 Умови підключення відновлюваних джерел енергії на існування та функціонування розподільної мережі.....	17
2.3 Вплив відновлюваних джерел енергії на якість електроенергії та стабільність роботи електричних розподільних мереж.....	19
2.4 Вплив відновлюваних джерел енергії на доступність і надійність роботи електричних розподільних мереж.....	22
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВДЕ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНУ СИСТЕМУ ПІД ЧАС ЇЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	32
3.1 Обґрунтування впливу ВДЕ на функціонування електроенергетичної системи під час її експлуатації.....	32
РОЗДІЛ 4 РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	47
4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля.....	47
4.2 Протипожежна безпека і грозозахист.....	48
РОЗДІЛ 5. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ОСНОВІ ВДЕ В	

ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ.....	49
5.1 Оцінка економічної ефективності використання електростанцій на основі відновлювальних джерел енергії в електричній мережі	49
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	51
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ.....	52

ВСТУП

В останні роки спостерігається зростання ринку електроенергії відновлювані джерела енергії (ВДЕ) в енергосистемах принесли нові виклики у плануванні енергосистеми та експлуатації енергосистеми зіткнеться багато змінних, оскільки відновлювана енергетика продовжує зростати, тому необхідно належним чином досліджувати та аналізувати вплив комплексної відновлюваних джерел енергії в енергосистемі. У цій роботі ми будемо вивчати вплив відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) на роботу енергосистеми та включення в енергосистему NORDIC 32-Bus, в т.ч вітрові турбіни (WT) і фотоелектричні (PV) ферми, які враховують зміну споживання та генерації протягом дня. Оскільки напруга деяких систем виходить за межі допустимої межі, а також відсоток втрат в системі високий. Методика роботи буде по розподілі відновлюваних джерел енергії в регіонах з високим і низьким споживанням генерації, для поліпшення рівня напруги в межах допустимого, під час моделювання енергетичної системи Nordic32.

Однак масове підключення цих останніх систем до електромережі створює технічні проблеми через переривчастий характер цих ресурсів. У цій роботі представлено методологію виявлення та подолання цих проблем. Детальний аналіз мережі виконується для моделювання впливу відновлюваних джерел енергії на енергосистему та відповідних пропозицій методи пом'якшення. Були проведені різні тематичні дослідження з урахуванням фактично встановлених та запланованих відновлюваних ферм, включаючи концентровану сонячну енергію (CSP), фотоелектричну енергію (PV), а також вітрові установки з індукційними генераторами з подвійним живленням (DFIG). Використовується інструмент симуляції програмного забезпечення для проведення аналізу потоку електроенергії на лініях мережі, шинах і трансформаторах, а також використовується напруги та стабільність електричної мережі. Крім того, проводиться аналіз непередбачених обставин N-1 виявити їх вплив на надійність і безпеку постачання для посилення передачі електроенергії в мережі.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ЯКІСТЬ ПОДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

1.1 Аналіз інтеграції відновлюваних джерел енергії передачі електроенергії в мережу

Використання екологічно чистих джерел енергії забезпечення енергетичної безпеки, а також економічного та соціального розвитку населення стає неминучим. Відновлювана енергія відіграє важливу роль у поточному енергетичному переході. Щоб передбачити еволюцію електричної мережі, проводяться дослідження для забезпечення стабільності в мережі проти екстремальних перешкод. Висновки допомагають вирішити, чи подальше підсилення системи живлення проводити не слід. Статичний і динамічний аналіз є важливим для дослідження стабільності та надійності енергосистем і визначити потенційну інтеграцію розподілена генерація в електричну мережу.

Розрахунок перетоків електроенергії на мережевих лініях електропередачі, а також ідентифікація профілів напруги системних шин і трансформаторів виконуються в стаціонарному аналізі. Це дослідження необхідно для планування та проектування інтеграції розподіленої генерації в мережі. Крім того, аналіз непередбачених обставин N-1 повинні проводитися з метою забезпечення надійності та безпеки живлення системи. Статичні дослідження включають розрахунки короткого замикання визначити потенційну потужність розподіленої генерації, яка може бути інтегрована в енергетичну систему. Було опубліковано кілька робіт, пов'язаних зі стабільністю енергосистеми. з інтеграцією відновлюваних джерел енергії.

Управління та динамічне моделювання DFIG на основі вітрової турбіни в умовах збалансованої енергосистеми.

Географічний розподіл і профілі споживання з точки зору максимальної, середньої та мінімальної потужності повинні бути досліджено. Зростання населення та індустріалізація є двома важливими фактори, які необхідно

враховувати в дослідженнях прогнозу навантаження. Ці два параметри особливо змінилися протягом останніх десятиліть випадок мережі 0,38 кВ. Власне кажучи, беручи перевага його політичної стабільності, а також його стратегічного географічного розташування України вже кілька років переживає важливу позицію промисловий розвиток і постійне зростання населення. Як наслідок, попит на електроенергію зростає, а швидкість зростання навантаження близько 6,5% на рік, поточна передача мережа не зможе задовольнити зростаючий попит на енергію.

Основний постачальник електроенергії в Україні ПРАТ «ДЕТЕК», здійснює великі проекти зміцнення електричної мережі по всій країні з метою досягнення високого якісне електропостачання. Щоб забезпечити належне функціонування будь-якої електромережі, необхідно підтримувати баланс між споживанням і виробництвом. Таким чином, у частині виробництва Україна планує додати нові промислових електростанцій у 2019 та 2020 роках для посилення своєї мережі. Крім того, в рамках своєї політики, спрямованої на скорочення рівень забруднення та його залежність від викопного палива, ONEE проводить будівництво електростанцій на основі відновлюваної енергії. Це може призвести до розвитку великомасштабних сонячних теплових електростанцій та вітрових електростанцій, які запрацюють до 2020 року, особливо на півдні регіон, де енергетичний потенціал величезний.

Аналіз мережі передачі робота з широкомасштабною інтеграцією відновлюваної енергії. Це зроблено шляхом моделювання розрахунків потоку електроенергії та аналізу лізис для різних сценаріїв. Знаючи, що масова інтеграція повторного нових джерел енергії в мережу створює нові виклики для системи операторів, в основному через їх дуже переривчасту та змінну генерацію. На додаток до їх складного прогнозування, особливо швидкість вітру. Крім того, високий потенціал відновлюваної енергії географічно зосереджена в регіонах з низьким електричним утримання.

У роботі обговорюються важливі заходи, які необхідно вжити розглянуті для подолання виникаючих проблем. Аналіз в характеристики надійності,

потужності та меж електричної мережі виконано за допомогою моделювання в стаціонарному стані за допомогою програмного забезпечення PSS/E (версія 33) (Siemens Power Technologies International). Крім того, робота містить інноваційні ідеї та рішення для вирішення основні проблеми, пов'язані з інтеграцією відновлюваної енергетики в мережа передачі.

1.2 Аналіз впливу відновлюваних джерел енергії на електросистему та їх експлуатацію

В епоху цивілізованих технологій, розвитку та індустріалізації, швидке та зростаюче зростання електричної енергії насичується викопним паливом [1], які є дорогими, які швидко виснажуються та забруднюють середовище (атмосфера). Зменшення викидів вуглекислого газу та підвищення ефективності відновлюваних технологій є однією з причин їх включення в електроенергетичні системи [2]. Це призводить до переходу до чисті, дешеві та безвуглецеві відновлювані джерела енергії [3], які також були розділені в контрольовані відновлювані джерела енергії (гідро, геотермальна, біомаса) і варіант відновлювані джерела енергії (ВДЕ), представлені (вітрогенераторами та фотоелектричні).

Змінні відновлювані джерела енергії (VRES) демонструють зростання постачання електроенергії за останнє десятиліття, особливо Європа, США та Китай. Останнім часом Китай став світом лідер у виробництві відновлюваних джерел енергії, оскільки він перевершив США, а також Європу і прагне споживати 35% електроенергії до 2030 року [4].

Однак ВДЕ є напів змінними через свою залежність на клімат і місце розташування. Це приносить невизначеність, яка спричиняє нестабільність системи і може призвести до послідовних невдач [5]. Спочатку в енергетичних системах гнучкість визначається, як здатність генераторів системи реагувати на раптові зміни у навантаженні або компонентах системи [6, 7]. Як пояснив International Energy Агентство (IEA) вважає, що енергетична система є гнучкою, якщо вона в межах економічних обмежень може швидко реагувати на великі коливання у виробництві та споживанні, призводить до нижчої генерації, коли

споживання знижується, коли збільшується для планових і неочікуваних аварій [6]. Відбулися фундаментальні зміни в системах електроенергетики в умов моделювання, планування та експлуатації через мінливість відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [8, 9]. За останні роки проблеми стохастичної системи живлення були широко вивчені, в тому числі ймовірнісна потужність потоку та стабільності мало ймовірнісного сигналу [9, 10].

Надійна робота електроенергетичних систем з високими відновлюваними джерелами енергії (вітрові турбіни та фотоелектричні) вимагає гнучкості системи [11]. Завдяки дослідженням було показано, що стабільність може бути значний вплив високого рівня проникнення фотоелектричної (PV) енергії загальна потужність, падіння напруги, аналіз несправностей і перехідна стабільність [12].

Дедалі більша інтеграція ВДЕ збільшує складність контролю напруги в мережах електропередач через невизначеність погодних умов прогнозування виробництва електроенергії [13-15]. Серед істотних впливів на роботу систем є збільшення частки відновлюваної енергії (ВДЕ) в загальна енергетична домішка. Визначення ступеня ефектів здійснюється через: генеруючу потужність джерел і їх робочі характеристики джерела, особливості електромережі, до якої ці джерела приєднані та особливості роботи установок, що працюють на традиційному паливі [16]. При підключенні відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) до енергосистеми, нам потрібно зробити аналіз, який зосереджується на трьох осях:

- Аналіз можливостей, варіантів та обставин режиму інтеграція, локальний аналіз для регіону сайту, який включає демаркацію регіон майданчика та перевірка умов роботи в усталеному режимі системи;

- Аналіз умов роботи мережі після підключення нової відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) – локальний аналіз регіону, який включає дослідження регіону енергосистеми, де нові відновлювані джерела енергії (ВДЕ) пов'язані.

Забезпечення придатності в ситуації великої різниці в пропускній здатності у значних межах енергії, виробленої джерелами, починаючи від нуля і

закінчуючи максимальною потужністю, з метою оцінки операційної умов протягом одного року, шляхом аналізу миттєвої генерованої потужності по відношенню до очікуваних значень протягом коротких періодів часу. Тому, що вивчення ефекту відновлюваної енергетики джерел (ВДЕ) на енергосистемах з точки зору планування, експлуатації та підвищення рівня напруги системи живлення NORDIC 32-Bus, яка страждає від проблем з напругою деяких споживачів, а також високий відсоток втрат потужності.

1.3 Обґрунтування актуальності теми роботи

Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування електричних мереж на основі відновлюваних джерел енергії шляхом застосування енергетичних установок, адаптованих до умов західного регіону України.

Відповідно до цієї мети було визначено наступні завдання:

1. Дослідити вплив відновлюваних джерел енергії на електричну мережу до умов західного регіону України.
2. Обґрунтувати енергоефективність використання електростанцій, що працюють на основі відновлюваних джерел енергії, у складі електричної мережі до умов західного регіону України.
3. Розробити енергоефективні схеми використання електричних мережах на основі відновлюваних джерел енергії шляхом застосування енергетичних установок, адаптованих до умов західного регіону України.
4. Обґрунтувати охорону праці та захист довкілля.
5. Обґрунтувати економічну доцільність використання електростанцій на базі відновлюваних джерел енергії в електричних мережах до умов західного регіону України.

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

2.1 Обґрунтування впливу відновлюваних джерел енергії на існування та функціонування розподільної мережі

В основному всі джерела енергії в природі походять з сонячна енергія. Лише невелика частка сонячної енергії приходить на Землю = $1,5 \cdot 10^9$ ТВт·год (30% від цієї кількості відбивається в космос, а 70% на Землю = $1,05 \cdot 10^9$ ТВт·год) [1]. Більшість енергії отримується непрямим шляхом у вигляді:

- фотосинтез, який представляє собою хімічну енергію рослин, і це в кінцевому підсумку дає енергія деревини, біомаси та викопного палива,
- випаровування у вигляді циркуляції води та пари атмосфери, яка дає потенційну енергії водотоку,
- потік води та повітря, що дає кінетичну енергію океанських течій і вітру, а також потенціал енергія морських хвиль.

Набагато менше сонячної енергії використовується безпосередньо, як форма енергії. Виробництво електроенергії з відновлюваних джерел, включаючи станції встановленою потужністю до 1 МВт, які підключені до розподільної мережі і установки потужністю до 10 МВт, які можна підключити до мережа передачі або розподілу включає [2]:

1. вітрові електростанції,
2. гідроелектростанції,
3. сонячні електростанції,
4. геотермальні електростанції,
5. біопаливні електростанції,
6. паливні елементи,
7. електростанції, що використовують інші відновлювані джерела (хвилі, припливи тощо).

Крім того, існує класифікація когенерації рослин:

1. когенераційні електростанції встановленої потужності потужністю до 50 кВт, так звана мікрокогенерація агрегати та всі когенераційні установки, які використовують паливо клітини і водень,

2. когенераційні електростанції встановленої потужності більше 50 кВт і менше 1 МВт, тому так звані когенераційні установки малого масштабу,

3. когенераційні електростанції з встановленим потужність більше 1 МВт і менше 35 МВт, так звані когенераційні установки середнього масштабу підключений до розподільної мережі,

4. когенераційні електростанції з встановленим потужністю понад 35 МВт, так звані великі масштаби когенераційні установки та всі когенераційні установки підключені до мережі передачі. Підключення розподіленої генерації обертається, а пасивна одностороння мережа розподілу в подвійну активна мережа. Основні впливи джерел на такій мережі є: зміни напруги мережі профілю, поява перехідних процесів при повороті в включення і виключення джерел, збільшення струмів короткого замикання, зміна втрат залежно від виробництва і споживання, перевантаження окремих ліній. Зростаючий попит на безпеку, надійність і якість постачання надає нову вагу плануванню та розробці методів. Включення розподіленої генерації є проблемою щодо питань, що стосуються якості живлення, стабільність мережі, балансування системи, регулювання, захист, відмова (ізолюваний режим) і надійність.

Найважливішим є різноманітність відновлюваних джерел характеристика, яка визначає їхню роботу, з точки зору непевності точність у прогнозуванні доступної потужності, амплітуди зміни вихідної потужності та швидкості змін. Стохастична поведінка різних джерел енергії може бути рис. 2.1, аналогічно [3]. Широкий вибір технологій і просторового розподілу розташування джерел пом'якшує вплив оновлення здатність джерела до мінливих змін потужності [4]. Необхідно враховувати мінливість в контексті гнучкості енергетичної системи. Вплив змін на виробництво відновлюваних джерел енергії зменшується, оскільки система є більш гнучкою в термінах виробництва (скільки потужність із швидкою реакцією), управління попитом, мережа

(взаємозв'язок з сусідні системи) і резерви. Гнучка система може надійно та швидко реагувати на зміну виробництва та споживання.



Рисунок 2.1 – Відсоток річного виробництва електроенергії вітром, кожного місяця з довгостроковою електроенергією України для порівняння показано розподіл попиту (нормалізовано на рахунок на різні дні місяця)

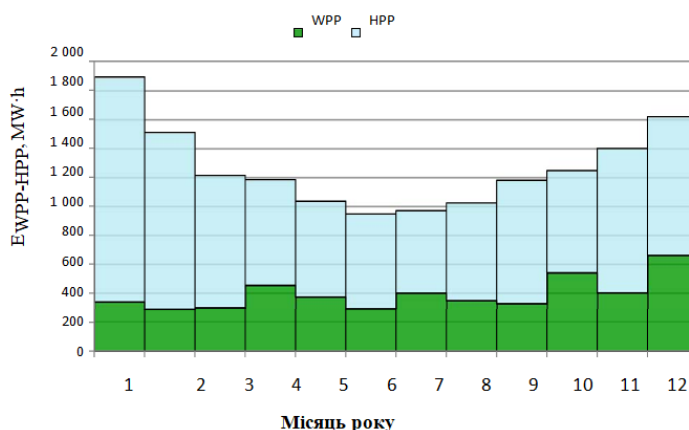


Рисунок 2.2 – Періоди сонячно-вітрової генерації електроенергії для загородження в додаткове відкачування під час припливу

Характеристики вітрової турбіни змінюються у вихідній потужності наведено на рис. 2.3. Зміни споживання і виробництво відновлюваних джерел енергії є синхронними з виробництвом звичайних джерел, тому що виробництво завжди має задовольняти попит плюс втрати, включаючи зміни у виробництві змінні джерела. Це збалансоване виробництво, що забезпечує стабільність системи.

Хороший процес планування важливий для забезпечення достатнього резервності. Через неможливість диспетчерського контролю дистанційного виробництва енергії вважаються платні джерела, які не сприяють іншим функціям електрики енергосистема (регулювання напруги і частоти, мережа безпеки, резервне копіювання тощо), тому всі перешкоди в системі повинні бути компенсовано звичайним джерелом енергії.

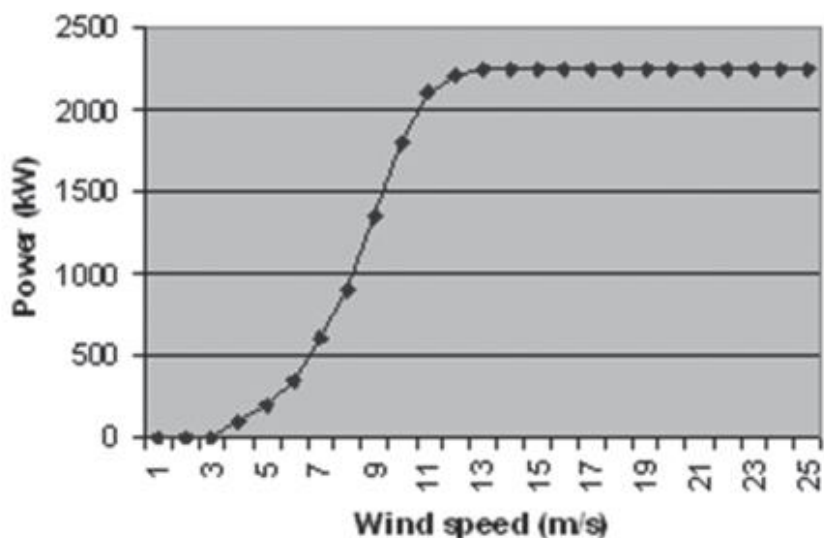


Рисунок 2.3 – Вихідні характеристики вітряної турбіни.

Зміна потоку вітру наведено на рисунку 2.4:

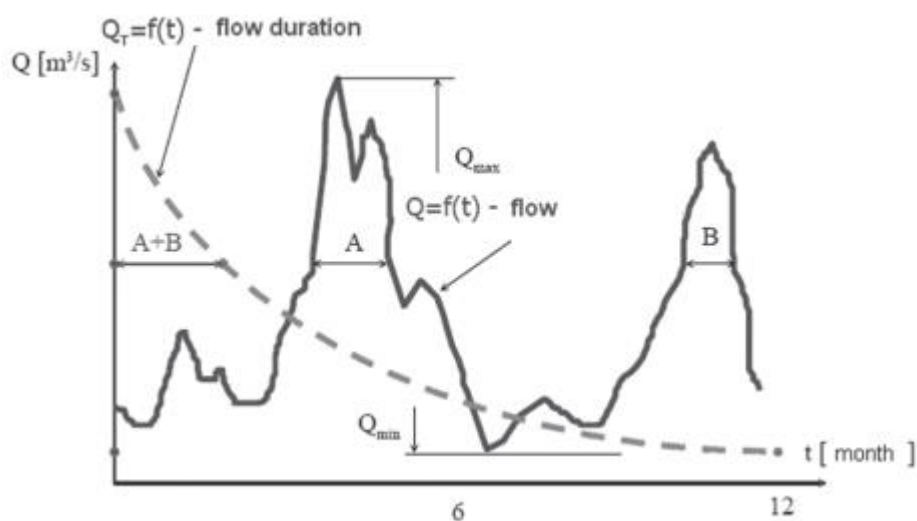


Рисунок 2.4 – Крива тривалості потоку вітру

Великі взаємопов'язані системи мають кілька механізмів для балансування несподіваних змін споживання та виробництва [5]:

- електростанції інерційні у формі механічної інерційності турбогенераторів і теплова інерція чайників, які мають малу і пасивну частку, але являють собою першу лінію захисту,
- частотно-залежні електростанції, які можуть змінити виробництво у відповідь на зміну частоти,
- резервні електростанції: гідроакumuлюючі установки в «гарячому місці» і запасні електростанції,
- зміни напруги у вигляді зниженої напруги за скорочене виробництво.

Посилюється інтеграція змінних джерел потреба в резервах. Загальна ємність доступна в мережі завжди повинна перевищувати піковий попит, і ця надлишкова потужність необхідна для тривалої надійності функціонування мережі. Включення відновлюваних (змінних) джерел енергії призводить до того, що кількість потужностей звичайних джерел може бути зменшена. Це важливо для безпеки постачання і підтримувати на тому ж рівні.

2.2 Умови підключення відновлюваних джерел енергії на існування та функціонування розподільної мережі

Підключення малої електростанції (розподілене джерело) до розподільчої мережі може бути під низькою напругою на рівні (0,4 кВ) і на середньому рівні (10, 20, 30, 35 кВ), в залежності від сумарної потужності електростанції, в номінальна потужність генератора, обставини в розподільна мережа, експлуатація електростанцій режим та інші фактори. Підключення до:

1. низьковольтна мережа: • електростанція до 500 кВт – на низькій напругі вікової лінії або шин низької напруги 10 (20) / 0,4 підстанція кВ,
 - електростанція до 100 кВт – при низькій напрузі вікова лінія.

2. мережа середньої напруги (10, 20, 30, 35 кВ): • електростанція до 1000 кВт – на середню лінію напруги, • електростанція понад 1000 кВт – на середню лінію напруги, система введення-виведення.

Можливий спосіб підключення електростанції до в дистриб'юторської мережі визначається детальною технічний не економічний аналіз для визначення оптимального рішення з точки зору вартості підключення та впливу про виробничі потужності в системі розподілу.

Фінал оцінки можливостей і способу підключення розподілених джерел до мережі розподілу було прийнято з огляду на стан і очікувано розвиток дистриб'юторської мережі, а після розрахунків перепадів напруги, потоку навантаження, короткого замикання рентної та загальної гармонійних спотворень напруги. Визначення умов приєднання до мережі забезпечує надійність електропостачання системи та засобів користувача, і водночас уникає неприпустимий шкідливий вплив між ними. технічний вимоги до підключення генеруючих установок до розподільчої мережі доставляються оператор системи. Правила системи Grid визначають основні характеристики в точці підключення до мережі та загальні вимоги до підключення користувачів системи до системи розподілу, а також спеціальні умови, яким повинні відповідати всі генеруючі блоки, підключені до розподільчої системи під нормою погані умови експлуатації.

Оператор системи розподілу визначає основну технічну інформацію, що стосується розробки:

- доступна потужність,
- дані для узгодження ізоляції,
- концепція захисту (час усунення несправності в об'єкт користувача з основною та задньою підвищення захисту),
- максимальна і мінімальна потужність короткого замикання,
- умови паралельної роботи системи,
- частка вищих гармонік і флікерів наводить принципи визначення ефективності в системі,

- відключаючи здатність для відповідно номінальна напруга мережі передачі,
- спосіб заземлення,
- максимальна та мінімальна безперервна робота напруги, тривалість і рівень строковий овердрафт,
- типові профілі навантаження,
- характер і обсяг викиду реактивної потужності зміна та встановлений запас реактивної потужності на об'єкт користувача, для виробництва та постачання енергії, електростанція повинна генерувати споживав достатню кількість реактивної потужності.

Виробництво реактивної потужності повинно бути в діапазон $\cos \varphi = 0,85$ індуктивно до $\cos \varphi = 1$, крім сонячних електростанцій, де такої претензії не виникає і до ВЕС з асинхронними генераторами, для яких це виражені в додаткових термінах Grid System правила,

- частка в плані системи оборони (відключення навантаження, знижена напруга осипання, ручне та автоматичне керування),
- участь у забезпеченні допоміжних послуг,
- поведінка при масштабних заворушеннях (здатність пройти через стан відмови),
- метод вимірювання та розрахунку,
- інтеграція в систему дистанційного керування,
- інтеграція в телекомунікаційну систему.

2.3 Вплив відновлюваних джерел енергії на якість електроенергії та стабільність роботи електричних розподільних мереж

Якість електроенергії є характеристикою електроенергії при точкою енергосистеми, і зазвичай розглядається, як безперервність постачання (наявність електроенергії) і якість напруги. Системний оператор і користувачі системи також відповідає за якість електроенергії в певний момент мережі.

Системний оператор обмежує негативний зворотній ефект обладнання всіх користувачів мережі, а користувач мережі (клієнт, виробник або роздрібний продавець електроенергії) необхідний для обмеження зворотних ефектів їх обладнання на якість напруги (гармоніки впорскування, приймання реактивної потужності, та асиметрію навантаження) визначити (узгоджується заздалегідь) граничні значення (визначаються оператором системи).

Якість електроенергії в певний момент розподілу мережі виражається через декілька параметрів [11]:

- частота напруги,
- рівень напруги в усталеному стані (зазвичай 10-хвилинний RMS середні),
- гармонійне спотворення форми сигналу напруги (наслідок роботи обладнання який має нелінійну V-C характеристику: схеми силової електроніки та електричних машин, чії магнітні матеріали вступають у насичення, викликаючи введення струмів вищих гармоній мережі, що на опорі мережі створювати перепади напруги, викликаючи спотворення форма хвилі напруги),
- гармоніки напруги,
- швидкі динамічні зміни напруги або мерехтіння (перегляд результату мінливості інтенсивності джерела енергії, такі як вітер, проявляються, як суб'єктивне враження від зміни інтенсивності світла),
- асиметрія напруги,
- перепади напруги,
- перенапруги частоти мережі.

Обладнання, підключене до розподільної мережі буде розроблене і побудоване для номінальної напруги V_n синусоїда і номінальна частота 50 Гц, але він повинен бути стійким до певного рівня перешкод, який майже завжди присутній в мережі (напр. гармонійне спотворення сигналу напруги). Цей рівень перешкоди називають рівнем опору, на якому обладнання все ще працює належним чином без втрати функціональності, швидкого старіння, пошкодження або руйнування.

З іншого боку, більшість обладнання через його робота впливає на рівень напруги та форму сигналу (випромінювання гармонік струму, мерехтіння тощо) і таким чином вводить перешкоди в мережі. Тому рівень сумісності визначається, як максимальне порушення рівня, на якому обладнання різних користувачів мережа працює задовільно. Рівень сумісності, тому має бути менше або дорівнювати опорного рівня підключеного до мережі обладнання.

Гідроелектростанції

Гідроелектростанції не мають виражених коливань приводного моменту машини. Гідроенергетика установки з синхронним генератором можуть значно впливають на величину напруги в усталеному стані (введення виробленої електроенергії в розподільчій мережі). Іноді це може вплинути на спотворення здатність працювати в ізолюваному режимі (вплив на частота напруги). Гідроелектростанція з індукційний генератор може істотно вплинути на суму напруги в усталеному стані спотворення напруги форма сигналу (через недосконалість генератора), перехідні перенапруги (завершення батареї конденсаторів) і кількість керуючого сигналу TFM (батареї конденсаторів може стати прірвою для сигналу TFM).

Фотоелектричні елементи. Фотоелектричні елементи безпосередньо перетворюють сонячну енергію в постійний струм, тому в цьому випадку немає, джерела механічної енергії, що перетворюється в електричну енергію (керівника руху в магнітного в мережеве поле). Тож вам потрібен перетворювач потужності для підключення фотоелементів до мережі. Завдяки своїй роботі фотоелементи можуть значно впливають на величину напруги в усталеному стані (введення виробленої електроенергії в розподільчій мережі), спотворення форми сигналу напруги і приймачі управління перешкодами TFM.

Паливні елементи. Вплив паливних елементів на якість напруги в районі але система на практиці буде майже ідентичною а фотоелектричний елемент. Різниця лише в тому, як постійний струм паливних елементів, отриманих хімічним шляхом процес.

Вітряні електростанції. З їх роботою і внаслідок стохастичного характеру вітер, ВЕС істотно впливають на умови напруги в точці підключення до мережі та залежать від типу застосовуваної вітрової турбіни. Тоді, як вітрогенератори з перетворювачами електроенергії можуть автоматично визначає напругу або коефіцієнт потужності в враховуючи межі, поки вплив вітрової турбіни з напруги асинхронного генератора, що залежить від X/R співвідношення мережі. Мерехтіння (варіації кількості напруги в діапазоні від 0,01 до 10 Гц) та змін генерованої потужності в результаті від турбулентності вітру і переносяться безпосередньо на мережі вітрових турбін з постійною швидкістю, при цьому вітрові турбіни з перетворювачами електроенергії усувають зміни. При підключенні вітрової турбіни до постійної швидкості в мережі, великі обсяги електроенергії відсічки можуть викликати більш високу напругу, а висновок конденсатора з індукційними генераторами безпосередньо підключений до мережі створює електричний удар і відповідні високочастотні перехідні процеси напруги, які поширюються в мережі.

Введення гармонійного струму орендна плата в мережу є результатом роботи перетворювачів електроенергії використовується у вітрових турбінах із змінним регулюванням швидкості [12].

2.4 Вплив відновлюваних джерел енергії на доступність і надійність роботи електричних розподільних мереж

Надійність – це математична ймовірність задовільна теорій, операції за певних умов і під час визначений період часу.

Доступність – це математична ймовірність задовільно експлуатації за певних умов і до тримати час у майбутньому.

Електроенергетична система (ЕС) – це сукупність між приєднанням електростанції, мережі та споживачі основною функцією, якої є забезпечення виробництва, конверсії та передачі електроенергії до клієнта.

Визначено надійність електромережі, як ймовірність того, що система здатна доставляти постачання електроенергії споживачам за певний період часу з прийнятними умовами експлуатації (номінальна потужність, напруга і частота в допустимих межах). Надійне електропостачання клієнтів на відкритому ринку електроенергії є одним із найважливіших пунктів в якості електропостачання. На думку більшості світової статистики діючих подій, 80-90 % всі перебої відбуваються лише в системі розподілу і найбільшу відповідальність за надійність постачання здійснюється оператором системи розподілу від вертикально інтегрованої енергосистеми, надійність стає обов'язковим елементом операторів мереж у нових законодавчих положень, а отже інтеграцій частини планування та оцінки розподілу системи. Є три основні аспекти надійності:

- **Достатність:** здатність енергосистеми до забезпечувати споживачів електроенергією та енергії номінальних значень навантаження і обмеження з урахуванням планових і вимушених перебоїв в роботі окремих компонентів у системі. Що стосується ситуації, спостерігається досить довго після збурення в системі цей термін також називають статична надійність.

- **Безпека:** здатність системи живлення до витримувати раптові хвилювання в неочікуваних відключення компонентів, де перехідні періоди після порушення спостерігається і це часто називають динамічною надійністю

- **Цілісність:** здатність енергосистеми до підтримувати задовільні умови праці, коли працює у взаємозв'язку з іншими потужностями е системи.

Аналіз надійності енергосистем завжди називають припиненням постачання споживача. Наші математичні моделі дозволяють оцінити систему надійність, розрахунок показників надійності. Методики кількісної оцінки надійності електроенергетичних систем включають системи моделювання для комп'ютерна обробка зібраних даних. Найбільший підхід до розрахунку надійності є Марковським процесом, що розглядають електроенергетичну систему, як систему з залежною, ремонтуючи ми компонентами та резервів.

Марківські процеси є різновидом марковських модифікацій, які є функціями двох випадкових величин: дискрет станів системи та безперервного часу спостереження [13,14]. Як правило, робочі стани розподільчої мережі можна моделювати за допомогою моделі чотирьох станів [15], як на рис 2.5:

- стан «0» – нормальний робочий стан системи, без збоїв, всі споживачі нормально еред,
- стан «1» – стан системи з перехідною несправністю. функція, перемикач вимикає захист, автоматичне повторне вмикання (AR) є успішним,
- стан «2» – стан накладається на постійний збій у якому невдалий перемикач AR вимикає частину мережі, без якої залишаються клієнти «3», так званої резервної потужності,
- стан «3» – стан ремонту при постійній несправності, лише частина мережі з несправним елементом вимкнено і споживачі цієї частини з-живлення, в той час, як інші мають резервне живлення.

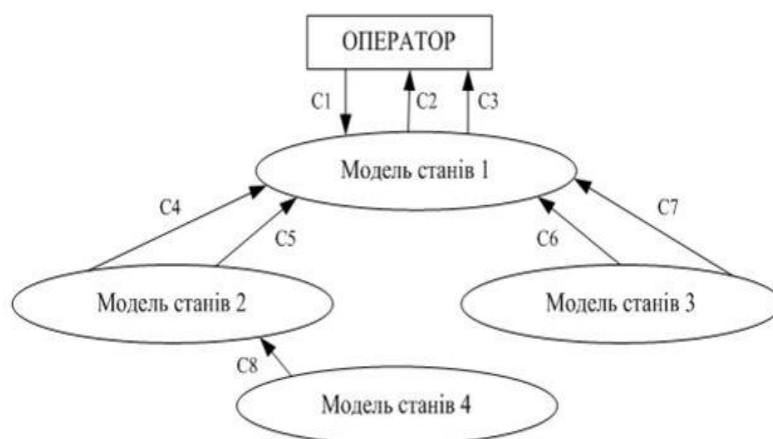


Рисунок 2.5 – Модель чотирьох станів

Зі стану «1» система автоматично повертається до «0», а зі стану «2» після перемикання повертається до «3» і виходить його після ремонту перевищує стан «0».

Елементами моделі для розрахунку надійності є фактично філії збутової мережі, яка не є необхідною, щоб встановити інформацію про дерева несправностей і комутація електроприладів на відгалуженнях. Ці статистичні

дані збираються шляхом моніторингу поведінки елементів у певний період часу. Дані, необхідні для моделювання:

- дані про постійні несправності відділень (частота постійних несправностей, часове перекриття для постійних відмова, час ремонту для постійної несправності),
- дані про тимчасові несправності гілок (частота тимчасових відмов, час перезапуску),
- відомості про комутаційне обладнання та про захисні пристрої у відділеннях,
- основні дані про мережу – топологічна структура навантаження на вузли, допустиме навантаження орендна плата та опір елементів мережі.

Всі описані умови розраховані в модель мережі шляхом імітації збоїв, які викликають переривання вузлів, на основі вхідних даних про топологію та вхідні дані про надійність частин системи (частота відгалужень часи для окремих станів). Таким чином, надійність індекси розраховуються з інтенсивності відмов гілок для всіх вузлів мережі; ці показники представляють показники надійності електропостачання споживачів у таких вузлах.

Показники надійності, як правило, такі:

- частота перехідного переривання вузлів [перерва/рік],
- частота постійного переривання вузлів [перерва/рік],
- частота повного переривання вузлів [год/рік],
- річна тривалість перехідної перерви вузли [год/рік],
- річна тривалість переривання вузлів вказати «2» [год/рік],
- річна тривалість перерв вузлів через стан «3» [год/рік],
- річна тривалість постійних перерв вузли [год/рік],
- загальна річна тривалість перерв вузлів [год/рік],
- середня тривалість постійних перерв вузли [год/переривання],
- очікувана річна недопоставка електроенергії в система [МВт·год/рік],
- річна вартість недопоставленої електроенергії в система [грн].

При розрахунку надійності системи в тому числі генеруючі установки, особливо для відновлюваних джерел енергії, робота яких сильно залежить від

погоди умови, навколишнього середовища та атмосферний вплив додатково моделюються дефекти (наприклад, стан спокою та штормова погода).

Показники надійності Для визначення показників надійності використовуються такі терміни [16]:

- Переривання – припинення живлення один або кілька клієнтів, підключених до розподілу але частина енергосистеми. Це наслідок послідовності переривання одного або кількох компонентів залежно від конфігурації мережі.

- Вимушене відключення – стан компонента не в змозі функціонувати через незаплановані події безпосередньо, як пов'язані з цим компонентом.

- Планове відключення – втрата електроенергії що виникає, коли компонент навмисно вимкнено у вибраний час, переважно через профілактичне обслуговування, реконструкція або ремонт.

- Тривалість перерв – період з моменту початок припинення електропостачання, а замовник повернути джерело живлення за тривалістю перерви це може бути короткочасним і тривалим. Відповідно до Європейський стандарт 50160, короткі перерви тривають до 3 хвилин, інакше вони тривалі.

Частота переривання клієнта j приблизно дорівнює сумі інтенсивності відмов усіх комплектуючі замовнику:

$$f_i = \lambda_s = \sum_i \lambda_i [\text{interruption} / \text{year}] \quad (2.1)$$

де λ_i – інтенсивність компонентна відмова i .

Недоступність через припинення постачання клієнт j є сумою інтенсивності відмов i тривалості переривання:

$$N_i = N_s = \sum_i \lambda_i r_i [h / \text{year}] \quad (2.2)$$

де λ_i – інтенсивність компонентна відмова i ; r_i – тривалість переривання компонента i .

Середня тривалість перерви в постачанні tomer j є часткою недоступності та клієнта частота відмов:

$$r_i = r_s = \frac{\sum_i \lambda_i r_i}{\sum_i \lambda_i} [h / \text{int eruption}] \quad (2.3)$$

Індекс середньої частоти переривань системи (SAIFI) показує, скільки переривань в середньому tomer буде відчувати протягом одного року, який дається наступний вираз:

$$SAIFI = \frac{\text{total numbers of int eruption}}{\text{total numbers of customers}} \quad (2.4)$$

або

$$SAIFI = \frac{\sum_i \lambda_i n_i}{\sum_i n_i} [\text{int eruption} / \text{year}] \quad (2.5)$$

де λ_j – частота перерв електропостачання споживачів у вузлі j ; n_j – кількість клієнтів у вузлі j ; $\sum_i n_i$ – загальна кількість клієнтів у системі.

Індекс середньої тривалості переривання системи (SAIDI) вказує загальну тривалість перерв для середній клієнт за певний період часу. Він розраховується за допомогою наступного рівняння:

$$SAIDI = \frac{\text{total duration of int eruption}}{\text{total numbers of customers}} \quad (2.6)$$

або

$$SAIDI = \frac{\sum_i N_i n_i}{\sum_i n_i} [h / \text{year}] \quad (2.7)$$

де N_j – недоступність клієнтів у вузлі j ; n_j – кількість клієнтів у вузлі j ; $\sum_i n_i$ – загальна кількість клієнтів у системі.

Індекс середньої частоти перебоїв клієнта (CAIFI) показує кількість переривань кожного номер за один рік. Він розраховується за допомогою наступного рівняння:

$$CAIFI = \frac{\text{total numbers of customer int eruption}}{\text{total numbers of affected customers}} \quad (2.8)$$

або

$$CAIFI = \frac{\sum_i \lambda_i n_i}{\sum_i n_i} [\text{int eruption} / \text{year}] \quad (2.9)$$

де λ_j – частота перерв електропостачання споживачів у вузлі j ; n_j – кількість клієнтів у вузлі j ; $\sum_i n_i$ – загальна кількість клієнтів у системі.

Індекс середньої тривалості перерви клієнта (CAIDI) показує середню річну тривалість однієї перерви клієнта. Він розраховується за допомогою наступне рівняння:

$$CAIDI = \frac{\text{total duration of customers int eruption}}{\text{total numbers of customers int eruption}} \quad (2.10)$$

або

$$CAIDI = \frac{\sum_i N_j n_j}{\sum_i \lambda_j n_j} = \frac{SAIDI}{SAIFI} [h / \text{int eruption}] \quad (2.11)$$

де N_j – недоступність клієнтів у вузлі j ; n_j – кількість клієнтів у вузлі j ; $\sum_i n_i$ – загальна кількість клієнтів у системі.

Показано середній індекс доступності послуг (ASAI) за таким виразом:

$$ASAI = \frac{\text{available hours customers sup plu}}{\text{required hours customers sup plu}} \quad (2.12)$$

Або

$$ASAI = \frac{\sum_j N_j 8760 - \sum_j N_j n_j}{\sum_j N_j 8760} [\%] \quad (2.13)$$

Середній індекс недоступності служби (ASUI) становить показано таким виразом:

$$ASUI = 1 - ASAI [\%] \quad (2.14)$$

Показано індекс середнього споживання енергії (AENS), за таким виразом:

$$AENS = \frac{\text{total energy not served}}{\text{total numbers of customers}} \quad (2.15)$$

Щодо застосування розподіленого джерела і стохастичну залежність їх потужності є особливо важливі аспекти наступного невизначеності:

а. Прогнозування навантаження / генерації;

b. Введення виробничих підрозділів у виробництво розклад здійснюється на основі попереднього прогнозування навантаження, що включає невизначеність у діапазон 3%.

Збільшення частки неконтрольованих маркованих одиниць, що відзначаються стохастичною поведінкою збільшує невизначеність прогнозування навантаження та продукції.

v. Вимоги до налаштування щодо потужності запасів і встановленої потужності.

d. В даний час підвищені вимоги до місткості заповідники (первинні та вторинні) базуються на принципі традиційної вертикально інтегрованої енергетичні системи з великою кількістю звичайних джерел і меншу кількість не конвенційних джерел, а одиниць, які можна контролювати. Коливання та відключення продукції впливають на резервну потужність, загальна зупинену потужність необхідно переглянути до надійності, оскільки розподілені джерела замінять лише одну її частину.

c. Планування мережі електропередач.

f. При плануванні високовольтної електропередачі мережі, розподілені джерела можуть представляти собою альтернатива стандартним рішенням.

Вплив розподілений ресурсів на перетоки електроенергії в розподільчих мережах робіт необхідно для точного розрахунку та кращого планування, щоб уникнути або відкласти додаткові інвестиції в мережу. Електростанції, які використовують енергію сонця, вітру та води, належать до категорії рослин, виробництво яких не може планувати через те, що це ще більш складно для роботи енергосистеми зі значними частинами цього типу електростанцій.

Хоча користуються безкоштовним первинним джерело енергії, електростанції з різноманітними Продукція не має можливості зберігання енергії та непередбачуваних погодних умов впливають їхня робота. Тому основна потенційна проблема і масове впровадження заводів з різною продуктивністю в дистриб'юторська мережа – це підвищена потреба в контрольної потужності [19]. Для таких джерел коливання вихідної потужності

додається до коливань, викликаних змінами навантажень. Включення електростанції у виробництво цієї графіка здійснюється на основі попередньо отриманих прогнозів навантаження. Прогнозування виробництва в залежності від технології розподілених джерел слід ввести для аналізу впровадження цих некерованих агрегатів. Якщо вони залучені в інтегрована системи управління електроенергетикою Крім того, розподілені джерела можуть мати позитивний вплив на систему у вигляді підвищеної надійності. Аспект надійності є більш важливим для споживачів підключений до розподільної мережі, ніж система в цілому. Як правило, надійність джерела живлення не збільшує інтеграцію розподіленого джерела енергії, які знаходяться поза розподільчою мережею контролю.

Крім того, необхідно діяти превентивно таким чином, що розподілені джерела не впливають на надійність постачання з таких причин, як невибіркова система захист, автоматичне повторне включення та ін. Після визначення оптимального рішення з точки зору потужності умови в мережі при нормальній роботі, аналіз надійності електропостачання споживачів здійснюється. Одним з підходів є принцип (на основі правила мережевої системи), що будь-які інвестиції в надійність постачання має бути економічно обґрунтованим скороченням вартість ненаданої енергії. Другий підхід передбачає допоміжне живлення конкретних споживачів або споживача групи (наприклад, фідери 10 кВ або підстанція 35/10 кВ) у подія недоступності елемента мережі (наз критерій надійності «n-1»). Третій підхід полягає у визначенні точних показників якості електропостачання споживачів та вартість цих параметрів, які повинні бути досягнуті в деяких частин мережі [20].

Індекс середньої тривалості переривання системи (SAIDI) і системний середній індекс частоти переривань (SAIFI) використовуються як міра доступності шар електрики. Вплив зв'язку а розподілене джерело за цими індексами в першу чергу пов'язане до способу підключення до мережі, де є два характерні випадки. Невелика електростанція, що має можливість ізольований режим роботи, блок живлення включення до розподільчої мережі на випадок

відключення живлення, до якого він підключений (під регулювання потужності/частоти та потужності управління) позитивно впливає на показники оскільки це може забезпечити доступність живлення постачання, тобто частина розподільної мережі, яка залишиться без електроенергії. Мала електростанція, яка підключена до мережевої дистрибуції через нову радіальну або збоку системою введення-виведення, з збільшення загальної довжини мережі, негативно впливає на показники доступності, що збільшить тривалість перерви, приблизно співвідношення суми до довжини частина нової мережі та загальна довжина з бічними лініями через підвищення ймовірності несправності. Проте це бере багато точної інформації про операційні події протягом багатьох років для оцінки поточна якість електропостачання споживачів, спеціально для планування майбутнього розвитку мережі, це достатньо використовувати дані про кількість клієнтів приєднані до кожної підстанції 10(20)/0,4 кВ (добре оцінка – середня кількість споживачів на 1 кВА вбудовані в трансформацію 10(20)/0,4 кВ станції), вид припинення електропостачання в умови тривалості (довгий, короткий, дуже короткий), періодичність перерви, тривалість перерв і цілі якості постачання (зазвичай SAIFI та SAIDI).

Крім цього, в підрозділі додатків А. можна ознайомитися з аналізом впливу відновлюваних джерел енергії на роботу і стабільність, ступінь напруги, струмів короткого замикання та операційне управління електричних розподільних мереж.

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНУ СИСТЕМУ ПІД ЧАС ЇЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

3.1 Обґрунтування впливу відновлюваних джерел енергії на функціонування електроенергетичної системи під час її експлуатації

Останні роки характеризуються зростанням ринку електроенергії завдяки активному впровадженню відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Це створило нові виклики у плануванні та експлуатації енергосистем, адже з розвитком ВДЕ кількість змінних факторів у системах значно збільшується. У зв'язку з цим необхідно детально вивчати та аналізувати вплив комплексного використання ВДЕ на функціонування енергосистем. У цій статті ми дослідимо, як інтеграція відновлюваних джерел енергії, зокрема вітрових турбін (WT) і фотоелектричних (PV) станцій, впливає на роботу енергосистеми Nordic 32-Bus. Буде проведено кілька сценаріїв з урахуванням змін у споживанні та генерації електроенергії протягом доби. Зокрема, увага буде приділена випадкам, коли напруга в окремих частинах системи перевищує допустимі межі, а відсоток втрат є високим. Методологія дослідження передбачає розподіл ВДЕ в регіонах з високим і низьким рівнями споживання та генерації, що призводить до поліпшення показників напруги в межах допустимих значень. Для моделювання енергетичної системи Nordic32 буде використано програмний інструмент MATPOWER у середовищі Matlab.

Розглянемо початкові умови.

А. Початковий випадок: містить дослідження потоків потужності в системі та результати напруги на шинах і загальних втрат.

В. Випадок 1: Інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у систему електропостачання NORDIC 32-шини, включаючи вітрові турбіни (WT) та сонячні панелі (PV), а також розробка декількох сценаріїв, що демонструють зміни у споживанні та генерації протягом дня.

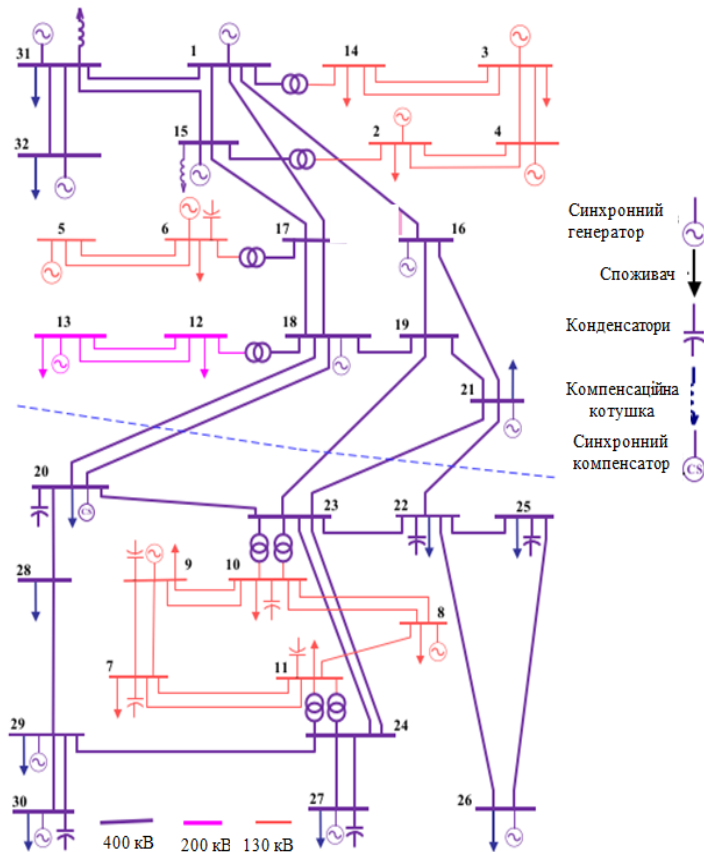


Рисунок 3.1 – Однолінійна схема системи живлення NORDIC 32-Bus.

Початковий випадок дорівнює базовий випадок: у цьому випадку ми змоделювали потужність Nordic32 систему з програмами DIgSILENT і MATLAB. Результати DIgSILENT PowerFactory (15.1) і MATLAB були повністю схожі, результати схожі в усіх відношеннях щодо напруг і кутів на всіх шинах, а також загальних втрат.

Результати. Базовий випадок. У цьому випадку мережа працює в стабільному стані. На рис. 3.2. нижче показано (у Північному регіоні) напруги нормальні (тобто, в межах допустимого та рекомендованого діапазону) для деяких мереж та інші мережі мають значне зростання. Що стосується Південного регіону, то всі напруги в межах допустимих обмеження, але деякі шини менше, як показано на рис. 3.3 нижче. На рис. 3.4 показано, що загальна генерація є високою у північному регіоні (6928,46 МВт), а споживання невелике (3480 МВт). також, в Південний регіон, що загальна генерація є низькою (4440 МВт), а загальне навантаження (7460 МВт) є високим, система

сильно завантажена великими передачами по суті з північного регіону в південний регіон.

Сумарні втрати активної потужності в системі (428,46 МВт), складає 3,77% від загальної активної генерації та знаходиться в межах допустимого обмеження, як показано на малюнку 5. тоді як загальні втрати реактивної потужності в системи становить (3607,9 МВАр), це становить 49,37% від загальної генерації реактивної системи, яка є дуже високою та перевищує допустимий відсоток як показано на рис. 3.5

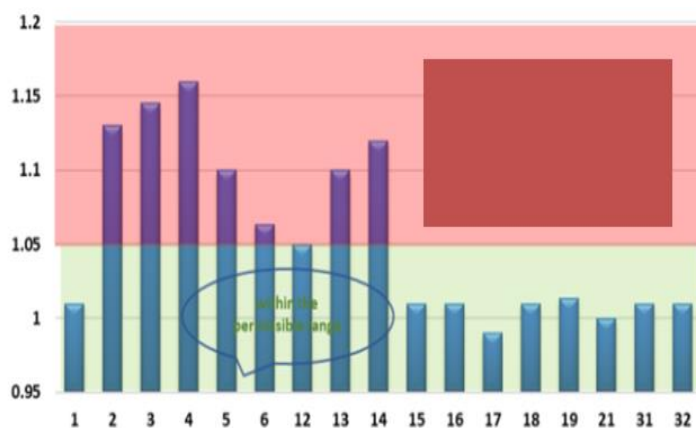


Рисунок 3.2 – Профіль напруги в північному регіоні (базовий варіант)

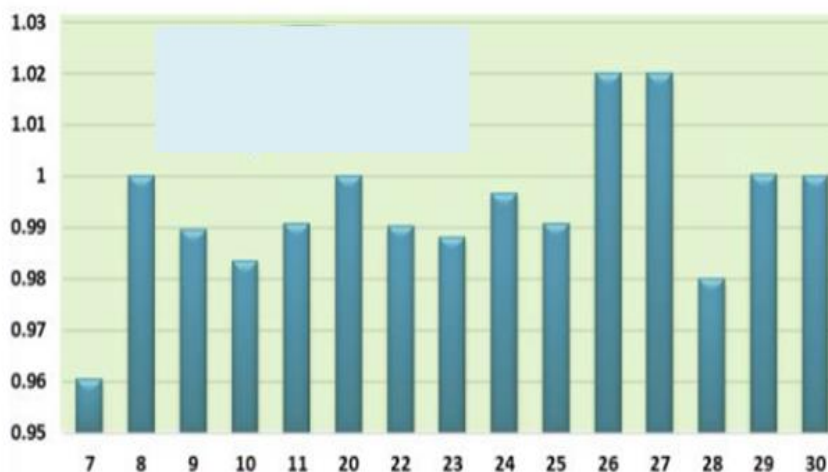


Рисунок 3.3 – Профіль напруги в південному регіоні (базовий варіант)

В. Випадок 1. Включення відновлюваних джерел енергії та реалізація сценарії.

У цьому випадку ми використовуємо відновлювані джерела енергії (ВДЕ).

енергетична система NORDIC 32-Bus, включаючи вітрові турбіни (WT) і фотоелектричні (PV) ферми. і створить 3 сценарії, які враховують варіацію в споживання та генерації протягом дня, як показано в таблицях 3.1 і 3.2 нижче. У всіх сценаріях ми будемо оновлювати напруги, пов'язані з генерації в системі, які перевищують допустиму межу (1.05 P.U.), що становить напругу шини 2, 3, 4, 5, 6 і 13 і становить 1,05 P.U., і результати MATPOWER з Matlab.



Рисунок 3.4 – Виробництво та споживання в кожному регіоні (базовий варіант)



Рисунок 3.5 – Загальні втрати потужності в системі (базовий варіант)

Таблиця 3.1 – Сценарії у відсотках

	Варіант	Тривалість роботи, год	Відсоткова зміна навантаження та генерації	Навантаження		Генерація			
						Класична генерація		Відновлювальні джерела енергії	
						70% загальної генерації		30% загальної генерації	
						P_L [МВт]	Q_L [МВ·А]	Q_{gen} [МВ·А]	P_{gen} [МВт]
0	Базовий варіант			10940	3689	1458.64	7957.92	0	0
1	Перший варіант	Полудневий період	90%	90% P_L	90% Q_L	90% Q_{gen}	90% P_{gen}		
							90% або (70% P_{gen})	90% або (70% ВДЕ)	90% або (25% ВДЕ)
2	Другий варіант	Вечірній період	100%	100% P_L	100% Q_L	100% Q_{gen}	100% або (70% P_{gen})	0	100% або (30% WT)
3	Третій варіант	Нічний варіант	75%	75% P_L	75% Q_L	75% Q_{gen}	75% P_{gen}		
							75% або (70% P_{gen})	0	75% або (30% P_{gen})

Таблиця 3.2 – Сценарії у значеннях

	Варіант	Тривалість роботи, год	Відсоткова зміна навантаження та генерації	Навантаження		Генерація			
						Класична генерація		Відновлювальні джерела енергії	
						70% загальної генерації		30% загальної генерації	
						P_L [МВт]	Q_L [МВ·А]	Q_{gen} [МВ·А]	P_{gen} [МВт]
				75% ВДЕ	25% ВДЕ				
0	Базовий варіант			10940	3689	1458.64	7957.92	0	0
1	Перший варіант	Полудневий період	90%	9846	3320	1312,77	10262,13 мВт		
							7162,13	2250	850
2	Другий варіант	Вечірній період	100%	10940	3689	1458,64	11367,92		
							7957,92	0	3410
3	Третій варіант	Нічний варіант	75%	8205	2766,75	1093,98	8526,34		
							5968,44	0	2558

I. Перший сценарій - Сценарій опівдні. За цим сценарієм ми це зробимо взяти 90% загального виробництва системи та 90% загального завантаження системи, генерація в цьому сценарії становить (70% класичної генерації + 30% відновлюваної енергії), відновлювані джерела енергії (ВДЕ) на 75% складаються з фотоелектричних (PV) і 25% вітрової турбіни (WT). Відновлювані джерела енергії були додані до південного регіону, оскільки навантаження в цьому регіоні високі, а генерація низька порівняно з навантаженнями.

Таблиця 3.3 – Розташування та потужність Renewable Energies S

№	ВДЕ [мВт]		Площа
11	550	WT	Південний регіон
20	300		
7	700	PV	
10	500		
22	750		
28	300		
Всього	3100		

Таблиця 3.4 – Виробництво та споживання в кожному регіоні S1 після додавання

Регіон	Виробництво електроенергії,[мВт]	Споживання електроенергії,[мВт]
Північ	4364.93	3132
Південь	2797.2+3100 (ВДЕ)	6714
Всього	10262.13	9846

З наведених вище рис. (3.6 і 3.7) ми зауважимо, що напруги покращено для всіх шин, за винятком напруги шини 14 (Напруга на цьому шині може

регулюватися перемикачем трансформаторів між шинами (1- 14)), він залишався високим на рівні 1,12 P.U, оскільки це пов'язано з навантаженнями, а не покоління, і його неможливо контролювати. Високі напруги знизилися до 1 о.е оскільки напруга генерації була оновлена, як показано на рис. 3.6.

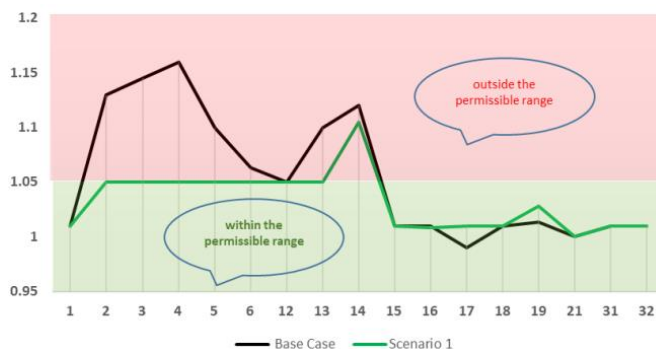


Рисунок 3.6. Профіль напруги в північній області S1.

Зауважимо, що напруга покращилась у більшості мереж на Півдні регіону, завдяки додаванню в цей регіон відновлюваних джерел енергії, а також 10% зменшення навантажень, як показано на малюнку 7. Рисунок 8. На ньому показано, що загальні втрати були меншими, ніж у базовому варіанті. Це покращення напруги та зменшення втрат відбувається завдяки модернізації системних напруг (напруг генерації) та найбільш важливою причиною є додавання відновлюваних джерел енергії (PV та WT) до південного регіону, де в основному був південний регіон характеризується високими навантаженнями і низькою генерацією, тоді як після додавання відновлюваних джерел енергії, навантаження стало близьким до початкового рівня.

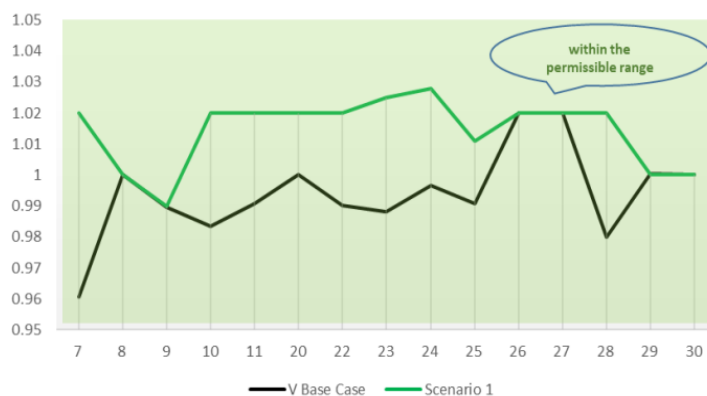


Рисунок 3.7 – Профіль напруги в південній області S1.

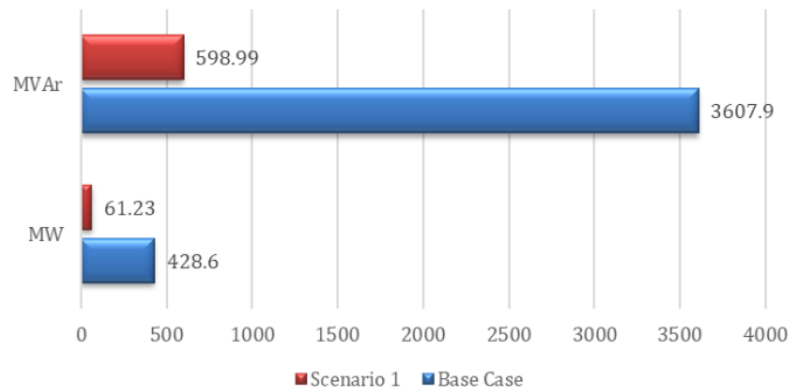


Рисунок 3.8 – Загальні втрати в системі S1.

II. Другий сценарій – Вечірній сценарій. У цьому сценарії ми займаємо 100% загального виробництва системи та 100% загальної системи навантажень, генерація за цим сценарієм становить (70% класична генерація + 30% ВДЕ), ми додали відновлювані джерела енергії в систему та відновлювані джерела енергії (лише WT) були додані до південного регіону, оскільки споживання в цьому регіоні становить висока, а продуктивність низька порівняно з навантаженнями.

Таблиця 3.5 – Розташування та потужність ВДЕ S2

№	ВДЕ [мВт]	Площа
7	700	Південний регіон
10	500	
11	550	
20	500	
22	750	
28	410	
Всього	3410	

Таблиця 3.6 – Виробництво та споживання в кожному регіоні в мВт S2

Регіон	Виробництво електроенергії, [мВт]	Споживання електроенергії, [мВт]
Північ	4850	3480
Південь	3108+3410(RES)	7460
Всього	11368	10940

На рисунку 3.9 показано, що напруга покращилася для всіх автобусів на півночі області, за винятком напруги шини 14, вона залишалася високою на рівні 1,12 О. У, т.к це пов'язано з навантаженнями, а не з генерацією, і ним не можна керувати (як згадувалося, що напруга на цій шині може регулюватися перемикачем РПН трансформатора між шинами (1-14)), високі напруги знизилися до 1,05 п. и оскільки напруга генерації була оновлена, як і для решти шини напруги, вони вдосконалені за рахунок додавання РЕЗ.

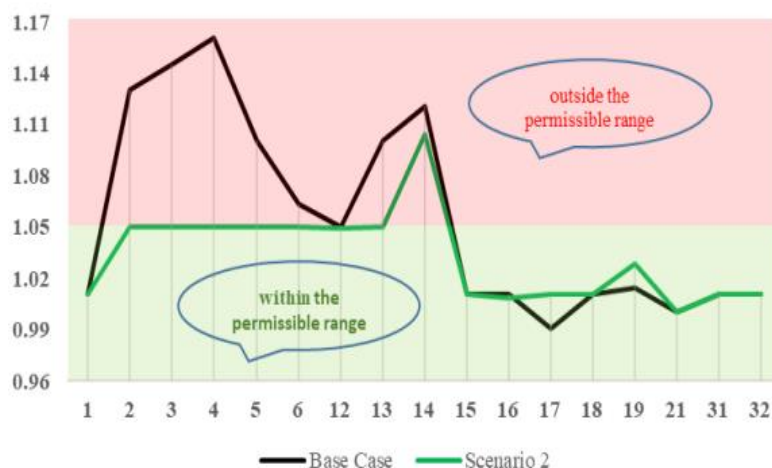


Рисунок 3.9 – Профіль напруги в північній області S2.

Рисунок 3.10 показує, що напруга покращилась у всіх автобусах у Південний регіон, через додавання до цього регіону відновлюваних джерел енергії.

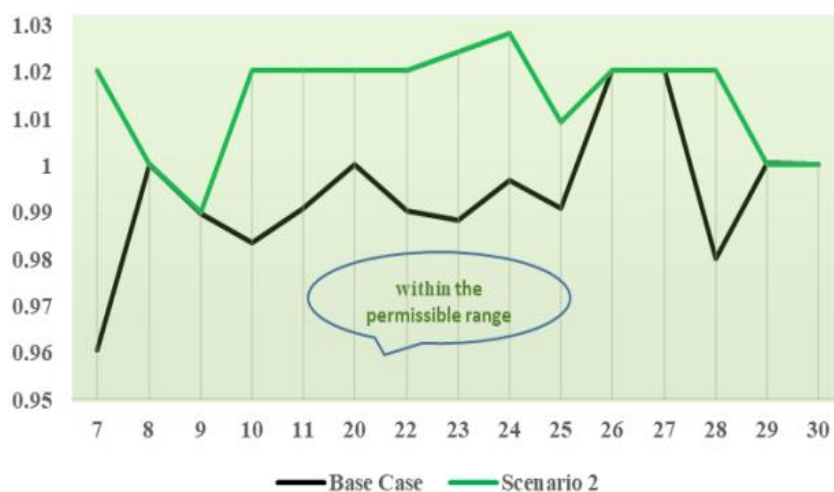


Рисунок 3.10 – Профіль напруги в південній області S2.

З рисунка 3.11 зазначаємо, що втрати дуже зменшилися різко (менше, ніж у базовому випадку). Це пов'язано з додаванням поновлюваних джерел енергії (WT), як я згадував раніше. Отже, виробництво і споживання стали близькими в кожному регіоні, як показано в таблиці 3.6.

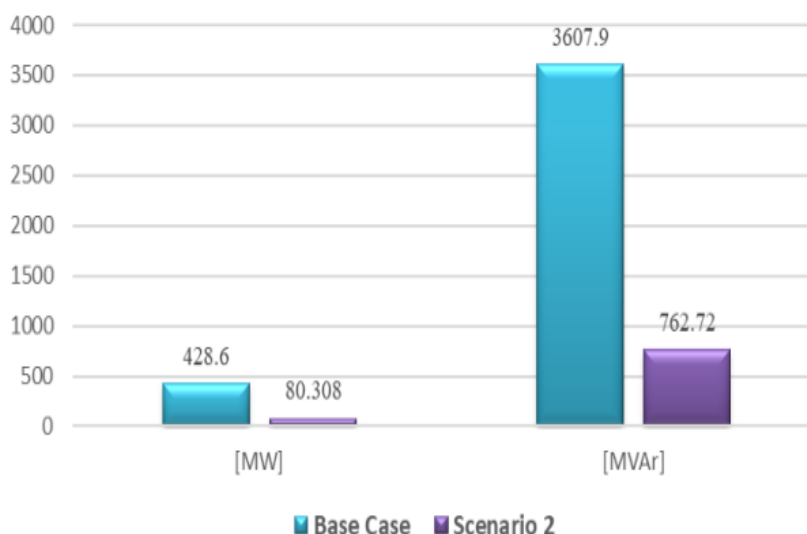


Рисунок 3.11 – Загальні втрати в системі S2.

II. Третій сценарій – Нічний сценарій. За цим сценарієм ми це зробимо взяти 75% загального виробництва системи та 75% загальної системи Споживання, генерація в цьому сценарії становить (70% класична генерація + 30% відновлюваної енергії), відновлюваним джерелом енергії (ВДЕ) є вітряна турбіна тільки (WT), ферми Wind Turbine (WT) потужністю 700, 500, 500, 250, 250 та 358 МВт на автобусах 7, 10, 11, 20, 22, 28 відповідно (півд. регіон).

На рисунку 3.12 зазначаємо, що напруги покращилися для всіх шин. За винятком напруги шини 14, вона залишалася високою на рівні 1,12 P.U, оскільки вона є пов'язані з навантаженнями, а не з генерацією, і їх неможливо контролювати. Високий напруги зменшилися до 1,05 р.у., оскільки напруги генерації були оновлені а решта автобусів покращено завдяки використанню відновлюваних джерел енергії а також зниження на 25% навантажень.

Зауважимо, що на Півдні покращили напругу в усіх регіонах, завдяки додаванню в цей регіон відновлюваних джерел енергії, а також 25% зменшення навантажень, як показано на рис. 3.13.

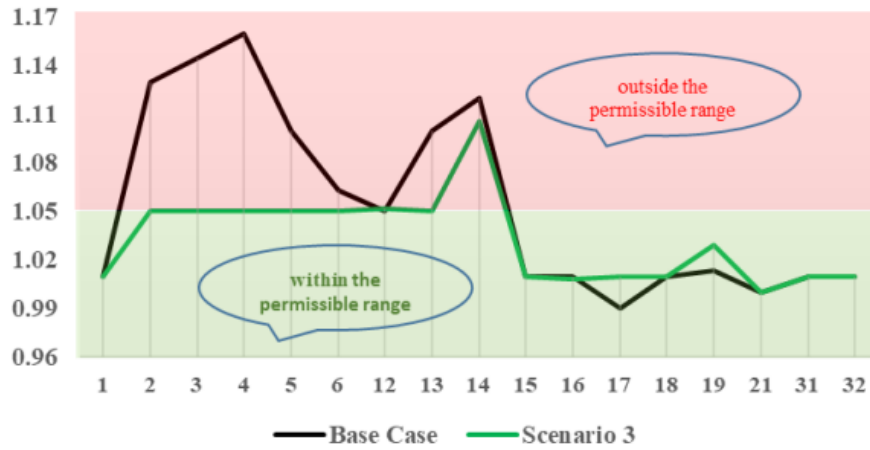


Рисунок 3.12. Профіль напруги в північній області S3.

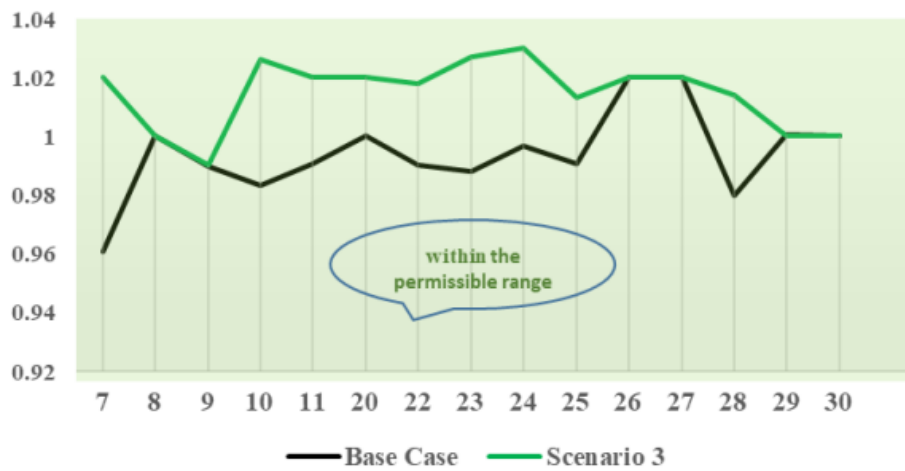


Рисунок 3.13 – Профіль напруги в південному регіоні S3.

Також зазначимо, що втрати різко зменшилися з базовий варіант, як показано на рис. 3.15. Це пов'язано зі зменшенням навантаження на 25 % і додавання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) до південного регіону, який є характеризується високими навантаженнями та низькою генерацією, як я вже згадував раніше, Таким чином, виробництво та споживання стали близькими в більшості регіонів після додавання ВДЕ, як показано на рис. 3.14.

Уточнення для всіх сценаріїв Якщо ми подивимося на рис. 3.16 і 3.17, то побачимо, що напруги покращено в усіх сценаріях, у сценаріях (полудень S1, вечір S2 і ніч S3), в якому до системи додано відновлювані джерела енергії, напруги покращено у всіх автобусах, особливо в південному регіоні, і це завдяки додавання відновлюваних джерел енергії.

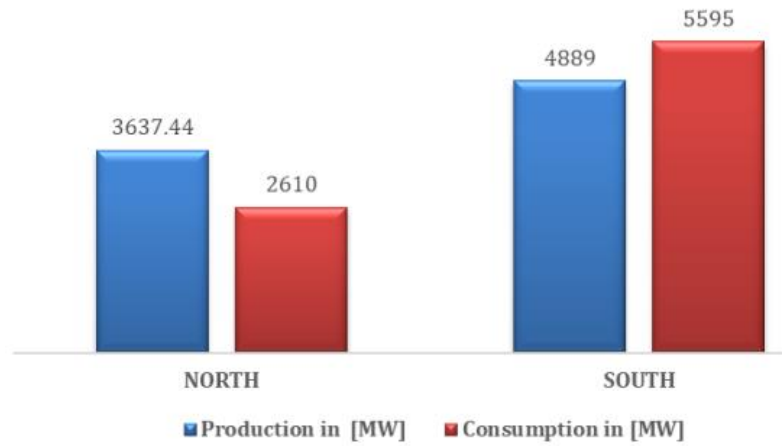


Рисунок 3.14 – Виробництво та споживання кожного регіону S3.

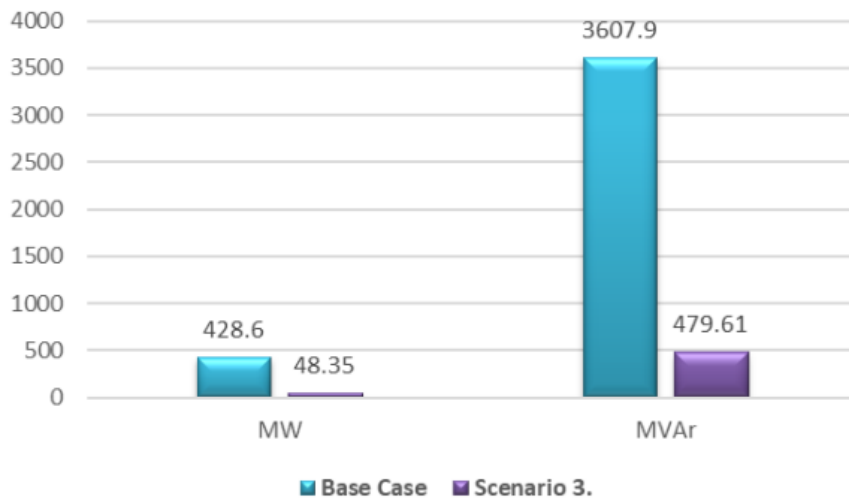


Рисунок 3.15 – Загальні втрати потужності в системі.

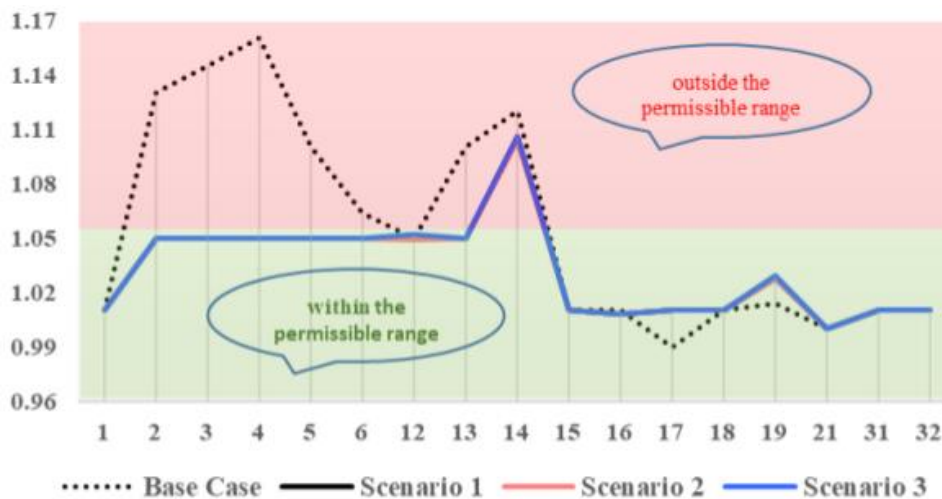


Рисунок 3.16 – Профіль напруги в північному регіоні для всіх сценаріїв.

З рисунку 3.18: – помічаємо, що втрати за опівдні – першим сценарієм були значно скорочується через додавання відновлюваних джерел енергії на

південні зони з низькою генерацією, також за рахунок зниження навантажень на 10% від системи, тому що навантаження зосереджені в регіоні Пд.

– У Вечірньому – першому сценарії втрати значно зменшилися незважаючи на те, що навантаження залишалися постійними, тому що ми зменшили класичну генерацію на 30%, замінивши її на відновлюване джерело енергії, які є лише вітровою турбіною, а вітряна турбіна була додана до південного регіону, який характеризується низькою генерацією та високими навантаженнями, тому втрати різко зменшилися.

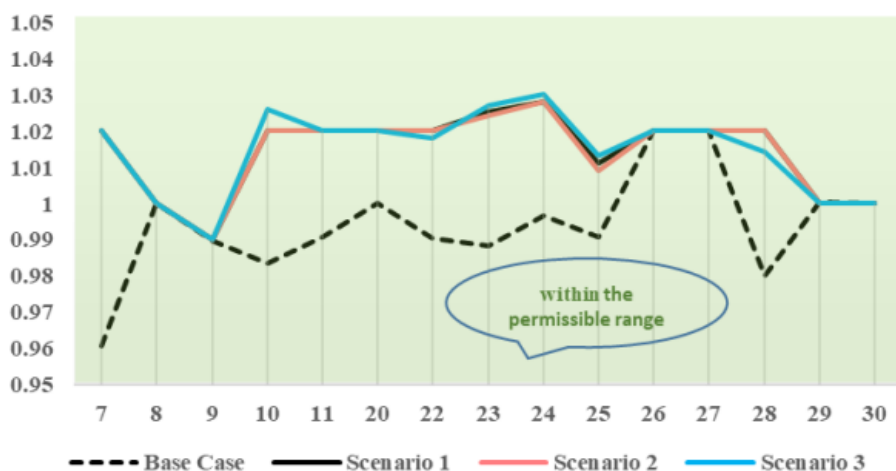


Рисунок 3.17 – Профіль напруги в південному регіоні для всіх сценаріїв.

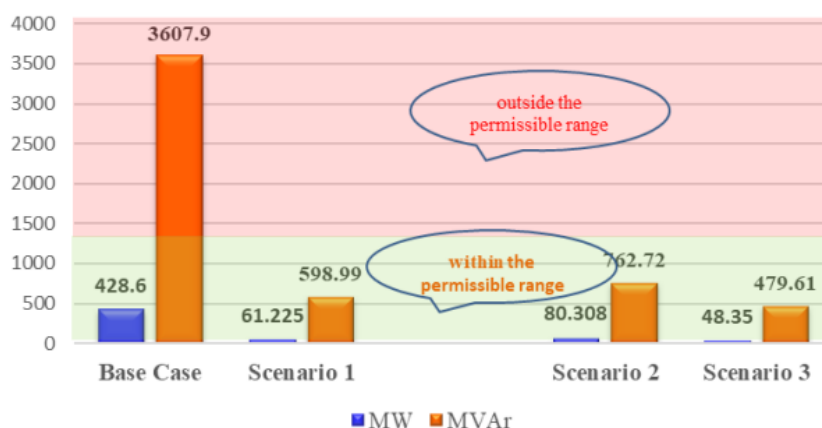


Рисунок 3.18 – Загальні втрати в системі для всіх сценаріїв.

– У нічному – першому сценарії втрати різко зменшилися, і він вважається найкращим серед сценаріїв, а також найкращим робочий стан системи, і це пов'язано з двома причинами, першою є зниження споживання на 25% навантажень системи, а друге – до додати відновлювані джерела енергії на півдні, де в попередньому випадку у південному регіоні було мало виробництв і багато споживання прийшло до нього з півночі. 5.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля

Система управління охороною праці (СУОП) – це сукупність органів управління підприємством, які на підставі комплексу нормативної документації проводять цілеспрямовану, планомірну діяльність щодо здійснення завдань і функцій управління з метою забезпечення здорових безпечних і високопродуктивних умов праці. За дану частину виробництва відповідає інженер з охорони праці. Головне завдання спеціаліста – створення здорових, безпечних і високопродуктивних умов праці, покращення виробничого побуту, запобігання травматизму і профзахворюванням.

Для забезпечення створення СУОП щорічно розробляються та затверджуються на підприємстві положення про організацію управління охорони праці; щорічно оформляються накази про призначення осіб відповідальних за стан охорони праці на дільницях, а також безпечне використання об'єктів підвищеної небезпеки (котлів, що працюють під тиском, газових та кисневих балонів, пестицидів); оформляються наказ про визначення персональних обов'язків з охорони праці усіх спеціалізацій, керівників дільниць та інших службових осіб; щорічно проводиться паспортизація умов праці, технічних засобів безпеки і технічного стану робочих місць; складаються плани роботи з охорони праці, комплексне, річне і оперативне планування; організовуються заходи матеріального і морального стимулювання щодо охорони праці; проводяться розслідування і вивчення причин травм, пожеж їх аналіз і облік, а також розробляються заходи щодо їх застосування;

Об'єктом управління є діяльність структурних підрозділів та служб підприємства по забезпеченню безпечних і здорових умов праці на робочих місцях, виробничих дільницях, цехах та підприємства в цілому.

4.2 Протипожежна безпека і грозозахист

Блискавко захист – це комплекс захисних захистів від блискавки, які гарантують безпеку людей, збереження людей і споруд, обладнання та матеріалів від вибухів, загоряння й руйнування. Найпростішими і надійними засобами від блискавки є створення блискавковідводів. Схема блискавкозахисту будівлі показана на рис. 4.1.

Струмопровід виконується сталюю стрічкою перерізом 25...30 мм або дротом не менше 6 мм. Заземлення виконується кутовою сталлю, трубами на відстані від установки не менше 4,5 м. Опір розтікання не повинен перевищувати 15...20 Ом.

Приймаємо початкову висоту блискавковідводу 8 метрів. Визначаємо радіус конуса, в якому ймовірність попадання 95%, через висоту конуса h за формулою (4.1):

$$R_0 = 1.5 \cdot h, \text{ м. } R_0 = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ м.}$$

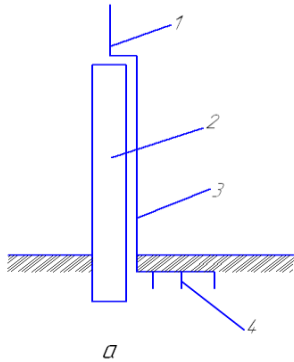


Рисунок 4.1 – Схема блискавко захисту конструкції; 1 – блискавко приймач, 2 – блискавко провідник; 3 – опора, 4 – заземлювач.

Для будинку довжиною L кількість одиночних блискавковідводів визначаємо через радіус конуса R_0 в якому ймовірність попадання 95% за формулою:

$$N_{\text{б}} = \frac{L}{2R_0}, \text{ шт, } N_{\text{б}} = \frac{86}{2 \cdot 4} = 11 \text{ шт.}$$

Усі з'єднання в процесі монтажу системи блискавко захисту (Блискавко приймач – струмовідвід, струмовід – заземлювач) виконують за допомогою зварювання. Болтові з'єднання застосовують лише для тимчасових блискавко захисних пристроїв.

РОЗДІЛ 5. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

5.1 Оцінка економічної ефективності використання електростанцій на основі відновлювальних джерел енергії в електричній мережі

Оцінки економічної ефективності використання електростанцій на основі відновлювальних джерел енергії в електричній мережі виконано техніко-економічний аналіз наприкладі сонячної електростанції. Під час використання сонячної електростанції властива одна проблема – це максимальна різниця між виробництвом та споживанням електроенергії влітку та взимку, що зумовлено вищим рівнем сонячного випромінювання. Ціна 1 кВт·год за «зеленим тарифом» для сонячних електростанцій, введених в експлуатацію після 1 січня 2023 року, становить 0,1\$ (3,78 грн), що робить його вигідним, з огляду на те, що установка окупається за 2,2 роки. Для індивідуальних споживачів вартість 1 кВт·год становить 2,64 грн. Після аналізу річного споживання електроенергії житловим приміщенням (1095,8 кВт) та річного вироблення сонячною станцією (1619 кВт) стає очевидним, що виробництво перевищує споживання приблизно в 1,5 рази. Сума за спожиту електроенергію з мережі (див. табл. 5.1) становить 2892,91 грн, тоді як прибуток від продажу електроенергії, виробленої сонячною установкою, може досягати 6163,65 грн.

Термін окупності знайдемо за формулою:

$$T = \frac{B_{уст.}}{B_{зг} - B_{сп.}} = \frac{7208}{6163,65 - 2892,91} = 2,2 \text{ роки,}$$

де $B_{уст.}$ – вартість установки; $B_{зг}$ – вартість згенерованої електроенергії; $B_{сп.}$ – вартість спожитої електроенергії.

Таблиця 5.1 – Споживання електричної енергії квартири за січень.

Номер дня в році	Дата	Споживання, кВт·год	Генерація СЕС, кВт·год	Ціна за спожитою ел. ен., грн.	Ціна згенерованої ел.ел., грн.	Різниця по потужності, кВт·год	Різниця по ціні, грн.
1	Січень	104,9	112,2	276,94	467,96	7,3	191,02
2	Лютий	108,1	110,8	285,38	418,82	2,7	133,44
3	Березень	95,3	111,9	251,59	422,98	16,6	171,39
4	Квітень	90,5	130,8	238,92	494,42	40,3	255,5
5	Травень	88,7	140,8	234,17	532,22	52,1	298,05
6	Червень	80,2	170,6	211,73	644,87	90,4	433,14
7	Липень	80,3	178,9	211,99	676,24	98,6	464,25
8	Серпень	79,8	175,1	210,67	661,88	95,3	451,21
9	Вересень	83,5	130,2	220,44	492,16	46,7	271,72
10	Жовтень	87,6	125,3	231,26	473,63	37,7	242,37
11	Листопад	93,2	121,9	246,05	460,78	28,7	214,73
12	Грудень	103,7	110,5	273,77	417,69	6,8	143,92
	Σ	1095,8	1619	2892,91	6163,65	523,2	3270,74

Наведені вище розрахунки демонструють можливість досягти енергетичної незалежності за допомогою відновлюваної енергії, з окупністю за 2,2 роки. Чим більше людей встановлять такі сонячні електростанції, тим менша буде потреба в використанні традиційних джерел енергії, таких як газ, вугілля та рідке паливо, для роботи теплових електростанцій, що негативно впливають на довкілля.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У цій роботі вивчали регулювання напруги, в тому числі РЕЗ, на системі живлення Nordic 32-Bus. Тут була змодельована система за допомогою кілька програмних засобів для аналізу, таких як DIgSILENT Powerfactory та MATPOWER середовища Matlab за допомогою використання Ньютон-Рафсона метод. Проаналізували кілька сценаріїв протягом дня, щоб проілюструвати це коливання навантажень і генерації, а також те, якою може бути відновлювані джерела енергії, що використовується для покращення роботи системи. Перед включенням нової потужності установок в енергосистему, необхідно оцінити адекватність роботи над довгострокові масштаби та наслідки для балансування системи та динамічної стабільності в найкоротші терміни. вітрових турбін і фотоелектричної енергії впровадження впливає на управління та ефективність енергосистеми. Оптимальна традиційна суміш генерації може коливатися з більшими частками вітрові та фотоелектричні турбіни для забезпечення безпеки оперативного і в надійність на прийнятному рівні. Тут спостерігали вплив відновлюваних джерел енергії на систему та його корисність для всієї системи в покращенні та мінімізації напруги втрати.

Крім того в роботі, обґрунтовано вплив відновлюваних джерела енергії на роботу енергосистеми та включення відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в енергосистему NORDIC 32-Bus, в тому числі вітрові турбіни (WT) і фотоелектричні (PV) ферми і розробили кілька сценаріїв, які враховують зміну споживання та генерації протягом день.

Оскільки напруга деяких систем виходить за межі допустимої межі, а також відсоток втрат в системі високий. Методика роботи буде по розподіл відновлюваних джерел енергії в регіонах з високим і низьким споживанням генерації, що призводить до поліпшення рівня напруги і в межах допустимого під час моделювання енергетичної системи Nordic32.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: Вид-во ЛНАУ, 2008. 135 с.
2. Гальчак В. П., Дмитрів Г. М. Розрахунок енергетичних параметрів гібридної системи теплопостачання фермерського будинку. Метод. вказівки до виконання курсового проекту. Львів, ЛДАУ, 2005. 36 с.
3. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: Навч. посіб. Львів: "Магнолія 2006", 2008. 188 с.
4. Жуковський С. С., Лабай В. Й. Системи енергопостачання і забезпечення мікроклімату будинків та споруд: Навч. пос. для ВЗО. Львів: Астрономо-геодезичне товариство, 2000. 259 с.
5. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. 984 с.
6. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. К.: НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
7. Маляренко В. А. Основи теплофізики будівель та енергозбереження. Підручник. 2-е видання. Х.: Видавництво САГА, 2010. 484 с.
8. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс. Х.: В-во САГША, 2008. 320 с.
9. Саницький М. А., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 236 с.
10. <https://uniclimate.com.ua/products/teplovi-nasosy-dlya-pryvatnogo-budynku/cooperhunter-unitherm-3-all-in-one-ch-hp12wtsirk3/>
11. <https://uniclimate.com.ua/wp-content/uploads/2023/02/instrukciya-unitherm3-aio-ua.pdf>

12. https://cooperhunter-aircon.com/?gclid=Cj0KCQjw7aqkBhDPARIsAKGa0oLWwriPnZqdYFkAdTEGwILGKZiUW6zYhudeqKqlb11QuAZmcjiDyL0aAqmlEALw_wcB
13. R. K. Sarojini, K. Palanisamy and E. De Tuglie, “A fuzzy logic- based emulated inertia control to a supercapacitor system to improve inertia in a low inertia grid with renewables,” *Energies*, Vol. 15, no. 4, Article ID 1333, 2022.
14. O. Abdel-Rahim and E. Abdelhameed, “Ultimate transformerless boost DC-DC converter for renewable energy applications,” *SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications*, Vol. 2, no. 2, pp. 63–69, 2021.
15. J. B. Holm-Nielsen, and D. Almakhlles, “A hybrid PV-battery system for ON-grid and OFF-grid applications-controller in loop simulation validation,” *Energies*, Vol. 13, №. 3, P. 755, 2020.
16. V. Burlaka, S. Gulakov, S. Podnebennaya, E. Kudinova, and O. Savenko, “Bidirectional single stage isolated DC-AC converter,” in *Proceedings of the 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, PP. 343–346, IEEE, Kharkiv, Ukraine, 2020, October.
17. S. Deshmukh, A. R. Thorat, and I. Korachagaon, “Modelling and analysis of PV standalone system with energy management scheme,” in *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)*, PP. 1–5, IEEE, Bangalore, India, 2020, July.
18. K. Amer, M. Fakher, S. Ahmad, M. Irhouma, S. Altafbaou and E. Salem, “Performance of domestic solar heating system with thermal storage using phase change materials,” *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol. 16, no. 9, PP. 01–11, 2020.
19. E. S. Harsha, R. K. Nema, S. Nema, and R. D. Kulkarni, “Design & Simulation of high gain ratio Bidirectional converter for energy storage applications,” in *Proceedings of the 2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE)*, pp. 1–6, IEEE, Keonjhar, India, 2020, July.

20. Y. Nassar, S. Alsadi, K. Amer, A. Yousef, and M. Fagher, "Numerical analysis and optimization of area contribution of the PV cells in the PV/T flat-plate solar air heating collector," *Solar Energy Research Update*, Vol. 6, PP. 43–50, 2019.
21. M. Schroeder and J. Jaeger, "Advanced energy flow control concept of an MMC for unrestricted operation as a multiport device," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 34, №. 11, PP. 11–496, 2019.
22. M. S. Chinthavali, J. Sun, P. R. V. Marthi, S. Chinthavali, S. Lee and M. Elizondo, *Models and Methods for Assessing the Value of Hvdc And Mvdc Technologies in Modern Power Grids*, Pacific Northwest National Lab, United States, May 2019.
23. S. Yassin Alsadi and Y. Fathi Nassar, "A general expression for the shadow geometry for fixed mode horizontal, step-like structure and inclined solar fields," *Solar Energy*, Vol. 181, PP. 53–69, 2019.
- A. Hafez, Y. Nassar, M. Hammdan, and S. Alsadi, "Technical and economic feasibility of utility-scale solar energy conversion systems in Saudi arabia," *Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Electrical Engineering*, Vol. 44, PP. 213–225, 2020.
24. H. Bayat and A. Yazdani, "A hybrid MMC-based photovoltaic and battery energy storage system," *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, Vol. 6, №. 1, PP. 32–40, 2019.
25. M. Kumar, "Solar PV based DC microgrid under partial shading condition with battery- Part 2: energy management system," in *Proceedings of the 2018 8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, PP. 1–6, IEEE, Jaipur, India, 2018, December.

ДОДАТКИ

А. 1 Вплив відновлюваних джерел енергії на роботу та стабільність електричних розподільних мереж

Відповідальність за безпеку і надійність системи покладається виключно на оператора системи, який піклується про підтримку частоти системи, обмін реактивною потужністю та відновлення живлення на випадок збоїв. Підключення великої кількості нових розподілених джерел, зокрема енергії вітру рослин на системі значно зростає потреба в додаткові системні послуги (наприклад регулювання активної потужності і частоти, реактивної потужності), щоб дозволена потужність вітрових електростанцій, які можна підключити до передачі та розподілу але мережа в Українській енергосистемі в даний час обмежена до 360 МВт, в основному визначається нормативно потужності діючих станцій енергосистеми [6]. Збільшення кількості силових установок, здатних надання допоміжних послуг сприятиме більшій можливості «вирівнювання» змінної вітроенергетики. Служби підтримки бувають вторинними і третинними керування, виробництво реактивної потужності, здатність до запуску експлуатації електростанції, готовність працювати на її власне споживання, готовність до негайного запуску [7].

Основні технічні вимоги до підключення використані джерела до мережі розповсюдження (наведено в Grid System Rules [2] та стандарти EN 50160, EN 61000 та бюлетень НЕР № 66 [8]), де визначте основні впливи на систему:

- Відхилення частоти. Номінальна частота системи живлення становить 50,00 Гц, частота допуск при нормальній роботі становить ± 50 МГц, при цьому тимчасовий стаціонарний стан становить ± 180 МГц. В даний час допускається відхилення від номінального значення не перевищує ± 800 МГц.

- Відхилення напруги. Допустимі відхилення від номінального це: Для низької напруги (0,4 кВ): протягом одного тиждень, 95% від 10-хвилинного середнього ефективного напруга повинна бути в діапазоні $\pm 10\% V_n$. Усі 10-хвилинні середні значення ефективною напруги має бути в діапазоні $V_n +10\% / -15\%$. Для середньої напруги (10 кВ, 20 кВ, 30 кВ і 35 кВ) протягом одного

тижня, 95% від 10-хвилинна середня ефективна напруга повинна бути в діапазоні $\pm 10\% U_n$.

- Форма хвилі напруги. Коефіцієнт сумарних гармонійних спотворень напруги (THD), викликані підключенням електростанцій в точці підключення до мережі не повинні перевищувати для рівня напруги 0,4 кВ: 2,5% на 10 а 20 кВ: 2,0%, а для 30 і 35 кВ: 1,5%. Ці значення відносяться до 95% середнього значення за 10 хвилин ефективної напруги протягом одного тижня. Значення мерехтіння, спричинені підключенням електростанцій у точці приєднання до мережі не повинна перевищувати 0,7 для коротких мерехтінь і 0,5 для більш тривалого мерехтіння.

- Асиметрія напруги. Виникла асиметрія напруги в місці передачі виробником електроенергії не повинна перевищувати 1,3% номінальної напруги при 95% 10-хвилинного середнього вік ефективної напруги протягом одного тижня.

- Робоче та захисне заземлення. Власник заводу повинен заземлити його об'єкт та установок відповідно до технічної нормативи та стандарту. Вони повинні взяти до уваги розгляд умов, що впливають з способів заземлення нейтральної точки розподільної мережі, до якої він підключається.

- Рівень короткого замикання. Завод підключений до мережі повинен бути сконструйований таким чином, щоб він витримував коротке замикання струми кола без пошкоджень. Інформація про очікувані струми короткого замикання забезпечують оператор системи розподілу та конструкторське обладнання.

- Рівні ізоляції. Ізоляція обладнання на заводі має бути підписаний відповідно до рівня напруги при до якого він приєднується. Рівні ізоляції обладнання при напруга 10 кВ повинна відповідати рівню ізоляції 20 кВ для можливого переходу на вищий рівень напруги.

- Захист від збоїв і несправностей. Захист джерел має відповідати рекламним прирівняти захист у системі розподілу збоїв на заводі виробника не

буде викликати збої в системі розподілу або з іншими користувачами мережі. Важливо встановити час перерви в подачі та досягнення селективності.

- Коефіцієнт потужності. Розподілене джерело також має генерувати і віддавати реактивну енергію в межах 0-75% виробленої енергії, що відповідає потужності коефіцієнт від 1 до 0,8 ємнісний залежно від напруги умови розподіленого джерела і навантаження в мережі. Якщо електростанція, за рахунок оператор системи передачі, необхідний для доставки потужності до коефіцієнта потужності $\cos\varphi < 0,95$ (індуктивний або ємнісний), він має право на компенсацію витрат через збільшення втрат (I^2R).

А. 2 Вплив відновлюваних джерел енергії на ступінь напруги та стабільність роботи електричних розподільних мереж

Змінюється підключення нових виробників електроенергії умов у розподільчій мережі зазвичай призводить в рельєфі розподільної мережі. Якщо встановлено потужність електростанцій на конкретній території менше ніж величина навантаження в цій області може бути загалом. Вважається, що електростанція має позитивний ефект про енергетичну ситуацію в розподільчій мережі. Якщо поточна потужність електростанцій, підключених до розподільних мереж перевищує навантаження в цій області, повернення електроенергії з розподільчої мережі можна очікувати роботи в мережі передачі. Стає активною дистриб'юторська мережа, яка часто збільшує інвестиції в мережу, щоб увімкнути підключення заводів до розподільної мережі. Це також призводить до збільшення потоків електроенергії в мережі, змінюючи напрямок енергії в бік вищої напруги рівнів і збільшення втрат у цій частині розподілу мережі. Розподільча мережа має радіальну структуру.

Спрощено, живиться від підстанцій ВН/СН, від які лінії радіально живлять споживачів, отже комутаційна апаратура, захист і управління адаптований до практики радіального одностороннього потоку потужність.

Підключення електростанції до розподільної мережі (приклад наведено на рис. 1, подібно до [10]) призвели до зміни потоків потужності в розподілі мережі, які крім іншого змінюють напругу умов у збутовій мережі [9].

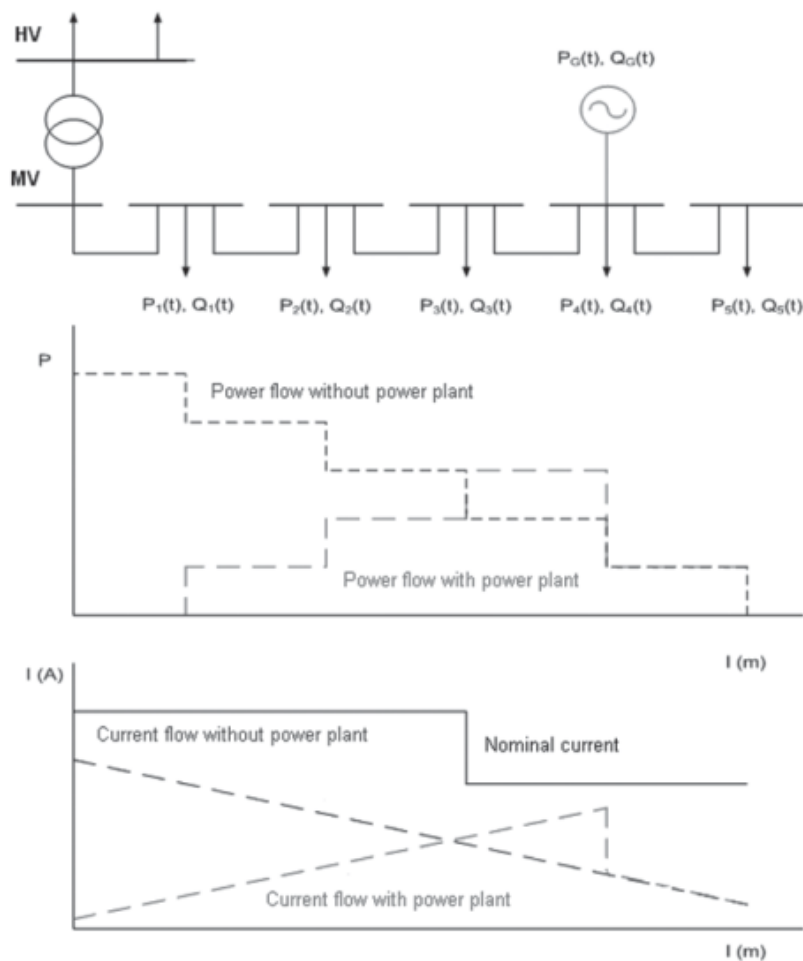


Рисунок 1 – Приклад підключення електростанції на радіальну лінію

А. 3 Вплив відновлюваних джерел енергії на струми короткого замикання та стабільність роботи електричних розподільних мереж

Найпоширенішими збоями в системі живлення є короткі замикання. З огляду на тип, вони оцінюються від однополюсного до двополюсного та триполюсного короткого замикання розриви з низьким опором до місця пошкодження, передбачити струми короткого замикання є важливим завданням через можливе пошкодження обладнання і надмірне коротке замикання струми, а також налаштування захисних пристроїв для виявлення мінімального короткого замикання.

Результати аналіз короткого замикання використовується для доступу до необхідного рівня комутаційної потужності окремих перемикачів, які повинні бути більшими за максимальне коротке замикання потужність. Крім визначення розмірів обладнання, цей аналіз проводиться з метою перевірки жорсткості сітки, робота на точці приєднання заводу. Існує три значення важливого для вибору обладнання в енергосистемі незалежно від того, який тип короткого замикання є найменшим:

1. ударний струм короткого замикання (максимальне значення струму короткого замикання з моменту його створення, це важливо для визначення максимального динамічне напруження елементів мережі),

2. комутаційний струм короткого замикання (діюче значення струму короткого замикання, що протікає через перемикач під час відокремлення його потужність),

3. струм актуальний для потепління за тривалістю струму короткого замикання (діюче значення к.з струму ланцюга в момент виникнення короткого замикання ланцюга до розриву короткого замикання).

Вплив силового агрегату на рівень короткого замикання в мережі залежить від її продуктивності. Існування блоків розподіленої генерації які мають безпосередньо підключені синхронні або асинхронні генератори в розподільній мережі впливають збільшення струму короткого замикання, а отже, короткого замикання відключаючи потужність. Під час будівництва розподільчої мережі в деяких випадках необхідно використовувати розподілені джерела замінити комутаційні елементи через підвищені рівні струму короткого замикання. Для дистриб'юторської мережі потужність короткого замикання максимальна зазвичай у HV/MV трансформаторний вузол.

У разі підключення електростанції, необхідно перевірити потужність короткого замикання в кожному у разі підключення та якщо буде визнано за необхідне тримайте його кількість у прийнятному діапазоні, використовуючи відповідні заходи всередині підприємства.

А. 4 Вплив відновлюваних джерел енергії на операційне управління та стабільність роботи електричних розподільних мереж

Поточна практика експлуатації, управління розподільними пристроями, регулювання напруги та захист розподілу мережі здійснюються відповідно до розподільних мережа, побудована для одностороннього потоку від високовольтних підстанцій до споживачів на середній та низькій напрузі. У точці підключення до розподільної мережі роботи встановлений вимикач для відокремлення електростанції від паралельної роботи з розподільчою мережею з міркувань безпеки. Управління вимикачем місцеве і може бути віддаленим. Особливою проблемою є небезпека асинхронне ввімкнення розподільчої мережі. Тому взаємне блокування роз'єднувачів з іншими комутаційними апаратами заводу запобігає асинхронному підключенню до розподільної мережі. У розподільній мережі, а також на електростанції, необхідно забезпечити умови (блокування), що під час виконання автоматичного перезапуску неможливо перейти до асинхронного перезапуску.

Схема генератора переривник є звичайним місцем генератора синхронізації для роботи системи розподілу центр повинен мати доступні дані про те, як завод працює, на постачання/придбання електроенергії в/з мережі, на позиції відключення вимикачі та виконання безпечного заземлення і коротке замикання. Оператор системи розподілу керує роботою системи таким чином, щоб забезпечити її безперешкодне функціонування доставка електроенергії від електростанцій. В разі будь-якої небезпеки або несправності, від'єднайте перемикач для поділу, відокремити електростанцію від паралельної роботи з системою розподілу лише тоді, коли всі вимоги для безпечної та надійної експлуатації виконано.