УДК 621.316.13

ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕННОЇ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ АКТИВНИХ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ

ДАНИЛЬЧЕНКО Д.О. кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри передачі електричної енергії; м. Харків, Україна; ORCID: https://orcid.org/ 0000-0001-7912-1849; e-mail: dmytro.danylchenko@khpi.edu.ua;

КУЗНЕЦОВ Д.С. аспірант кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: https://orcid.org/0009-0003-1543-7854; e-mail: dmytro.kuznetsov@ieee.khpi.edu.ua.

Мета роботи. *Вдосконалення метода оптимізації активних втрат потужності в мережах із використанням динамічного управління параметрами конденсаторних установок, враховуючи змінність генерації та навантажень.*

Методи дослідження. *Аналіз електричної системи, змодельованої в MATLAB, із використанням елементів відновлювальних джерел енергетики та конденсаторних установок. Виконується дослідження оптимізації активних втрат потужності за рахунок застосування удосконаленої цільової функції, яка включає в себе багатофакторність системи та певні обмеження. Проведено порівняння активних втрат та їх змін при наявності в електричній мережі відновлювальних джерел енергетики та конденсаторних установок.*

Отримані результати. *Отримані результати моделювання демонструють практичну придатність запропонованого метода для зниження активних втрат у системі. Це, у свою чергу, веде до скорочення витрат на експлуатацію та обслуговування мереж, зменшення енергетичних втрат, а також до покращення якості енергопостачання. Зниження активних втрат сприяє підвищенню економічної ефективності енергосистеми.*

Моделювання в MATLAB/Simulink надає можливість проводити аналіз для оцінки поведінки системи в різних умовах роботи, таких як пікові навантаження або різкі коливання генерації. Це дозволяє забезпечити гнучкість і адаптивність енергосистеми до реальних умов експлуатації.

Отримані результати також сприяють вирішенню завдань сталого розвитку, оскільки вони забезпечують ефективну інтеграцію ВДЕ без погіршення стабільності та параметрів мережі.

Наукова новизна. *Запропоновано комплексне моделювання роботи енергосистеми з урахуванням динамічного управління конденсаторними установками та інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), що дозволяє оцінювати ефективність різних компенсаційних заходів та їх вплив на активні втрати. Наукова новизна полягає у створенні моделі, яка враховує змінний характер навантаження, параметри ліній електропередачі та нестабільну генерацію ВДЕ, забезпечуючи комплексний підхід до оптимізації роботи енергосистеми.*

Практична цінність. *Вдосконалення цільової функції для мінімізації активних втрат потужності, шляхом додавання в функцію генерації конденсаторних установок, зміну генерацію відновлюваних джерел енергії, зміне навантаження ПС (активне та реактивне), це дозволило більш точно оцінити вплив реактивної потужності та інтеграції ВДЕ на активні втрати, підвищити ефективність управління енергосистемою за рахунок врахування реальних умов роботи системи (динаміка навантаження та генерації).*

Ключові слова: цільова функція, відновлювальні джерела електроенергії, конденсаторні установки, моделювання, активні втрати, ефективність.

I. ВСТУП

Компенсація реактивної потужності є ключовою стратегією для підвищення ефективності електричних мереж, включаючи системи з відновлювальними джерелами електроенергії (ВДЕ). Реактивна потужність не виконує корисну роботу, але вона необхідна для підтримки електромагнітних полів в обладнанні. Її наявність у мережі призводить до додаткових втрат енергії, зменшення пропускної здатності мережі та підвищення навантаження на обладнання [1].

Актуальність компенсації реактивної потужності полягає в:

1. Зростаючих енергетичних потребах. Сучасні економіки і суспільства залежать від стабільного та ефективного енергопостачання. Зростання споживання електроенергії у промисловості, комерції та побутовому секторі вимагає ефективного управління енергетичними ресурсами, включаючи реактивну потужність;

2. Підвищення енергоефективності. Ефективне використання енергії стає пріоритетом через обмеженість ресурсів та екологічні проблеми. Компенсація реактивної потужності дозволяє зменшити втрати електроенергії в мережах, що сприяє загальному підвищенню енергоефективності;

© Данильченко Д.О., Кузнецов Д.С., 2024
DOI 10.15588/1607-6761-2024-4-1

3. Зменшення витрат. Зменшення втрат енергії і підвищення пропускної здатності мережі дозволяє зменшити операційні витрати на передачу та розподіл електроенергії. Це також зменшує потребу в інвестиціях у нову інфраструктуру;

4. Стабілізація електричних мереж. Коливання напруги і нестабільність у роботі мереж можуть призводити до пошкоджень обладнання і втрат виробництва. Компенсація реактивної потужності допомагає підтримувати стабільні рівні напруги, що сприяє безпечній та надійній роботі електричних мереж;

5. Підтримка інтеграції відновлюваних джерел енергії. Інтеграція відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, вимагає додаткового управління реактивною потужністю для забезпечення стабільності мережі через їхню змінність і непередбачуваність.

Компенсація реактивної потужності залишається надзвичайно актуальною через постійне зростання енергетичних потреб, необхідність підвищення енергоефективності, зменшення витрат, стабілізацію електричних мереж і підтримку інтеграції відновлюваних джерел енергії. Впровадження сучасних технологій компенсації дозволяє оптимізувати роботу електричних мереж, забезпечуючи їхню надійність і ефективність. Вибір конкретного методу або технології залежить від особливостей мережі, економічних міркувань та технічних вимог.

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У сучасних електроенергетичних системах, інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) значно впливає на режими роботи мережі, зокрема на розподіл реактивної потужності та рівень активних втрат. Використання конденсаторних установок для компенсації реактивної потужності є одним із ефективних методів зниження цих втрат.

У навчальному посібнику [2] розглянуто структуру та причини втрат електроенергії в електричних мережах, а також методи їх зниження. Особлива увага приділяється оптимальному керуванню режимами електроенергетичних систем для мінімізації втрат під час транспортування та розподілу електроенергії.

У конспекті лекцій [3] детально описано математичні методи оптимізації режимів роботи електроенергетичних систем. Зокрема, розглядається задача мінімізації втрат активної потужності в мережі шляхом використання принципу найменшої дії та застосування пристроїв компенсації реактивної потужності.

У статті [4] досліджується ефективність застосування керованих пристроїв компенсації реактивної потужності для зниження втрат електроенергії та оптимізації вибору перетину повітряних ліній електропередачі. Результати свідчать про доцільність використання таких пристроїв у мережах з ВДЕ.

У монографії [5] розглядаються методи оптимізації режимів роботи електричних мереж з інтегрованими ВДЕ. Особлива увага приділяється питанням компенсації реактивної потужності та мінімізації втрат електроенергії.

В роботі [6] досліджуються методи визначення оптимальних рівнів компенсації реактивної потужності в мережах з розосередженими джерелами генерації, що сприяє зниженню втрат та підвищенню ефективності роботи системи

У статті [7] пропонується концепція ринку реактивної потужності для майбутніх електричних мереж з високим рівнем проникнення ВДЕ. Розглядаються механізми компенсації реактивної потужності та їх вплив на стабільність та ефективність роботи мережі.

Аналіз літературних джерел свідчить про актуальність теми мінімізації активних втрат потужності в електричних мережах з ВДЕ шляхом застосування конденсаторних установок. Різні дослідники пропонують математичні моделі та практичні підходи для оптимізації режимів роботи таких систем, підкреслюючи важливість комплексного підходу до вирішення цієї проблеми.

III. МЕТА РОБОТИ

Вдосконалення метода оптимізації активних втрат потужності в мережах із вико-ристанням динамічного управління параметрами конденсаторних установок, враховуючи змінність гене-рації та навантажень.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГУ МАТЕРИАЛУ І АНАЛІЗ ОТРИМАННИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Метою моделювання є мінімізація втрат потужності в системі з урахуванням тимчасових змін генерації та навантаження, а також динамічного регулювання конденсаторних установок [13]-[14].

Для моделювання енергомережі 35/10кВ будуть використовуватися наступні елементи:

- джерело живлення або балансуючий вузол 35кВ;
- лінії електропередачі;
- активне та реактивне навантаження 10кВ;
- відновлювальні джерела електроенергії 35кВ;
- трансформатори з регулюванням під напругою (РПН);
- конденсаторні установки (КУ) 10кВ;
- вимірювальні прилади струму та напруги;
- регулюючі блоки керування та зворотного зв'язку.

Нижче будуть більш детально описано наведені моделі та блоки Simulink, які використовуються в роботі.

Джерело живлення або балансуючий вузол 35кВ представлено блоком - Three-phase voltage source.

Блок Three-phase voltage source має наступну конфігурацію – лінійна напруга 35кВ, частота – 50Гц, опір джерела живлення не враховується в моделюванні.

Лінії електропередачі 35кВ представлено блоком - Three-Phase Series RLC Branch. Цей блок моделює ЛЕП як трьохфазний еквівалент послідовного з'єднання резистора (R), індуктивності (L) і ємності (C), в нашому випадку значенням ємності можна знехтувати. Блок підходить для моделювання, якщо довжина лінії сягає декількох десятків кілометрів.

Активне та реактивне навантаження 10кВ представлено блоком - Three-phase dynamic load.

Параметри навантаження мають номінальну лінійну напругу 10кВ, частоту 50Гц. Так як навантаження буде мати динамічний характер, то значення параметра Active and reactive power at initial voltage рівні 0 і активовано управління по зовнішньому сигналу - External control of PQ. Реалізація динамічного активного та реактивного навантаження буде виконуватися через блок Signal editor.

Відновлювальні джерела електроенергії 10кВ, а саме СЕС представлено блоком - PV array.

Сам по собі тільки один блок PV array не зможе генерувати активну потужність, для його правильної роботи необхідно створити цілу систему включаючи інвертор, детально описувати кожен елемент PV системи не має необхідності, результати симуляції в виді графіків наглядно покажуть коректність роботи СЕС.

Трансформатори 35/10кВ з РПН представлено блоком - Three-Phase OLTC Regulating Transformer.

Первинна обмотка трансфоматору має з'єднання – Y, вторинна - △, номінальна потужність задана 4 МВА, частота 50 Гц, напруга первинної обмотки 35кВ, вторинної 10кВ.

Реалізація функції РПН виконується за допомогою регулюючих блоків керування та зворотного зв'язку. РПН має діапазон ± 4х2,5%.

Конденсаторні установки 10кВ представлено блоком - Three-Phase parallel RLC load. Номінальна напруга КУ 10кВ, частота 50 Гц, потужність вказано для прикладу 250кВАр, рис.1-2.

Для управління реактивною потужністю в енергосистемі використовується автоматизований підхід на основі можливостей MATLAB. Управління КУ здійснюється через блоки Breaker і Controlled Capacitor, які автоматично підключають або відключають конденсаторні батареї на основі поточного реактивного навантаження.

Ці блоки реагують на зміни в системі та адаптивно регулюють ємність КУ для мінімізації активних втрат. Оптимізація роботи конденсаторів здійснюється на основі поточного стану мережі.

Використання цих блоків дає можливість керувати системою без необхідності впровадження складних алгоритмів, таких як Model Predictive Control (MPC) або градієнтний спуск, при цьому досягається висока ефективність за рахунок автоматичної адаптації системи.

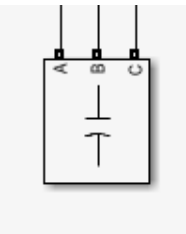

Рисунок 1. Блок Three-Phase parallel RLC load

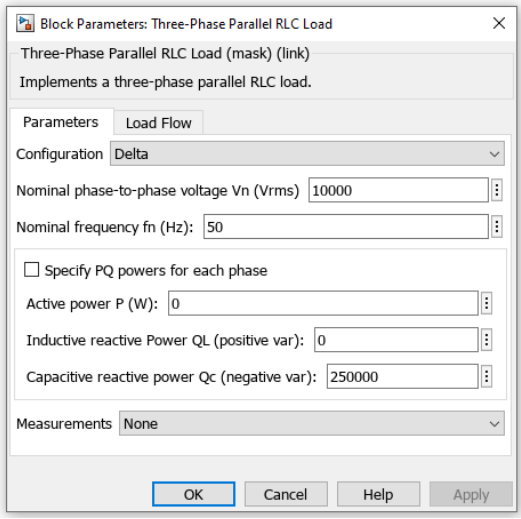

Рисунок 2. Налаштування блоку Three-Phase parallel RLC load

Оптимізаційне завдання полягає у виборі такої функції $Q_{КУ\,i}(t)$, яка мінімізує сумарні втрати потужності:

$$\underset{\to \min}{\Delta P} = \begin{cases} \sum_{i=1}^{N} \int_{0}^{T} \left(\frac{(P_{нав\,i}(t) - P_{ВДЕ\,i}(t))^2 + (Q_{нав\,i}(t) - Q_{КУ\,i}(t))^2}{U^2} \right) \cdot R_i dt \\ Q_{КУ}(t) \le Q_{нав}(t) \\ U_{\min} \le U_i \le U_{\max} \end{cases}$$

Дана цільова функція буде представлена в процесі моделюванння в МАТЛАБ вище наведеними блоками.

Моделювання буде виконано в 3 етапи:

1. Моделювання енергосистеми без врахування ВДЕ та КУ;

2. Моделювання енергосистеми з врахування генерації ВДЕ;

3. Моделювання енергосистеми з врахування генерації ВДЕ та КУ.

Для моделювання було обрано ділянку діючого енерговузла, який складається з 2-х ПС, на його прикладі і буде застосовано запропонований метод оптимізації активних втрат. Кількість вузлів не є важливим фактором, цільова функція є універсальною. В подальших етапах моделювання додасться ВДЕ, а саме СЕС 35кВ потужністю 1МВт та КУ 10кВ на ПС2.

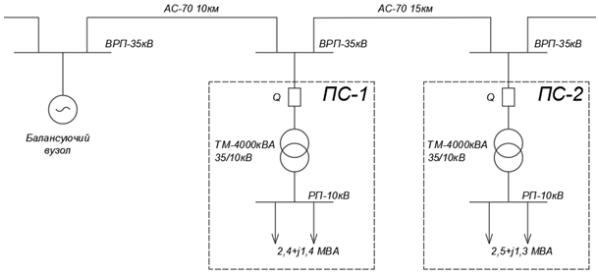

Рисунок 3. Приклад модельованої мережі

Для наочності графіків, при виконанні моделювання спеціально підібрано такі проміжки часу між змінами величини навантажень, які дозволяють кожній величині навантаження пройти перехідний процес та вийти на стале значення.

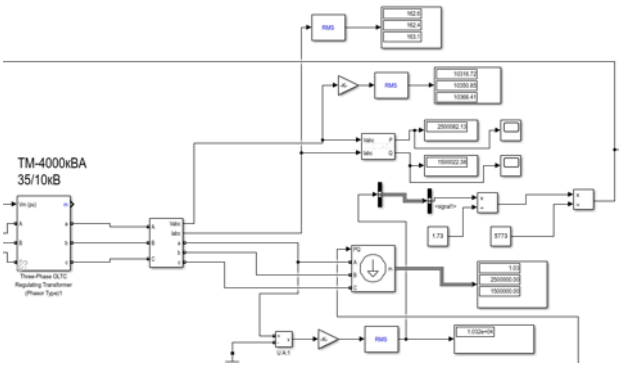

Рисунок 4. ПС1 в МАТЛАБ

Як приклад перша зміна навантаження на ПС 1 від 1 МВт до 1,5 МВт займає час від 0,8 до 1,2с, тому в цей період і трохи часу після нього даємо змогу навантаженню вийти на сталий рівень, зафіксувати по різним приладам відповідні дані та аж потім змінювати величину навантаження далі.

Далі з 1,3с до 1,8 відбувається зміна навантаження до значення 2МВт і остання зміна навантаження відбувається з 1,9с 2 МВт до 2,5 МВт 2,4с, значення наватаження 2,5 МВт буде триматись до кінця моделювання.

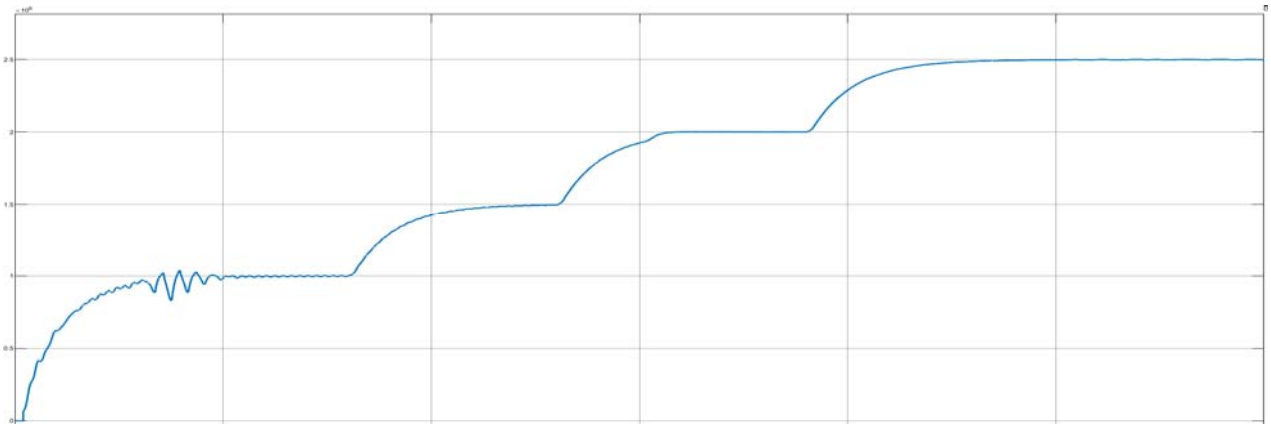

Рисунок 5. Активне навантаження ПС1

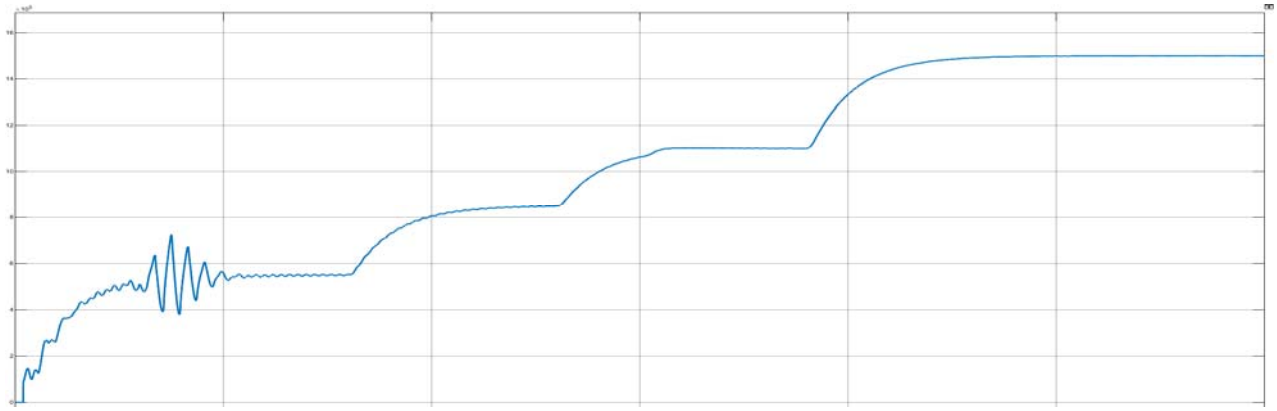

Рисунок 6. Рективне навантаження ПС1

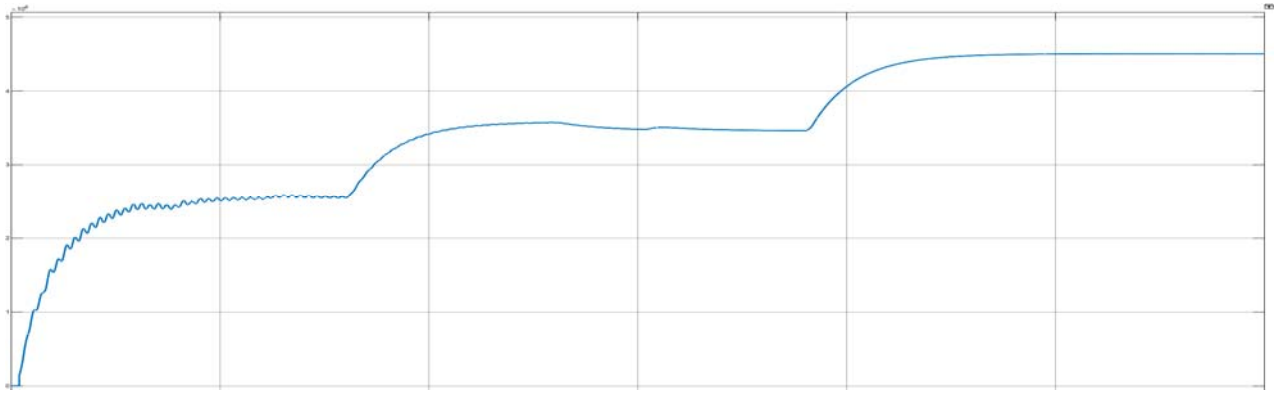

Рисунок 7. Активне навантаження ділянки БВ-ПС1

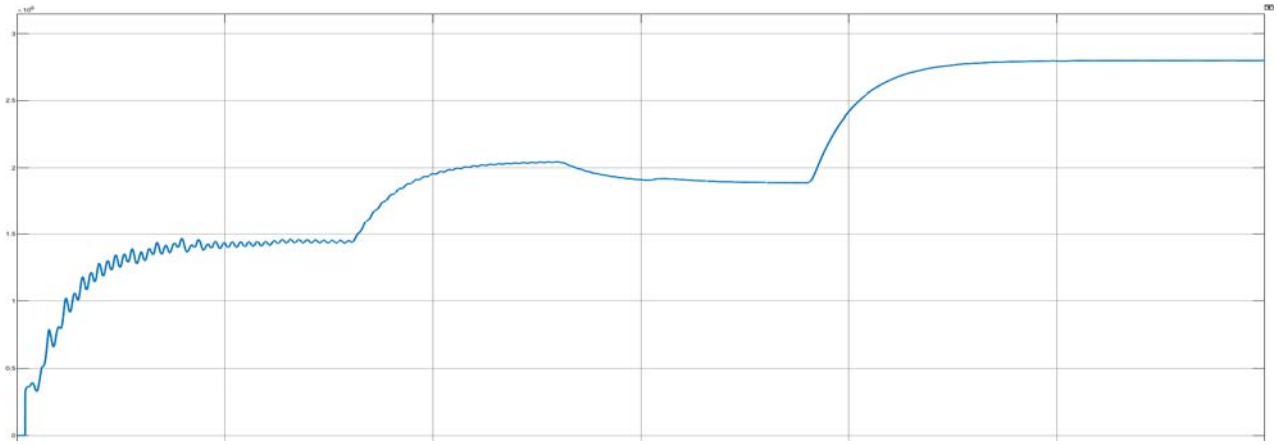

Рисунок 8. Реактивне навантаження ділянки БВ-ПС1

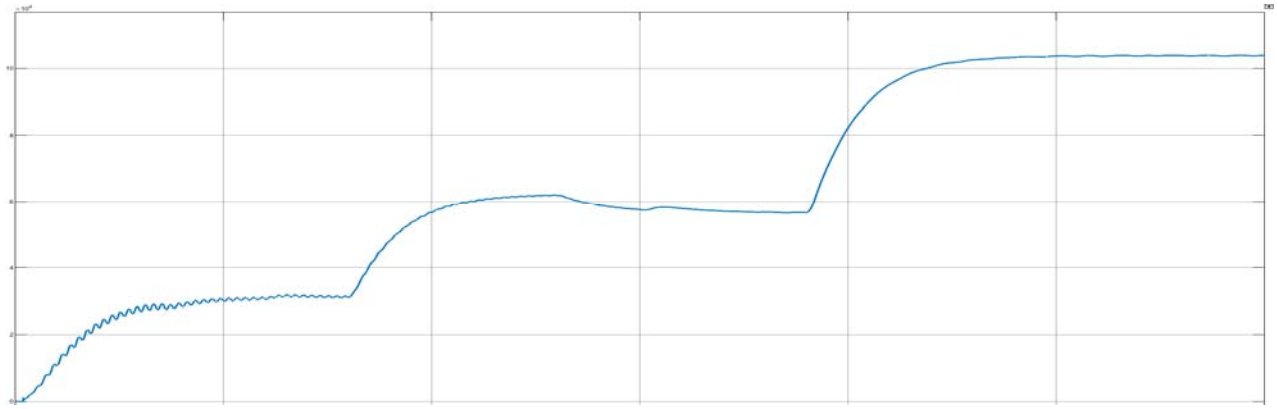

Рисунок 9. Графік активних втрат ділянки БВ-ПС1

Реактивна потужність ПС 1, що представлена на рис. 6 змінюється відповідно до змін активного навантаження, часовий проміжок однаковий. Як видно з рис. 6, від 0-0,8с реактивна потужність проходить перехідний період та приймає значення 0,55 МВАр, далі йде збільшення споживання до 0,85 МВАр, далі до 1,1 МВАр і остання зміна до 1,5 МВАр.

Графіки ПС2 мають аналогічний візуал, тільки змінюються величини навантажень:

Активне навантаження ПС 2: 0-0,8с – 1,5 МВт; 0,8-1,3с – 2 МВт; 1,3-1,9с – 1,4 МВт; 1,9с – 2,3 МВт.

Рективне навантаження ПС 2: 0-0,8с – 0,8 МВАр; 0,8-1,3с – 1,1 МВАр; 1,3-1,9с – 0,7 МВАр; 1,9с – 1,2 МВАр.

Так як енерговузол отримує живлення через ділянку БВ-ПС1, приведемо графік активного та реактивного споживання на рис. 7-8, а на рис. 9 покажемо активні втрати енергії по цій ділянці.

Як видно з рис. 9, графік активних втрат повторює графік активного навантаження, що являється енергетичною закономірністю.

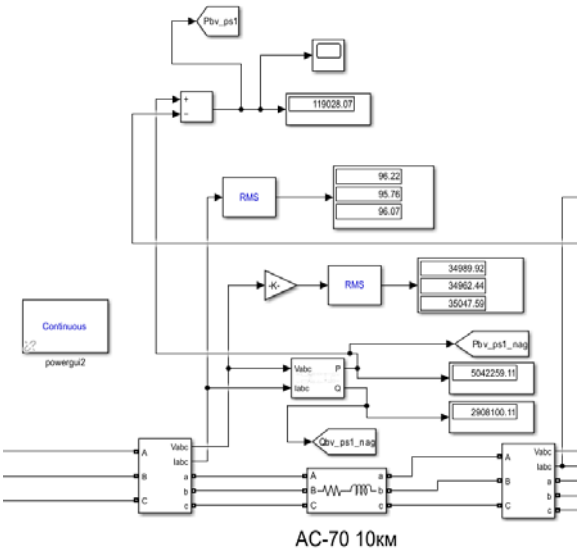

Рисунок 10. Ділянка БВ-ПС1 в момент часу 3с.

Як видно з рис. 10, в момент часу 3с. навантаження лінії становить 5,042+j2,908. Розрахуємо струм:

$$I_{БВ-ПС1} = \frac{\sqrt{5042^2 + 2908^2}}{35 \cdot \sqrt{3}} = 96{,}01\ A$$

Як видно з рис. 10, струм становить 96,22 А, модель адекватна.

Розрахуємо втрати потужності ділянки БВ – ПС 1:

$$\Delta P = 3 \cdot 96{,}01^2 \cdot 4{,}28 = 0{,}1183\, МВт$$

або

$$\Delta P = \left(\frac{5042^2 + 2908^2}{35^2} \right) \cdot 4{,}28 = 0{,}1183\ МВт$$

Як видно з рис. 10, активні втрати становлять 0,119 МВт, модель адекватна. Дані відповідають дійсності.

Для другого етапу моделювання добавимо в систему генерацію ВДЕ, яка буде мати стохастичний характер, тобто генерація буде змінюватися, в залежності від погодних явищ, як в реальних умовах [15-16].

СЕС 35кВ буде розміщуватися біля ПС2. СЕС почне генерацію в момент часу 0,5с.

Генерація активної енергії СЕС: 0-0,5с – 0,5 МВт; 0,5-0,9с – 0,7 МВт; 0,9-1,5с – 1 МВт; 2с – 0,8 МВт.

Як видно з рис. 11 активні втрати електричної енергії зменшуються при впровадженні СЕС.

Це відповідає дійсності, адже ящо розташувати джерело активної енергії біля споживача, це дозволяє розвантажити всі пристрої, які приймають участь в передачі електричної енергії.

Як видно з рис. 14, в момент часу 3с. навантаження лінії становить 3,765+j2,853. Розрахуємо струм:

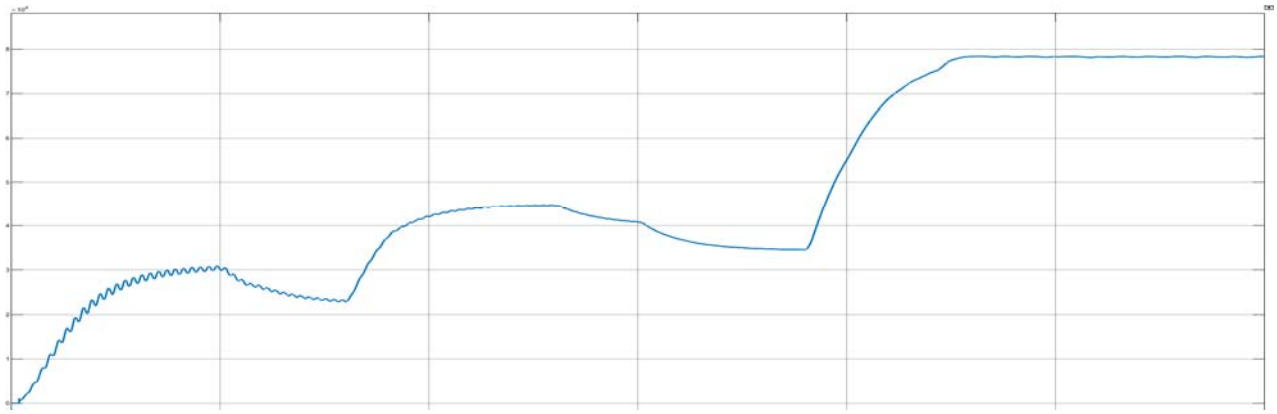

Рисунок 11. Графік активних втрат ділянки БВ-ПС1 після впровадження СЕС

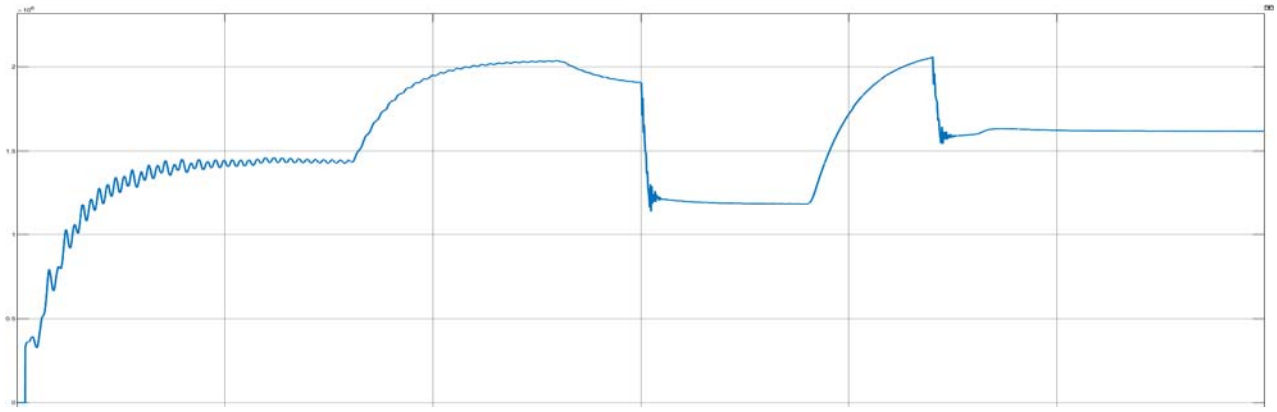

Рисунок 12. Графік реактивного навантаження ділянки БВ-ПС1 після впровадження СЕС та КУ

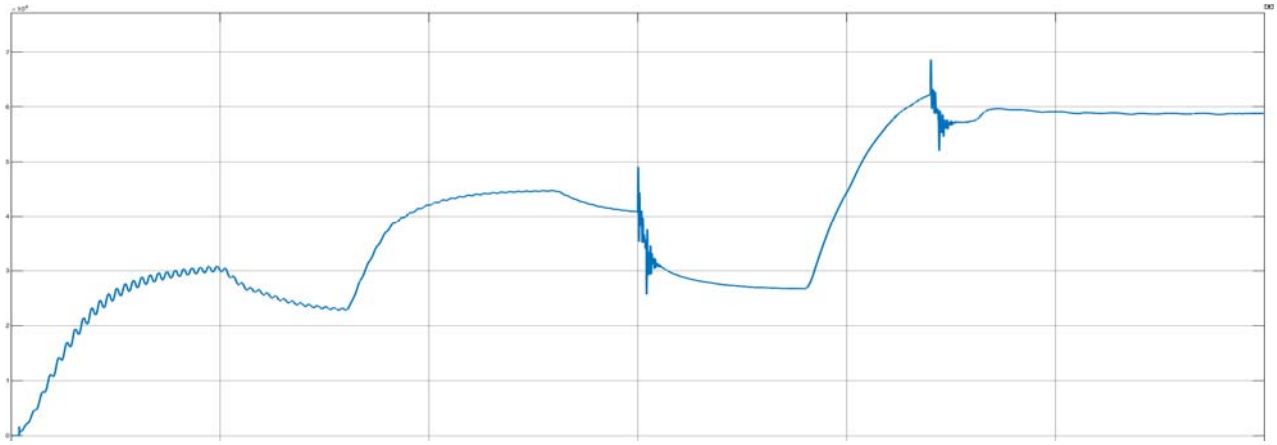

Рисунок 13. Графік активних втрат ділянки БВ-ПС1 після впровадження СЕС та КУ

$$I_{БВ-ПС1\,з\,ВДЕ} = \frac{\sqrt{3765^2 + 2853^2}}{35 \cdot \sqrt{3}} = 78\ A$$

Всі розрахунки збігаються з моделюванням.

Розрахуємо втрати потужності ділянки БВ – ПС 1:

$$\Delta P = 3 \cdot 78^2 \cdot 4,28 = 0,0781 MBm$$

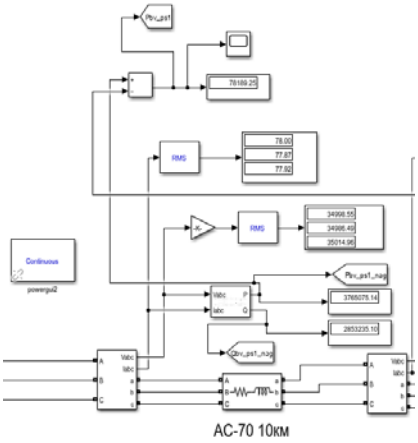

Рисунок 14. Ділянка БВ-ПС1 в момент часу 3с. при впровадженні ВДЕ

Отже, активні втрати головної ділянки зменшено, якщо привязатись до моменту часу 3с., з величини 0,119 МВт до 0,078 МВт, що в процентому відношені становить 35%.

Для 3-го етапу моделювання впроваджується автоматична КУ 10кВ, яка буде «відсліджувати» зміну реактивного навантаження на ПС2 та автоматично змінюючи номінальну потужність компенсувати необхідну реактивну потужність.

КУ почне працювати з 1,5с моделювання для наглядності роботи. На рис. 12 показано графік реактивного навантаження ділянки БВ-ПС1 після впровадження СЕС та КУ, як видно з графіка видно чітку залежність в момент підключення КУ, вся залишкова реактивна потужність, яка передається по цій ділянці лінії йде до ПС1, так як ПС2 повністю споживає реактивну потужність з КУ.

Як видно з рис. 13 активні втрати ще більше зменшуються завдяки впровадження автоматичної КУ.

Як видно з рис. 15 в момент часу 3с. навантаження лінії становить 3,736+j1,667, струм 67 А, активні втрати 0,0587МВт.

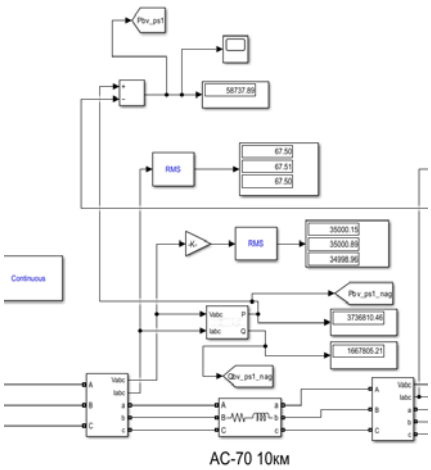

Рисунок 15. Ділянка БВ-ПС1 в момент часу 3с. при впровадженні ВДЕ та КУ

Отже, активні втрати головної ділянки зменшено завдяки інтеграції ВДЕ та впровадженню КУ, якщо привязатись до моменту часу 3с., з величини 0,119 МВт до 0,0587 МВт, що в процентому відношені становить 50%.

V. ВИСНОВКИ

Розроблена модель для оптимізації активних втрат потужності в електричних мережах дозволяє досягти поставлених бажаних результатів, серед яких: зниження втрат активної потужності, енергоефективна робота мережі та підвищення стабільності її функціонування при змінних умовах навантаження та генерації.

На основі критеріїв оцінки якості результатів модель демонструє можливість:

- Значного зменшення активних втрат потужності, що підтверджується балансом потужності до та після впровадження оптимізацій [17].
- Поліпшення показників якості електроенергії, зокрема напруги та коефіцієнта потужності у вузлах мережі.
- Ефективного використання компенсаційних пристроїв, які суттєво знижують втрати та забезпечують стабільну роботу системи.

Водночас виконані розрахунки враховують обмеження: технічні характеристики елементів мережі, допустимі рівні напруги у вузлах, обмеження потужності компенсаційних пристроїв та економічну доцільність впроваджених рішень.

Таким чином, реалізована модель в середовищі MATLAB забезпечує комплексне рішення задачі оптимізації режимів електричних мереж із використанням компенсаційних пристроїв та інтегрованих джерел відновлюваної енергії. Це відкриває можливості для подальшого розвитку систем енергозабезпечення із мінімізацією втрат та підвищенням їхньої надійності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

[1] Kupin A.I., Osadchuk Yu.G., Savytsky O.I., Sherstnov Yu.V. Enhancement of the voltage supply quality of substations at mining and processing plants // Tavrichesky National University named after V. I. Vernadsk. – 2022. – Pp. 149–159. DOI: https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/23.

[2] Лежнюк П.Д. Електроощадні технології в електричних мережах енергосистем. – Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2018. – 328 с.

[3] Лесько В.О., Кулик В.В., Нетребський В.В. Конспект лекцій: «Оптимізація режимів електроенергетичних систем». – Вінниця: Вінницький національний технічний університет ФЕЕЕМ, 2020. – 138 с.

[4] Кучанський В.В., Сабарно Л.Р., Кошман В.І.

Оцінювання впливу керованих пристроїв компенсації реактивної потужності на вибір перетину повітряної лінії // Інститут електродинаміки НАН України. – 2022. 1–10 с.

[5] Рубаненко О.Є., Гунько І.О., Лежнюк П.Д. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 174 с.

[6] Грицюк І.В. Визначення економічно обґрунтованих рівнів компенсації реактивної потужності в електричних мережах з розосередженим генеруванням // Луцький НТУ. – 2014. – Вип. 15. – С. 54–59.

[7] Potter A., Haider R. A Reactive Power Market for the Future Grid // Advances in Applied Energy. – 2022. – Pp. 1–14.

[8] Danylchenko D.O., Kuznetsov D.S. Use of reactive power compensation devices at stations with renewable energy sources // Information Technologies: Science, Engineering, Technology, Education, Health. – 2022. – ISSN 2222-2944. – P. 70.

[9] Shevchenko S., Danylchenko D., Kuznetsov D., Petrov S. Use of Capacitor Batteries to Improve the Quality of Electrical Energy // IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). – 2021. – Pp. 666–669.

[10] Данильченко Д.О., Кузнецов Д.С. Використання пристроїв компенсації реактивної потужності при впровадженні розподіленої генерації // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – 2024. – Вип. 1(8). – С. 24–31. DOI: https://doi.org/10.20998/2224-0349.2024.01.08.

[11] Johnson L., Lee M. Reactive Power Management for Renewable Energy Integration // Renewable Energy Global (REGlobal). – 2020. – Vol. 12, No. 3. – Pp. 45–49.

[12] Müller P., Wang S. Reactive Power Support from Converter Connected Renewables in Low-Voltage Grids // IEEE Power & Energy Society General Meeting. – 2022. – Pp. 1327–1331.

[13] Patel K., Kumar R. A Comprehensive Review of Advancements and Challenges in Reactive Power Compensation for Renewable Energy Systems // Energy Informatics. – 2024. – Vol. 8, No. 1. – Pp. 112–117.

[14] Zeng Y., Zhou B., Zhu J. Coordinated Active-Reactive Power Management of Renewable Power-to-Hydrogen Systems with Multiple Electrolyzers // arXiv preprint. – 2023. – arXiv:2312.14473.

[15] Nepal R.K., Khanal B., Khatiwada S. Compensation for Reactive Power and Harmonic Current Drawn by a Non-linear Load in a PV-Micro Hydro Grid // arXiv preprint. – 2024. – arXiv:2406.05342.

[16] Pan S., Maleki S., Lakshminarayana S. Optimal Placement and Power Supply of Distributed Generation to Minimize Power Losses // arXiv preprint. – 2023. – arXiv:2308.15789.

[17] Doe J., Smith A. Reactive Power Compensation with PV Inverters for System Loss Reduction // Energies. – 2019. – Vol. 12, No. 21. – P. 4062.

Стаття надійшла до редакції 31.10.2024 р.

APPLICATION OF AN ADVANCED OBJECTIVE FUNCTION TO MINIMIZE ACTIVE POWER LOSSES

DANYLCHENKO D.O. Ph.D., Associate Professor, Professor of the Department of Electrical Energy Transmission of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: Dmytro.Danylchenko@khpi.edu.ua, ORCID: 0000-0001-7912-1849;

KUZNETSOV D.S. graduate student of the Department of Electrical Energy Transmission of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: dmytro.kuznetsov@ieee.khpi.edu.ua, ORCID: 0009-0003-1543-7854;

Purpose of the work. *The improvement of the method for optimizing active power losses in networks using dynamic control of capacitor bank parameters, taking into account the variability of generation and loads.* ***Research methods.*** *Analysis of an electrical system modeled in MATLAB using elements of renewable energy sources and capacitor banks. The study of optimizing active power losses is carried out by using an improved objective function that includes the multifactorial nature of the system and certain restrictions. A comparison of active losses and their changes in the presence of renewable energy sources and capacitor banks in the electrical network is carried out.*

Results obtained. *The obtained modeling results demonstrate the practical applicability of the proposed method for reducing active losses in the system. This, in turn, leads to a reduction in costs for network operation and maintenance, a reduction in energy losses, and an improvement in the quality of energy supply. Reducing active losses contributes to increasing the economic efficiency of the power system.*

Modeling in MATLAB/Simulink provides the ability to conduct analysis to assess the behavior of the system under various operating conditions, such as peak loads or sharp fluctuations in generation. This allows to ensure the

flexibility and adaptability of the power system to real operating conditions.

The results obtained also contribute to solving sustainable development problems, as they ensure effective integration of RES without deteriorating the stability and parameters of the network.

Scientific novelty. *A comprehensive modeling of the power system operation is proposed, taking into account the dynamic control of capacitor units and the integration of renewable energy sources (RES), which allows to assess the effectiveness of various compensation measures and their impact on active losses. The scientific novelty lies in creating a model that takes into account the variable nature of the load, transmission line parameters and unstable RES generation, providing a comprehensive approach to optimizing the operation of the power system.*

Practical value. *Improving the objective function to minimize active power losses by adding capacitor banks to the generation function, changing the generation of renewable energy sources, and changing the load of the PV system (active and reactive), this allowed a more accurate assessment of the impact of reactive power and RES integration on active losses, and increased the efficiency of power system management by taking into account the real operating conditions of the system (load and generation dynamics).*

Keywords: distributed generation sources; renewable energy; reactive power compensation devices; electrical network; losses; implementation.

REFERENCES

[1] Kupin A.I., Osadchuk Yu.G., Savytsky O.I., Sherstnov Yu.V. (2022). Enhancement of the voltage supply quality of substations at mining and processing plants. Tavrichesky National University named after V. I. Vernadsk, 149-159. DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/23

[2] Lezhnyuk P.D. (2018). Electricity-saving technologies in electric networks of power systems. Lutsk: IVV Lutsk NTU. 328.

[3] Lesko V. O., Kulyk V. V., Netrebsky V. V. (2020). Lecture notes: "Optimization of power system regimes". Vinnytsia National Technical University FEEEM. 138.

[4] Kuchansky V. V., Sabarno L. R., Koshman V. I. (2022). Assessment of the influence of controlled reactive power compensation devices on the choice of overhead line cross-section. Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine. 1-10.

[5] Rubanenko O. Ye., Gunko I. O., Lezhnyuk P. D. (2018). Optimization of power grid modes with renewable energy sources. VNTU. 174.

[6] Hrytsyuk I. V. (2014). Determination of economically justified levels of reactive power compensation in power grids with distributed generation. Lutsk NTU. Issue 15. 54-59.

[7] Potter A., Haider R. (2022). A Reactive Power Market for the Future Grid. Advances in Applied Energy. 1-14.

[8] Danylchenko, D.O., Kuznetsov, D.S. (2022). Use of reactive power compensation devices at stations with renewable energy sources. ISSN 2222-2944. Information technologies: science, engineering, technology, education, health, 70.

[9] Shevchenko, S., Danylchenko, D., Kuznetsov, D., Petrov, S. (2021). Use of Capacitor Batteries to Improve the Quality of Electrical Energy. IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 666 – 669 .

[10] Danilchenko, D. O., and D. S. Kuznetsov. (2024). "Use of reactive power compensation devices in the implementation of distributed generation". Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency, Vol. 1 (8). 24-31. doi:10.20998/2224-0349.2024.01.08.

[11] Johnson, L., Lee, M. (2020). Reactive Power Management for Renewable Energy Integration. Renewable Energy Global (REGlobal), 12(3). 45-49.

[12] Müller, P., Wang, S. (2022). Reactive Power Support from Converter Connected Renewables in Low-Voltage Grids. IEEE Power & Energy Society General Meeting. 1327-1331.

[13] Patel, K., Kumar, R. (2024). A Comprehensive Review of Advancements and Challenges in Reactive Power Compensation for Renewable Energy Systems. Energy Informatics, 8(1).112-117.

[14] Zeng, Y., Zhou, B., Zhu, J. (2023). Coordinated Active-Reactive Power Management of Renewable Power-to-Hydrogen Systems with Multiple Electrolyzers. arXiv preprint, arXiv:2312.14473.

[15] Nepal, R.K., Khanal, B., Khatiwada, S. (2024). Compensation for Reactive Power and Harmonic Current Drawn by a Non-linear Load in a PV-Micro Hydro Grid. arXiv preprint, arXiv:2406.05342.

[16] Pan, S., Maleki, S., Lakshminarayana, S. (2023). Optimal Placement and Power Supply of Distributed Generation to Minimize Power Losses. arXiv preprint, arXiv:2308.15789.

[17] Doe, J., Smith, A. (2019). Reactive Power Compensation with PV Inverters for System Loss Reduction. Energies, 12(21). 4062.