

Степаненко В.А., аспірант
 Замулко А.І., канд. техн. наук, доцент
 Веремійчук Ю.А., канд. техн. наук, доцент
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ПРИЄДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДО ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Відповідно до статистичних даних у 2022 році збільшилась потужність відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), включаючи вітрові, сонячні та накопичувальні електростанції (рис. 1) [1].

Очікується, що зростання сонячної та вітрової енергетики, яке спостерігалось минулого року, найближчим часом не сповільниться. Сонячні фотоелектричні установки в усьому світі перевершили вітрові, досягнувши понад 1 000 ГВт наприкінці 2022 року.

Згідно з поточним базовим прогнозом Rystad Energy [1], очікується, що до 2030 року сонячна енергетика перевищить 3 000 ГВт, а до 2040 року - 8 000 ГВт. Таким чином, фотоелектрична енергетика буде домінувати, випереджаючи темпи зростання як наземної, так і прибережної вітроенергетики.

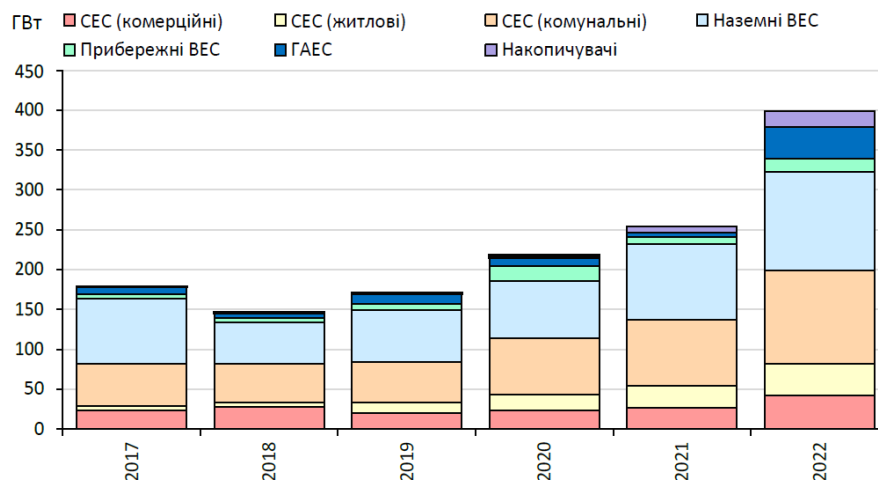


Рисунок 1 – Встановлена потужність відновлюваної енергетики за джерелами та роками запуску

Проблеми інтеграції ВДЕ пов'язані з експлуатацією та управлінням енергосистемою. Основні виклики включають зменшення інерційності енергосистеми, збільшення кількості обмежень, швидкості зміни частоти та реактивної потужності системи [2]. Послуги з підтримки енергосистеми, такі як регулювання частоти та напруги, пропуск аварійних режимів, обертовий резерв та відновлення системи, наразі надаються традиційними генеруючими потужностями. Однак, якщо сонячні та вітрові станції мають замінити значну частину потужностей викопного палива або нові системні компоненти - установки зберігання енергії (УЗЕ), повинні бути здатні надавати необхідні послуги з підтримки стабільної та надійної роботи енергосистеми. Тому науковці та інженери проводять моделювання інтеграції та роботи ВДЕ в енергетичній системі, досліджуючи їх вплив.

Серед ряду програмних продуктів, найбільш вживаною є програма DIgSILENT PowerFactory [3]. Різні види моделей використовують в даному програмному продукті в залежності від типу ВДЕ, для моделювання СЕС використовуються:

- Модель, що ґрунтується на статичному генераторі;
- Модель, яка використовує джерело струму та джерело напруги;
- Модель, що базується на джерелах струму;
- Модель представлення СЕС у вигляді статичного генератора з вибраним режимом роботи "фотоелектрична станція".

На думку авторів найдоцільніше використовувати останню модель, оскільки значення активної

потужності може бути вказано безпосередньо користувачем за допомогою опції «Active Power Input», або може бути автоматично розраховане, враховуючи дані про тип сонячної панелі, розташування сонячної станції, місцевий час і дату, а також, за бажанням, дані про інсоляцію, за допомогою опції «Solar Calculation».

Також PowerFactory дозволяє аналізувати гармонійні потоки потужності за допомогою неітеративного методу проникнення гармонік [4], припускаючи, що процес поділяється на два етапи. Перший етап включає потік потужності на основній частоті; другий етап включає потоки потужності на гармонічних частотах. На рисунку 2 представлено блок-схему, реалізовану в PowerFactory для моделювання конкретного прикладу електричної мережі.

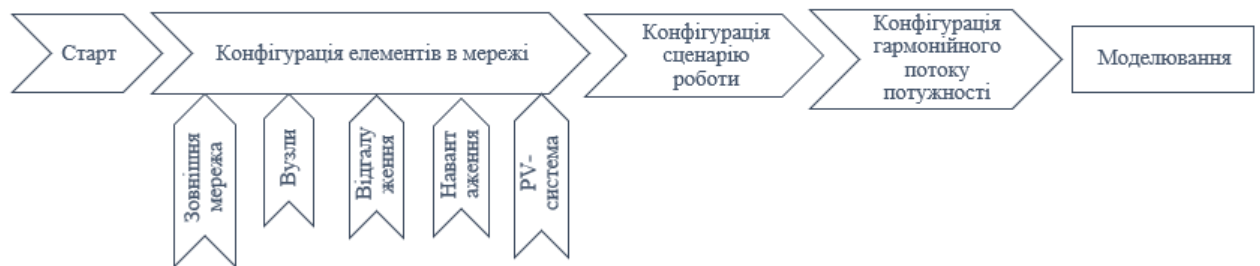


Рисунок 2 – Процедура моделювання електричної мережі в PowerFactory

При моделюванні впливу інтеграції ВДЕ на рівні локальної мережі, можна перейти до дослідження на рівні енергосистеми, тоді слід враховувати перехідну стійкість системи. Оскільки оцінка перехідної стійкості стає важливою вимогою до безпеки електроенергетичних систем. Тому в інструментах симуляції аналізу стабільності у PowerFactory доступна велика бібліотека стандартних моделей IEEE і гнучкі опції спільного моделювання. Також вбудовані інструмент та механізми PowerFactory можуть бути безпосередньо інтегровані в ГІС-системи, забезпечуючи обчислювальну функціональність при проведенні оцінювання ВДЕ при підключенні до низьковольтної мережі.

Висновки. В результаті проведеного аналізу функціональних можливостей програмного забезпечення PowerFactory, встановлено деякі ключові аспекти щодо його використання при моделюванні ВДЕ, а саме: моделювання навантаження і генерації; моделювання регуляторів напруги, релейного захисту, автоматики та систем керування; аналіз стабільності; моделювання коротких замикань; оптимізація режимів роботи ВДЕ; створення різних сценаріїв для аналізу та симуляції умов роботи системи електропостачання з ВДЕ.

Список використаних джерел:

1. Renewable Energy Outlook - Energy Transition Report. Rystad Energy. URL: <https://www.rystadenergy.com/insights/renewables-energy-transition-report-april-2023> (дата звернення: 10.06.2023).
2. Van Hulle, F., Holttinen, H., Kiviluoma, J., Faiella, M., Kreutzkamp, P., Cutululis, N., Reking, M., Gubina, A., Chapalain, F., Ernst, B., Wachtel, S., Quinonez Varela, G., Craciun, D., Pineda, I., Stoffer, B., Corbett, J., & Flament, A. (2014). Grid support services by wind and solar PV: a review of system needs, technology options, economic benefits and suitable market mechanisms: Synthesis report of the REserviceS project. http://pwiki.psew.pl/WEW/140724_REserviceS_D7.1_Synthesis-report1.pdf.
3. PowerFactory - DIgSILENT. Power System Solutions - DIgSILENT. URL: <https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html> (дата звернення: 09.06.2023).
4. Z. Deng, G. Todeschini, K. L. Koo, and M. Mulimakwenda, "Modelling renewable energy sources for harmonic assessments in DIgSILENT PowerFactory: Comparison of different approaches," Proc. 11th Int. Conf. Simul. Model. Methodol. Technol. Appl. SIMULTECH 2021, no. Simultech, pp. 130–140, 2021.