

ВПЛИВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

¹ Вінницький національний технічний університет;

² кафедра електричних станцій та систем

³ кафедра комп'ютерних систем управління

Анотація

Метою роботи є оцінка змін показників якості електроенергії при інтеграції ВДЕ у електропостачальні системи. Результати досліджень демонструють, що інтеграція сонячних та вітрових електростанцій спричиняє зміни в частоті, напрузі, гармонічних складових та ємпедансі системи.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, якість електроенергії, фотоелектрична установка, вітроелектрична установка.

Abstract

The aim of this work is to assess changes in power quality indicators when integrating RES into power supply systems. The results of the research demonstrate that the integration of solar and wind power plants causes changes in frequency, voltage, harmonic components and system impedance.

Keywords: renewable energy sources, power quality, photovoltaic power plant, wind power plant, power supply system

Вступ

Зростання частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у світовому енергетичному балансі зумовлює необхідність переосмислення підходів до управління електричними мережами. Сонячні, вітрові та інші ВДЕ стали важливими складовими енергосистем, однак їх інтеграція пов'язана з новими технічними викликами, серед яких особливе місце займає вплив на показники якості електроенергії (ЯЕ).

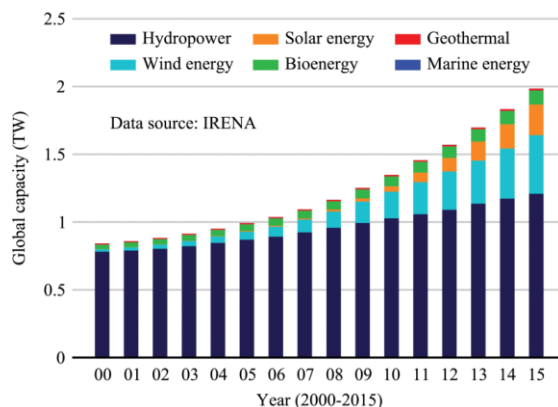


Рис.1 Глобальна сукупна потужність відновлюваних джерел енергії за період 2000–2015 рр. на основі даних, наданих IRENA, де гідроенергетика також включає гідроакмулюючі та змішані електростанції; морська енергетика охоплює енергію припливів, хвиль та океану.

Методологія

Об'єктом дослідження є розподільна мережа з включенням фотоелектричних (ПЕ) установок та вітроелектричних установок (ВЕУ). Розглянуто варіанти з різним рівнем встановленої потужності (від

10% до 50% від загального навантаження) та різними погодними умовами, що впливають на генерацію.

Ключові параметри, що аналізувалися: рівень напруги, частота, гармонічний склад струму та напруги, коефіцієнт потужності, перехідні процеси при раптових змінах навантаження чи генерації.

У деяких країнах, таких як Німеччина, значна частина виробництва електроенергії здійснюється розподіленими фотоелектричними системами. Щоб забезпечити надійну, ефективну та менш шкідливу передачу сонячної фотоелектричної енергії до розподіленої мережі, фотоелектричні системи з розподіленим розподілом електроенергії повинні відповідати набагато суворішим вимогам, ніж будь-коли раніше. На щастя, керування електронними перетворювачами потужності фотоелектричних систем може забезпечити ці функції за допомогою інтелектуальних інверторів. [3]

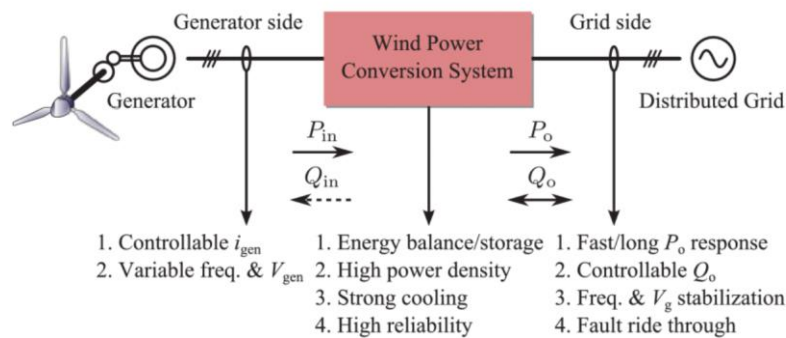


Рис. 2. Вимоги до DPGS на основі енергосистеми вітрової турбіни, де P_{in} і Q_{in} є активною та реактивною потужністю, що обмінюється між генератором та силовим електронним перетворювачем, відповідно, а P_o і Q_o є активною та реактивною потужністю, що обмінюється між перетворювачем потужності та мережею відповідно.

Потужність фотоелектричної системи генерації не така велика, як у вітроенергетичній системі. Більше того, характеристика потужності фотоелектричної розвідувальної установки (РПУ) сумісна з поведінкою розподіленої мережі; таким чином, вимоги легше задовольнити, ніж вимоги вітрової РПУ[3].

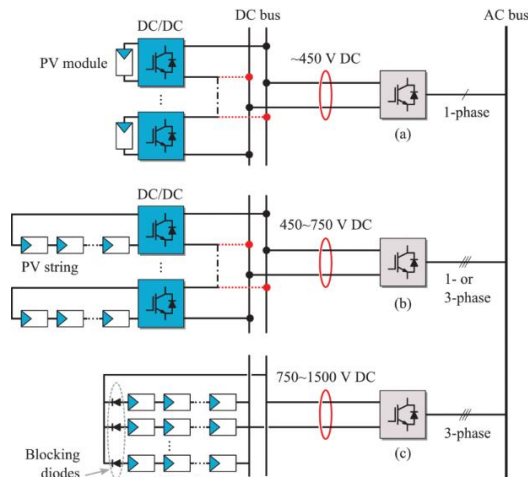


Рис. 2. Основні схеми підключення фотоелектричних систем до мережі змінного струму (з'єднання шини постійного струму можуть бути послідовними або паралельними): (а) модульний фотоелектричний інвертор для застосувань малої потужності; (б) стрінговий інвертор для застосувань середньої потужності; та (с) центральні інвертори для комерційних або комунальних систем.

Результати дослідження

Результати моделювання демонструють, що при інтеграції ВДЕ:

- Напруга в точках приєднання змінюється в межах $\pm 5\%$, але у випадках високої генерації ПЕ можливе перевищення допустимого рівня.
- Частотні коливання незначні, проте при великій долі ВЕУ спостерігається зростання флуктуацій у межах ± 0.2 Гц.
- Коефіцієнт гармонік збільшується до 3–4%, що перевищує стандартні межі (2–3%) у випадку відсутності фільтрації.
- В умовах різкого зниження генерації ПЕ (наприклад, при затіненні) виникають перехідні процеси з тривалістю до 2 секунд.

Показник	Норма (ДСТУ)	Без ВДЕ	ВДЕ 30%	ВДЕ 50%
Напруга (відхилення)	$\pm 5\%$	0.8%	3.2%	6.1%
Частота (відхилення)	± 0.2 Гц	0.05 Гц	0.11 Гц	0.18 Гц
Загальний коеф. гармонік (THD)	$\leq 3\%$	1.2%	2.8%	4.5%
Час перехідних процесів	-	0.3 с	1.1 с	2.0 с

Усі ці дані свідчать про необхідність використання компенсуючих засобів та систем регулювання, що враховують специфіку генерації ВДЕ. Отримані результати підтверджують висновки попередніх досліджень щодо впливу ВДЕ на ЯЕ. Підвищення рівня напруги при високій генерації ПЕ узгоджується з результатами, наведеними в [3], де також вказано на необхідність локального регулювання напруги.

Підвищення коефіцієнта гармонік пояснюється роботою інверторів, які мають нелінійні характеристики та генерують вищі гармоніки. Відсутність належної фільтрації може спричинити збої в роботі електронного обладнання.

Висновки

Інтеграція ВДЕ, зокрема ПЕ та ВЕУ, впливає на показники якості електроенергії. Найбільші зміни спостерігаються у напрузі, гармоніках та тривалості перехідних процесів. Розширення ВДЕ вимагає впровадження інтелектуальних систем керування, засобів автоматичного регулювання та компенсації.

На практиці рекомендується:

- застосування активних фільтрів для зниження гармонік;
- локальне регулювання напруги;
- використання накопичувачів енергії;
- впровадження систем прогнозування генерації.

Подальші дослідження мають охоплювати вивчення гібридних систем, реальні сценарії змін генерації та споживання, інтеграцію розумних мереж (smart grids).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стрембіцький П., Юхимчук М., Лесько В., Перепелиця С. (2025). Централізований моніторинг інфраструктури з використанням системи THANOS: перспективи та виклики. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 347(1), 417-422.
2. ПЕРЕПЕЛИЦЯ, С., ЮХИМЧУК, М., & ЛЕСЬКО, В. (2025). МОДЕЛЮВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ В УМОВАХ НЕГАТИВНИХ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ. MEASURING AND COMPUTING DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES, (1), 7–12.
3. INTEGRATION OF TECHNICAL SAW AND ARTICLE INTELLIGENCE SYSTEMS FOR AUTOMATED IMAGE RECOGNITION IN ENERGY SUPPLEMENTS М Юхимчук, В Лесько - Між-

народна науково-технічна конференція з оптико-електронних інформаційних технологій "ФОТОНІКА – ODS 2025" ,

4. Blaabjerg, F., Yang, Y., Yang, D., & Wang, X. (2017). Distributed power-generation systems and protection. *Proceedings of the IEEE*, 105(7), 1311-1331.

5. Farhoodnea, M., Mohamed, A., Shareef, H., & Zayandehroodi, H. (2012). Power quality impacts of renewable energy based generators and electric vehicles on distribution systems. *Procedia Engineering*.

6. International Renewable Energy Agency (IRENA). (Mar. 2016). Renewable Energy Capacity Statistics, accessed on Mar. 6, 2017. [Online]. Available:

http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2016.pdf

Маклюк Ярослав Дмитрович — студент групи ІЕСМ-236, факультет електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mak.yar2006@gmail.com

Лесько Владислав Олександрович — к.т.н. доц. кафедри ЕСС, Вінницький національний технічний університет, e-mail: Leskovlad@ukr.net

Юхимчук Марія Сергіївна — д.т.н. професор кафедри Комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, e-mail: umcmasha@gmail.com

Науковий керівники: **Лесько Владислав Олександрович** — к.т.н. доц. кафедри ЕСС, Вінницький національний технічний університет, e-mail: Leskovlad@ukr.net

Юхимчук Марія Сергіївна — д.т.н. професор кафедри Комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, e-mail: umcmasha@gmail.com

Makulyk Yaroslav Dmytrovych — student of group 1ESM-23b, Faculty of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mak.yar2006@gmail.com

Lesko Vladislav Oleksandrovych — Ph.D., Associate Professor, Department of ESS, Vinnytsia National Technical University, e-mail: Leskovlad@ukr.net

Yukhimchuk Maria Serhiivna — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Computer Control Systems, Vinnytsia National Technical University, e-mail: umcmasha@gmail.com

Scientific supervisors: Lesko Vladislav Oleksandrovych — Ph.D., Associate Professor, Department of ESS, Vinnytsia National Technical University, e-mail: Leskovlad@ukr.net

Yukhimchuk Maria Sergeevna — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Computer Control Systems, Vinnytsia National Technical University, e-mail: umcmasha@gmail.com