

# ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ СЕС ТА ВЕС ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

## **Анотація**

Виконано аналіз світового досвіду інтеграції значних потужностей відновлювальних джерел енергії в енергосистемі. Для компенсації нестабільності генерування ВДЕ в задачі балансування застосовуються різні методи контролю СЕС та ВЕС для покращення їх частотної характеристики. Наприклад, для вирішення цих проблем застосовується віртуальний контроль інерції, обмежувачі струму пошкодження, накопичувачі енергії, методи оптимізації. Тим не менше, як і раніше, є можливість покращити вказані стратегії для вирішення ряду проблем інтегрування відновлюваної енергії.

**Ключові слова:** балансування, відновлювальні джерела енергії, електроенергетична система, стійкість.

## **Abstract**

The analysis of the world experience of integration of significant capacities of renewable energy sources in the power system is performed. To compensate for the instability of RES generation in the balancing problem, various methods of control of PV and WES are used to improve their frequency response. For example, to solve these problems, virtual inertia control, damage current limiters, energy storage devices, optimization methods are used. However, there is still room for improvement in these strategies to address a number of renewable energy integration issues.

**Keywords:** balancing, renewable energy sources, power system, inertia.

## **Вступ**

Інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) збільшується у всьому світі, особливо останні два десятиліття. Хоча збільшення генерування ВДЕ зменшує негативний вплив на навколишнє середовище порівняно з традиційним генеруванням, питання управління ускладнюються оскільки ВДЕ, такі як сонячні (СЕС) та вітрові (ВЕС) станції, мають важко прогнозований характер генерування. Крім того збільшення встановленої потужності ВДЕ у енергобалансі країни призводить до зменшення загальної стійкості електроенергетичної системи через витіснення традиційних синхронних генераторів.

Відповідно до світового досвіду, при інтеграції в енергосистемі значних потужностей відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) можуть виникнути певні проблеми із забезпеченням надійного балансу між виробництвом і споживанням електроенергії, пов'язані з нестабільністю поточної потужності фотоелектричних та вітроелектричних установок. На початок 2020 року загальна потужність ВДЕ в Євросоюзі склала 20%. Частина ВДЕ у виробництві електроенергії окремих країн: Данії - понад 30%, Португалії - 31%, Іспанії - 20%, Латвії - 40%, Німеччини - 18%. Відповідно до досвіду цих країн, порогова величина оцінюється як 10% від загального споживання електроенергії в країні [1]. Перевищення порогового значення потребує застосування найсучасніших технологій, що включають різні стратегії управління, методи оптимізації, накопичувачі енергії та обмежувачі струмів ушкодження.

## **Результати дослідження**

Режим роботи ОЕС визначається виходячи з балансу виробництва та споживання потужності, ремонтів електромереж та генеруючого обладнання, а також можливості ліквідації аварійних ситуацій у разі відключення генеруючого обладнання на електростанціях та магістральних ліній електропередачі. На сьогодні в ОЕС України склалась ситуація коли встановлена потужність ВДЕ вже перевищує порогове значення у 10%, а державне стимулювання підтримує збільшення частки ге-

нерування ВДЕ у структурі генерування (рис. 1).

Інтеграція ВДЕ зменшує стійкість електроенергетичної системи завдяки заміні класичних синхронних генераторів [2]. Хоча вітрові турбіни зі змінною швидкістю мають інерцію, вона відокремлена від системи, та отже не може сприяти поліпшенню частотної характеристики. Більше того, фотоелектричні установки не можуть забезпечити будь-яку стійкість для енергосистеми, що ще більше погіршує частотну характеристику. Отже, високий рівень проникнення ВДЕ до системи із заміною класичного синхронного генератора зменшує загальну інерцію та збільшує швидкість регулювання частоти регуляторами електричних станцій, навіть при малому небалансі генерування і навантаження [3]. Крім того, зменшення резервної потужності внаслідок витіснення резервних генераторних установок спричиняє відхилення частоти [4].

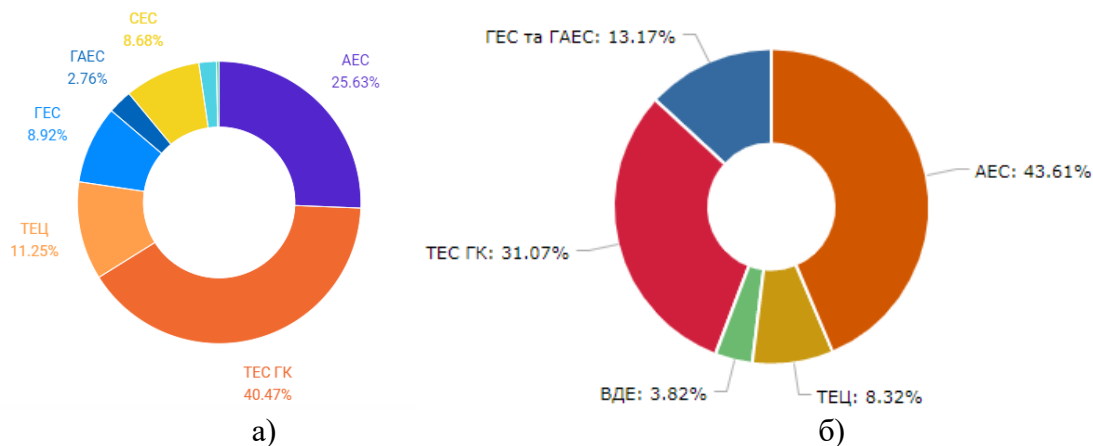


Рисунок 1 – Структура встановленої потужності а) та генерування б) ОЕС України

Особливістю ВДЕ є залежність їх генерування від метеопараметрів. Вони не є гарантованими джерелами електроенергії. Потужність їх може змінюватися практично від нуля до номінальної. Очевидно, що для балансування режиму енергосистеми необхідно прогнозувати генерування ВДЕ.

Для компенсації нестабільності генерування ВДЕ в задачі балансування застосовуються різні методи контролю СЕС та ВЕС для покращення їх частотної характеристики [5].

Класифікація техніки підтримки стійкості та частоти за допомогою вітрогенератора показано на рис.2.

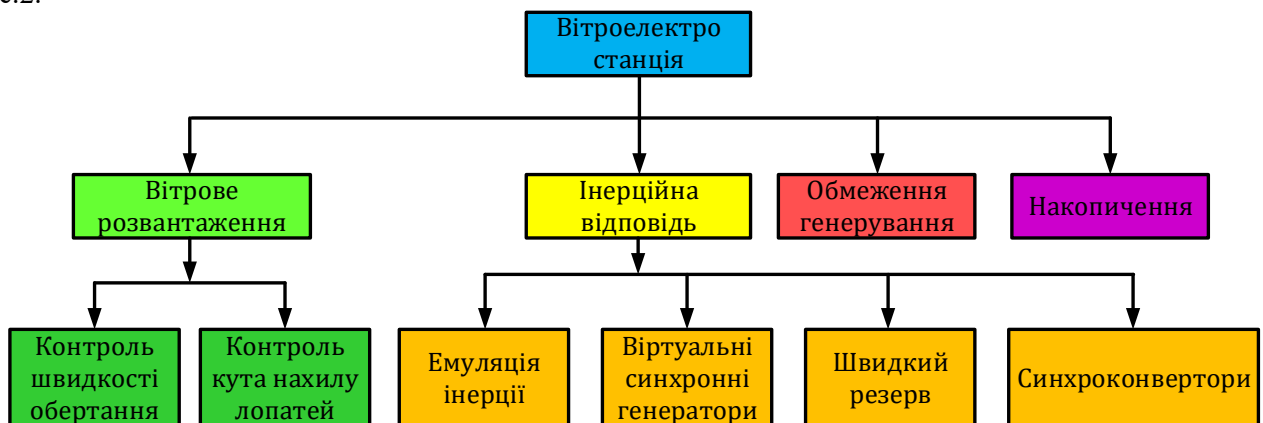


Рисунок 2 – Класифікація техніки підтримки стійкості та частоти за допомогою вітрогенератора

Відповідно до наведеної класифікації техніка вітрового розвантаження, використовує здатність вітрової системи забезпечувати резервну потужність. Ця техніка зміщує оптимальну робочу точку вітрогенератора до заниженого рівня генерування. Як результат, вітрова система має певний запас, який може брати участь у регулюванні частоти.

Техніка інерційної відповіді полягає у застосуванні методів коли система керування імітувати поведінку класичних синхронних генераторів за допомогою ВДЕ.

Техніка обмеження генерування використовує регулятор який вимикається тоді, коли відхилення частоти системи перевищує певну межу ( $|\Delta f| > |\alpha| = 0,075$ ).

Наведені вище техніки мають низьку надійність через різну природу вітру. Потенційним рішенням

ням цієї проблеми є інтеграція ВЕС в мережу за допомогою систем накопичення енергії, таких як акумулятор, надпровідний накопичувач магнітної енергії, накопичувач енергії на колесі, суперконденсатор, тощо.

Класифікація техніки підтримки стійкості та частоти за допомогою вітрогенератора показано на рис.3.

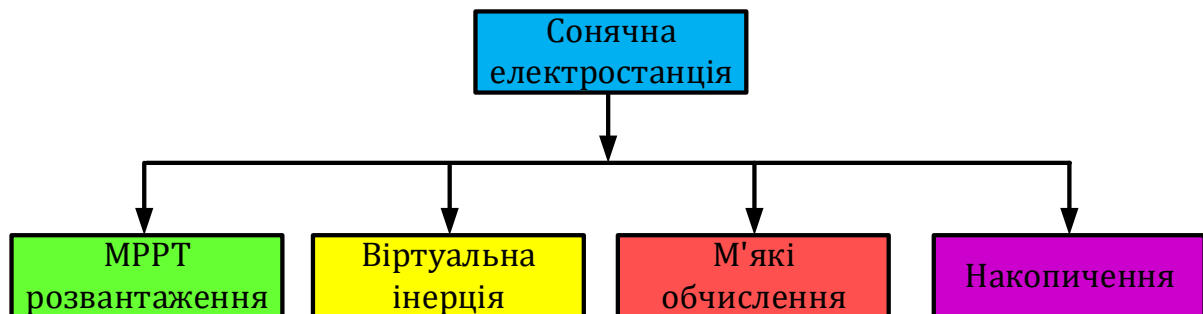


Рисунок 3 – Класифікація техніки підтримки стійкості та частоти за допомогою СЕС

Наведена класифікація передбачає первинне регулювання частоти за допомогою техніки емуляції інерції, тобто віртуальної інерції. Внутрішня та зовнішня петлі управління реалізовані для формування чергуючого циклу DC/DC перетворювача фотоелектричної системи. Перший регулює напругу PV-решітки до вихідного значення, а другий регулює потужність PV до контрольного значення.

Техніка MPP (maximum power point) розвантаження передбачає зміщення точки максимальної потужності для забезпечення підтримання частоти системи.

Як і для ВСЕ, пристрої накопичення енергії можуть бути використані для пом'якшення негативного впливу інтегрування СЕС до мережі за рахунок зменшення коливань активної потужності.

Техніка м'яких обчислень передбачає згладжування стрибків генерування, залежно від відхилення частоти та середньої інсоляції фотоелектричної системи, команда вихідної потужності формується в за допомогою контролера нечіткої логіки.

Для компенсації нестабільності генерування ВДЕ в задачі балансування застосовуються різні методи контролю СЕС та ВЕС для покращення їх частотної характеристики.

### Висновки

Підтримка стійкої роботи електроенергетичної системи є досить складним завданням. Для компенсації нестабільності генерування ВДЕ в задачі балансування застосовуються різні методи контролю СЕС та ВЕС для покращення їх частотної характеристики. Наприклад, для вирішення цих проблем застосовується віртуальний контроль інерції, обмежувачі струму пошкодження, накопичувачі енергії, методи оптимізації. Тим не менше, як і раніше, є можливість покращити вказані стратегії для вирішення ряду проблем інтегрування відновлюваної енергії.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. M. Delfanti, D. Falabretti, M. Merlo, and G. Monfredini, "Distributed generation integration in the electric grid: energy storage system for frequency control," *Journal of Applied Mathematics*, vol. 2014, Article ID 198427, 13 pages, 2014.
2. J. Morren, S. W. De Haan, W. L. Kling, J. Ferreira, Wind turbines emulating inertia and supporting primary frequency control, *IEEE Transactions on power systems* 21 (1) (2006) 433–434.
3. M. H. Fini, M. E. H. Golshan, Frequency control using loads and generators capacity in power systems with a high penetration of renewables, *Electric Power Systems Research* 166 (2019) 43–51.
4. A. Ulbig, T. S. Borsche, G. Andersson, Impact of low rotational inertia on power system stability and operation, *IFAC Proceedings Volumes* 47 (3) (2014) 7290–7297
5. M. S. Alam, F. S. Al-Ismael, A. Salem and M. A. Abido, "High-Level Penetration of Renewable Energy Sources Into Grid Utility: Challenges and Solutions," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 190277-190299, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3031481.

**Бурикін Олександр Борисович** — канд. техн. наук, доц., доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

**Ситник Артур Валерійович** — аспірант кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** — докт. техн. наук, проф., завідувач кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

**Burykin Oleksandr Borysovych** - Candidate of Philology tech. Sciences, Associate Professor of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University

**Sytnyk Artur Valeriiovych** - Postgraduate Student of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University

Supervisor: **Lezhnyuk Petro Demyanovych** - Dr. tech. Sciences, Prof., Head of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University