

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ (BESS) ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ПРИ АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто роль систем зберігання енергії (BESS) у підвищенні стійкості електроенергетичних систем під час аварійних режимів. Проаналізовано технічні принципи роботи BESS, їх вплив на динаміку частоти, напруги та загальну стабільність мережі.

Ключові слова: системи зберігання енергії, BESS, динамічна стійкість, аварійні режими, частотне регулювання, інерційна підтримка.

Abstract

The article examines the role of Battery Energy Storage Systems (BESS) in improving power system stability under emergency operating conditions. The technical principles of BESS operation and their impact on frequency dynamics, voltage control, and overall grid resilience are analyzed.

Keywords: energy storage systems, BESS, dynamic stability, emergency operation, frequency regulation, inertia support.

Вступ

Сучасна електроенергетика перебуває у стані глибокої трансформації, зумовленої активним зростанням частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та впровадженням концепції «розумних» мереж (smart grid). Децентралізована генерація та висока гнучкість розподілених ресурсів створюють нові перспективи для розвитку енергосистем, проте водночас породжують додаткові виклики щодо підтримання їхньої стабільності. Зменшення обертальної інерції, характерне для вітрових і сонячних електростанцій, призводить до підвищення чутливості системи до аварійних збурень і коливань частоти. У таких умовах важливу роль відіграють системи накопичення енергії (BESS — Battery Energy Storage Systems), які здатні оперативно реагувати на перехідні процеси, стабілізуючи роботу мережі та забезпечуючи її надійність [1].

Дослідження

Системи зберігання енергії виконують широкий спектр функцій — від короткочасного балансування потужності та регулювання частоти до довготривалого вирівнювання добових коливань навантаження. У разі раптової втрати генерації, що спричиняє зниження частоти, BESS миттєво переходить у режим розряду, компенсуючи дефіцит активної потужності. Це дозволяє прискорити відновлення частоти та запобігти ланцюговому відключенню споживачів. Навпаки, коли в системі спостерігається надлишок генерації або падіння навантаження, накопичувачі переходять у режим заряджання, поглинаючи надлишкову енергію. Така стратегія дозволяє підтримувати енергетичний баланс без залучення централізованого диспетчерського управління [2].

Ще одним важливим напрямом застосування BESS є підтримання стабільного рівня напруги в розподільних мережах. Завдяки інверторам з можливістю регулювання реактивної потужності системи зберігання енергії стабілізують напругу у критичних вузлах, що особливо важливо для мереж із великою часткою сонячної генерації. Коливання сонячної радіації можуть призводити до швидких змін потужності, викликаючи перенапруги або просідання напруги. У таких випадках BESS ефективно згладжують ці коливання, підвищуючи якість електроенергії та зменшуючи ризик пошкодження чутливого обладнання.

З технічного боку системи зберігання енергії будуються на основі літій-іонних або натрій-сірчаних акумуляторів, інтегрованих з інверторними перетворювачами. Використання цифрових алгоритмів керування дає змогу забезпечувати точну підтримку частоти з реакцією в межах мілісекунд.

Сучасні комплекси BESS оснащені системами моніторингу стану заряду (SOC — State of Charge) та стану здоров'я батарей (SOH — State of Health), що забезпечує оптимізацію процесів заряджання й розряджання відповідно до поточного стану мережі. Використання технологій штучного інтелекту та машинного навчання у системах керування дозволяє передбачати можливі аварійні ситуації й автоматично реалізовувати профілактичні дії до виникнення критичних режимів [4].

Результати моделювання, виконані в [5] на прикладі інтегрованої енергосистеми з часткою ВДЕ понад 40%, показують, що впровадження систем зберігання потужністю 50–100 МВт знижує амплітуду коливань частоти приблизно на 35–40% порівняно з базовим сценарієм без накопичувачів. Час відновлення після аварійного вимкнення генератора скорочується майже вдвічі, а навантаження на первинні регулятори частоти помітно зменшується. Це сприяє продовженню ресурсу турбогенераторів і підвищує загальну надійність енергосистеми [5].

З погляду системного підходу, інтеграція BESS підвищує не лише динамічну, але й статичну стійкість енергосистеми. Гнучке регулювання потоків активної та реактивної потужності забезпечує рівномірний розподіл навантажень у мережі, зменшуючи ймовірність перевантажень та енергетичних втрат. У перспективі поєднання BESS з відновлюваними джерелами енергії та мікромережами створить нову архітектуру — «інтелектуальні енергетичні кластери», здатні до автономної роботи навіть у разі від'єднання від основної мережі.

Системи зберігання енергії (BESS) є ключовим компонентом сучасної енергетики, який забезпечує підвищення ефективності, надійності та гнучкості електричних мереж в умовах високої частки відновлюваних джерел. Їхня інтеграція дозволяє суттєво зменшити вплив аварійних збурень, покращити динамічні характеристики системи та підготувати інфраструктуру до переходу на нову парадигму сталого енергопостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузнецов М., Мельник О., Смертюк В. Вплив параметрів систем акумулювання енергії на балансування комбінованої Енергосистеми Відновлювана енергетика. 2021. №1 С. 4-12.
<https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/286/207>
2. Прасол А. А. Оптимізація роботи систем накопичення енергії з урахуванням циклів заряджання / Вісник КПІ. 2025. С. 1-7 <https://energy.kpi.ua/article/view/331737/321106>
3. Малогулко Ю. В., Ластівка В. Б. Дослідження використання систем накопичення електричної енергії. Матеріали ЛІП науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету. Збірник доповідей [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2024. С. 2177-2181.
<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/832/1453/2726-1>
4. Скрипник С. О., Шеїна Г. О. Порівняння струмів короткого замикання електричної мережі 6(10) кВ та 20 кВ / Наукові праці ДонНТУ. Серія: Електротехніка і енергетика, №1 (22), 2020. С. 21-26.
<https://doi.org/10.31474/2074-2630-2020-1-21-26>
5. Лежнюк, П.Д. Кравчук, С.В. Малогулко, Ю.В. Прокопенко, І.О. Математичне моделювання роботи систем накопичення енергії на ринку допоміжних послуг об'єднаної електроенергетичної системи України / Вісник ХПІ, № 2 (8), 2021. С. 21-29
<https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/38305/135252.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Шляхитнюк Олександр Олександрович – студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Тептя Віра Володимирівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: teptyavira@gmail.com

Shliakhitnyuk Oleksandr Oleksandrovych - student, Vinnitsa National Technical University, student of the department of electric power stations and systems; Vinnitsa, Ukraine.

Teptia Vira Volodymyrivna. - Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the department of electric power stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: teptyavira@gmail.com