

АНАЛІЗ ВПЛИВУ BESS НА ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Представлено аналіз впливу та переваги застосування батарейних систем зберігання енергії на функціонування розподільних електричних мереж. Розглянуто архітектуру BESS та показано, яким чином BESS може допомогти підвищити рівень інтегрування відновлюваних джерел енергії в енергосистему.

Ключові слова: BESS, системи накопичення енергії, розподільні електричні мережі, відновлювальні джерела енергії.

Abstract. An analysis of the impact and benefits of battery storage systems on the operation of electrical distribution networks from recent research was shown. Also was shown the BESS architecture and how BESS can help to increase the integration of renewable energy sources into energy systems.

Keywords: BESS, energy storage systems, distribution power networks, renewable energy sources.

Вступ

Системи накопичення енергії (СНЕ) є особливо необхідними для інтеграції об'єктів «зеленої» енергетики в енергосистему України, оскільки сприяють надійності виконання планового графіку видачі потужності в мережу. Відповідно до закону про використання в Україні накопичувачів енергії, який нещодавно підписав Президент України Володимир Зеленський, їх застосування збалансує роботу енергосистеми і підвищить стабільність електропостачання для споживачів [1]. Крім того, цей закон законодавчо врегулює діяльність із накопичення енергії в країні, а також вводиться новий учасник на ринку електричної енергії – оператор системи накопичення енергії із визначеними правами та обов'язками. Законом також передбачається ліцензування діяльності з накопичення енергії.

Починаючи з кінця 2019 року під час різних зустрічей, присвячених енергетиці, все частіше підіймаються питання необхідності розвитку в Україні найближчим часом систем накопичення енергії (СНЕ) або так званих «energy storage facilities» [2]. В електричній системі накопичення енергії означає відкладення споживання електричної енергії до моменту пізнішого, ніж момент її виробництва, або перетворення електричної енергії в іншу форму (фізичні, інерційні, хімічні, водневі та інші технології), яка може зберігатися. По суті, СНЕ - це устаткування, у якому здійснюється накопичення енергії [3].

Крім того, Верховна Рада ухвалила закон про системи накопичення та зберігання електроенергії, який визначає статус систем та оператора установки накопичення енергії [4]. Закон передбачає створення нового учасника ринку електроенергії – оператора установки накопичення енергії. Визначаються його права та обов'язки. Закон врегулює питання ліцензування діяльності з накопичення енергії та можливість використання накопичувачів споживачами, а також виробниками енергії, зокрема, за «зеленим тарифом». Прийняття закону має збалансувати роботу енергосистеми та сприяти синхронізації української енергосистеми з європейською ENTSO-E, а також підвищити стабільність електропостачання споживачів.

Оператору системи передачі електроенергії та операторам систем розподілу (ОСР) закон забороняє здійснювати діяльність зі зберігання енергії, крім окремих випадків. Системи накопичення енергії допомагають інтегрувати «зелену» генерацію в енергосистему України, забезпечують надійність виконання планового графіку видачі потужності в мережу, а також дають можливість зменшити втрати електроенергії в цих мережах.

Результати дослідження

Останнім часом на ринку відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в Україні активно обговорюється питання розвитку систем накопичення енергії. За інформацією Європейської комісії, накопичення енергії відіграє важливу роль у переході до вуглецево-нейтральної економіки. Системи накопичення енергії сприяють балансуванню електромереж та заощадженню надлишків електричної енергії, підвищенню енергоефективності та інтеграції більшої кількості відновлюваних джерел енергії в електромережі.

Сьогодні існує ряд доступних технологій для впровадження СНЕ, включаючи системи накопичення енергії з використанням акумуляторних батарей (BESS), конденсатори, гідроакумулятори з насосами, накопичувачі стисненого повітря, накопичувачі на маховиках, надпровідні магнітні накопичувачі енергії та накопичувачі теплової енергії.

Традиційні BESS, зазвичай, складаються із:

- системи накопичення енергії на основі акумуляторних батарей (АКБ) різних типів;
- системи централізованого управління (СЦУ), яка впроваджується для комплексного контролю і управління системою BESS;
- система управління живленням (СУЖ) забезпечує координацію декількох PCS, та застосовується для реалізації заданих сценаріїв управління;
- система перетворення потужності (СПП) виконує функцію інтерфейса між батареями і мережею, та забезпечує реалізацію двонаправленого потоку енергії;
- система керування акумуляторними батареями (СК АКБ).

Типова конфігурація системи управління і автоматизації BESS показана на рисунку 1.

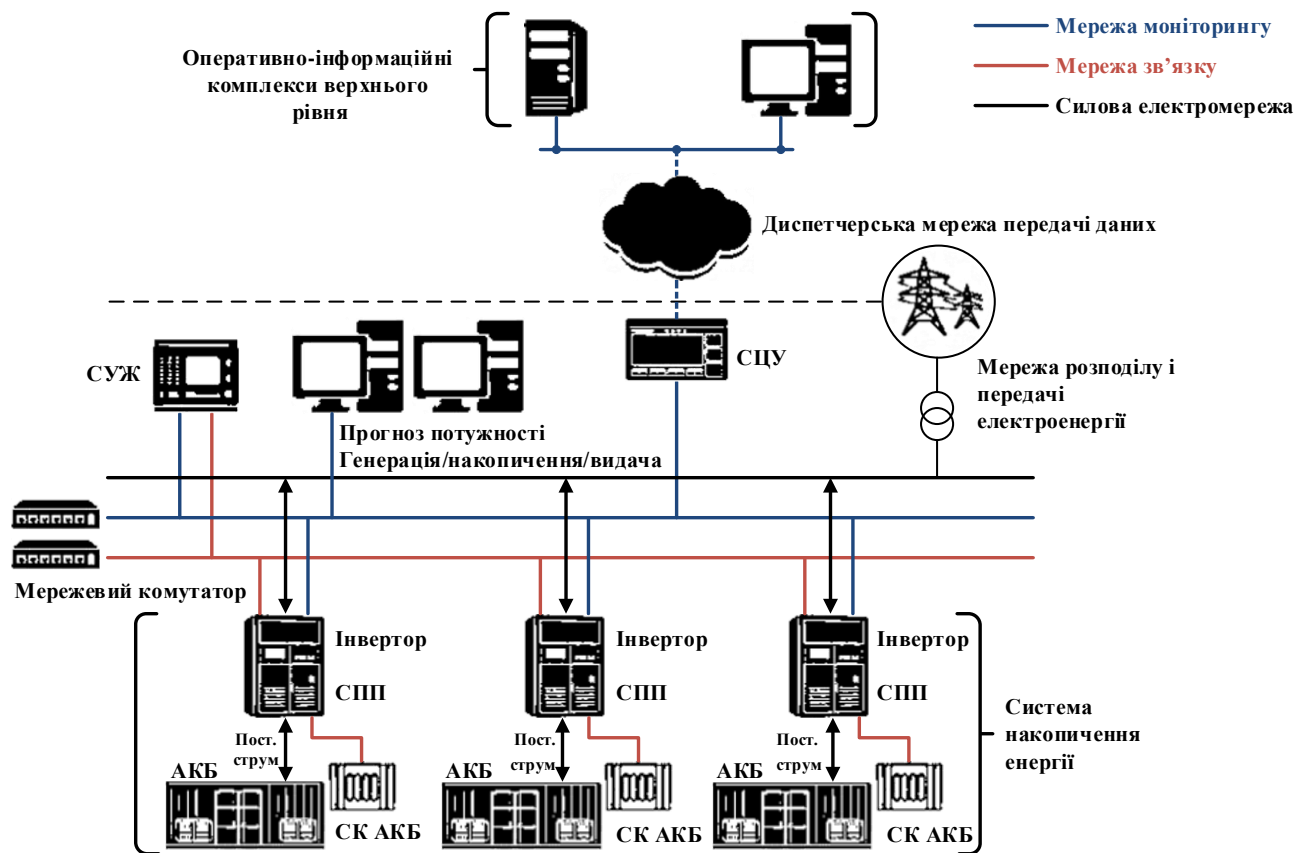


Рисунок 1 - Типова конфігурація системи управління і автоматизації BESS

Однією з найбільш актуальних технологій СНЕ, доступних для реалізації зберігання на рівні мережі, є BESS, ціна яких з кожним роком стає все нижчою. Крім того, сучасні досягнення в розробці акумуляторів пропонують нові можливості та покращені технічні характеристики, включаючи збільшення щільності енергії та покращення хімічних сполук, що використовуються в їхніх матеріалах [5]. Інтеграція BESS в енергосистему дає величезні переваги. Згідно з [6], BESS добре підходить для підтримки ОСР, поступово долаючи проблеми, створені збільшенням розподіленої, коливальної та невизначеної генерації з ВДЕ.

На сьогоднішній день є чимало значних проблем при функціонуванні сучасних енергосистем. Згідно з [7] серед таких проблем: підвищення рівня неефективності, проблеми надійності, економічні та екологічні проблеми, зростання навантаження (індукційні плити, електромобілі та ін.) та нові вимоги до гнучкості. Ці проблеми є достатньо значними, щоб вимагати серйозних змін у плануванні та експлуатації енергосистем [8]. Системи зберігання енергії виявилися придатними для вирішення цих

проблем шляхом покращення функціонування всієї розподільної електричної мережі (РЕМ) та балансування виробництва та попиту [9].

СНЕ відіграють важливу роль у балансуванні енергосистеми. Наявність можливості для електростанцій зберігати згенеровану електроенергію у BESS забезпечує гнучкість енергосистеми, а також згладжує коливання потужності, пов'язані з роботою генерації з ВДЕ. BESS, як накопичувач, в енергетичних системах пропонує технологічне рішення для покращення якості електроенергії, зниження витрат на енергію, зменшення шкідливих викидів, відкладення інвестицій в мережі передачі та розподілу, а також надання допоміжних послуг системі. Крім того, розробка нових технологій BESS є вирішальним фактором стимулювання самостійного використання енергії, виробленої на локальному рівні, та підвищення надійності системи постачання в цілому. Також BESS може зменшити потребу в аварійних запасах енергії. Ефективність та надійність мережі, а також якість електроенергії можна також підвищити за допомогою BESS [10].

Незважаючи на переваги використання BESS в енергосистемах, раніше їх не використовували в великих масштабах. За даними Департаменту енергетики США в усьому світі існує 444 проекти функціональних сховищ з потужністю близько 0,6 ГВт через BESS, а це становить менше 1% світового накопичення енергії. Бар'єри для використання BESS у великих масштабах мають технічний та економічний характер. Найбільш істотною економічною перешкодою для сучасних установок BESS є висока початкова вартість, а також те, що при їх використанні ціна електроенергії збільшується на 4%, за даними [7]. Технічно кажучи, накопичені вигоди від інтеграції BESS в електричну систему сильно залежать від середовища, в якому відбувається інтеграція [11], що, у свою чергу, обмежує її використання.

Інтеграція ВДЕ

Одним з найважливіших застосувань BESS в енергосистемі є підтримка відновлюваних джерел енергії, підключення яких до енергосистем призводить до збільшення потреби в сховищах електричної енергії. Як показано в [12], BESS може вирішити проблеми, викликані мінливістю виробництва вітрової та сонячної енергії. У [13] запропоновано застосовувати BESS при збільшенні кількості вітрових електростанцій в енергосистемі, що дасть змогу зменшити їх стохастичний характер. Завдяки широкому використанню BESS у вітропарках можна зменшити генерацію системного резерву. Крім того, BESS підвищує надійність енергосистеми, в якій присутні ВДЕ. BESS можна розглядати як оптимальний інструмент для згладжування коливань виробництва вітрової або сонячної енергії.

В офісних будівлях або житлових приміщеннях BESS також можна розглядати як інструмент інтеграції ВДЕ. Це дозволить власникам виробляти та споживати енергію на місцевому рівні. Крім того, за допомогою BESS можна оптимізувати зарядку електромобілів, адже їх можна заряджати в періоди, коли вироблена відновлювана енергія перевищує потребу в енергосистемі [14].

Регулювання частоти

BESS швидко та точно реагує на відхилення частоти, в порівнянні з іншими технологіями зберігання, що робить їх оптимальним технічним рішенням для забезпечення первинного контролю [10]. Згідно зі стандартами ефективності керування, BESS оцінюється як ефективний ресурс регулювання для негайного реагування на відхилення частоти. Важливо забезпечити сумісність BESS для засобів первинного контролю при адекватному управлінні рівнем заряду через обмеження терміну служби акумуляторних батарей. Проблема пошуку економічно ефективних стратегій управління рівнем заряду для забезпечення роботи BESS під час первинного контролю постачання можна вирішити за допомогою стандартних методів оптимізації.

Надійність

Надійність енергосистеми також підвищується при використанні BESS. Таку систему можна розглядати як інструмент для реалізації коригувальних дій після надзвичайних ситуацій для збереження балансу генерації навантаження. Завдяки скороченому часу реагування, BESS можна використовувати для негайного реагування після аварійних ситуацій. У [15] показано, яким чином BESS допомагає підтримувати стабільність в енергосистемі до тих пір, поки оператор не перенаправить генерацію. Зобов'язання, обмежені безпекою, покращуються за рахунок використання BESS в енергосистемі, де надійна робота енергосистеми покращується за рахунок оптимального заряджання та розряджання батарей, а також їх використання для підтримки короткочасних непередбачених ситуацій. BESS також може надати підтримку для пом'якшення впливу стихійних лих на електромережу.

Підвищити надійність розподільної мережі для ізоляції ділянок та їх коректної підтримки можна за допомогою BESS та керованих комутаторів. BESS може використовуватися як аварійне джерело живлення при будь-яких видах аварій чи відключень. Більше того, BESS може ефективно використовуватися для запуску електромереж середньої напруги.

Розвантаження електричних мереж

BESS може коригувати доступну потужність передавання, таким чином зменшуючи кількість ліній і годин, коли система передавання перевантажена. BESS можуть розвантажити мережу під час аварійних ситуацій і зменшити ризик наслідків перевантаженості мереж в пікові години. Додатково встановлена BESS може підтримувати навантаження для локального зменшення потоку в системі передавання.

Регулювання напруги

У багатьох дослідженнях інтеграція BESS в енергосистему показала особливі характеристики підтримки напруги в РЕМ. Встановивши BESS в розподільній мережі, можна зменшити відхилення напруги, що покращує інтеграцію відновлюваної енергії [16]. ВДЕ можуть впливати на профіль напруги в мережі: однак, інтеграція ВДЕ і BESS-блоків з оптимальними коефіцієнтами потужності може зменшити втрати енергії та підвищити стабільність напруги. BESS може регулювати активну та реактивну потужність в шинах, синхронно покращуючи профіль напруги в мережі [17].

Згладжування пікового навантаження

Експериментальні дані в [18] показують, що BESS потужністю в 1 МВт можна ефективно використовувати для згладжування піків навантаження. BESS може забезпечити енергію для зменшення піків в енергосистемі: однак, за поточних цін і наявних технологій BESS економічно виправданий для періодів пікового попиту менше 1 години. Впродовж більш тривалого періоду найбільш економічними залишаються усталені рішення, такі як газові електростанції, газотурбінні установки та гідроакумулятори.

В [19] було проведено дослідження зниження пікового попиту в розподільній мережі низької напруги за допомогою BESS; результати показали, що на продуктивність у мережах безпосередньо впливає розташування та конфігурація встановленої BESS, де вона добре підходить для балансування мереж низької напруги.

Обертний резерв потужності

Обертний резерв потужності в енергетичних системах визначається як ненавантажена генерація, яка синхронізована і готова обслуговувати додаткове навантаження або підтримувати непередбачуваний випадок (вимкнення генератора або лінії електропередавання). Запас обертання призначений для того, щоб підтримувати похибку балансу між генерацією та попитом із швидкісною реакцією від секунд до 10 хвилин. BESS, завдяки своєму швидкому часу реагування, може забезпечити обертний резерв в системі живлення. Виходячи з частоти енергосистеми, BESS розряджається, коли значення частоти будуть нижчими за попередньо визначену межу, тоді як BESS будуть заряджатися, коли значення частоти перевищать стандартну межу.

Висновок

Таким чином, наявність у електростанцій власних, чи доступу до орендованих потужностей BESS дозволить вищими темпами розвивати ВДЕ в Україні з мінімізацією ризиків для операційної безпеки об'єднаної енергосистеми України. Запропоновані рішення BESS для електростанцій дозволяють досягнути таких цілей:

- стабілізація інтеграції відновлюваних джерел енергії, підвищення якості електроенергії;
- згладження коливання потужності відновлюваних джерел енергії;
- балансування системи на заданому диспетчерським центром рівні;
- ефективне регулювання частоти, регулювання напруги і обмеження пікового навантаження.

Однак рівень зрілості цієї технології, її складність та економічні проблеми стримували її впровадження в сучасних енергосистемах. Безперечно, BESS дозволяє підвищити рівень інтегрування ВДЕ в енергосистему; однак для цього необхідно оптимізувати потужність і розташування відповідно до застосування. Основною метою BESS у поєднанні з ВДЕ в енергосистемі є не ліквідація звичайних та забруднюючих генеруючих установок; натомість мета BESS – зменшити використання одиниць, необхідних для доповнення ВДЕ в енергосистемах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Режим доступу: <https://ua-energy.org/uk/posts/prezydent-pidpysav-zakon-shchodo-rozvytku-system-nakopichennia-enerhii>.
2. Режим доступу: <https://getmarket.com.ua/ua/news/sistemi-nakopichennya-energiyi-energy-storages-perspektivi-dlya-ukrayini>.
3. Режим доступу: P. LEZHNIUK Mathematical modelling of battery energy storage systems in the additional service market of the United Electric Power System of Ukraine / P. LEZHNIUK, Y/ MALOGULKO, I. PROKOPENKO. - PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY. - 2021. - №10. - P. 22-28. ISSN 0033-2097, R. 107 NR 9/2021.
4. Режим доступу: <https://forbes.ua/news/v-ukraini-zyavitsya-operator-sistemi-nakopichennya-energii-zakon-mae-pidvishchiti-stabilnist-elektropostachannya-15022022-3690>.
5. G. L. Kyriakopoulos and G. Arabatzi, "Electrical energy storage systems in electricity generation: Energy policies, innovative technologies, and regulatory regimes," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 1044 – 1067, 2016.
6. M. Koller, T. Borsche, A. Ulbig, and G. Andersson, "Review of grid applications with the zurich 1mw battery energy storage system," *Electric Power Systems Research*, vol. 120, pp. 128–135, 2015.
7. Ruben Hidalgo-León, Diego Siguenza, Carola Sanchez, Jonathan León, Pablo Jácome-Ruiz, Jinsong Wu, Diego Ortiz "A Survey of Battery Energy Storage System (BESS), Applications and Environmental Impacts in Power Systems," 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), 2018.
8. A. Ipakchi and F. Albuyeh, "Grid of the future," *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 7, no. 2, pp. 52–62, March 2009.
9. S. Koohi-Kamali, V. Tyagi, N. Rahim, N. Panwar, and H. Mokhlis, "Emergence of energy storage technologies as the solution for reliable operation of smart power systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 25, pp. 135 – 165, 2013.
10. J. C. Koj, P. Stenzel, A. Schreiber, W. Hennings, P. Zapp, G. Wrede, and I. Hahndorf, "Life cycle assessment of primary control provision by battery storage systems and fossil power plants," *Energy Procedia*, vol. 73, pp. 69 – 78, 2015, FIREsG 2015.
11. C. Silva-Monroy and J.-P. Watson, "Integrating energy storage devices into market management systems," *Proceedings of the IEEE*, vol. 102, no. 7, pp. 1084–1093, July 2014.
12. S. Teleke, M. Baran, and A. Huang, "Rule-based control of battery energy storage for dispatching intermittent renewable sources," *Sustainable Energy, IEEE Transactions on*, vol. 1, no. 3, Oct 2010.
13. Y. Zheng, D. Hill, K. Meng, F. Luo, and Z. Dong, "Optimal short-term power dispatch scheduling for a wind farm with battery energy storage system," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 30, pp. 518 – 523, 2015, 9th IFACg Symposium on Control of Power and Energy Systems fCPESg 2015New Delhi, India, 911 December 2015.
14. R. Lamedica, S. Teodori, G. Carbone, and E. Santini, "An energy management software for smart buildings with fV2Gg and fBESSg," *Sustainable Cities and Society*, vol. 19, pp. 173 – 183, 2015.
15. Y. Wen, C. Guo, D. Kirschen, and S. Dong, "Enhanced security-constrained opf with distributed battery energy storage," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 30, no. 1, pp. 98–108, Jan 2015.
16. J. Tant, F. Geth, D. Six and J. Driesen, "Multiobjective battery storage to improve pv integration in residential distribution grids," *Sustainable Energy, IEEE Transactions on*, vol. 4, no. 1, pp. 182–191, Jan 2013.
17. E. Reihani, S. Sepasi, L. R. Roose, and M. Matsuura, "Energymanagement at the distribution grid using a battery energy storage system (bess)," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 77, pp. 337 – 344, 2016.
18. L. Xiacong, K. Lingyi, L. Liying, L. Bo, and W. Zhongyong, "Improvement of power quality and voltage stability of load by battery energy storage system," *POWERENG '09.*, March 2009, pp. 227–232.
19. S. Zhang, Y. Mishra, G. Ledwich, "The operating schedule for battery energy storage companies in electricity market," *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 1, no. 3, pp. 275–284, 2013.

Юлія Володимирівна Малогулко — к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net;

Ластівка Вікторія Богданівна — студентка групи ІЕСМ-21б, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Juliya V. Malogulko —Ph.D., Assistant Professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : Juliya_Malogulko@ukr.net;

Lastivka B. Viktoriya - student of ІЕСМ-21b group, Department of Electricity, Electromechanics and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.