

ВИКОРИСТАННЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОТУРБІННОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

В. О. Сліпченко, М. О. Поляков

Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна

Сучасні енергосистеми дедалі частіше працюють у режимах із високою часткою розподіленої генерації та малою інерційністю. В таких умовах зростає роль газотурбінних електростанцій (ГТЕС), які завдяки мобільності та помірним капітальним витратам залишаються основними джерелами резервного та автономного живлення. Водночас газотурбінні установки (ГТУ) мають обмежені динамічні властивості – повільну реакцію на стрибки навантаження, нестабільність частоти та напруги, а також переваження регуляторів, що знижує надійність мікромереж. Мета роботи – дослідити вплив інтеграції суперконденсаторного накопичувача енергії (SCES) на динамічні характеристики ГТУ.

Для аналізу обрано три характерні режими, що визначають граничні стани системи:

Коротке замикання (до спрацювання автомата, $\approx 0,29$ с) – оцінює здатність SCES підтримувати напругу, обмежувати струми та стабілізувати параметри мережі.

Пуск асинхронного двигуна потужністю 40 % від номінальної – демонструє ефективність SCES у зменшенні пускових струмів ($5-7 \times I_n$), обмеженні просадки напруги та зниженні навантаження на ГТУ.

Раптове скидання навантаження, характерне для автономних і офгрід-систем, дозволяє оцінити стабільність ГТЕС при надлишку потужності.

Вибір цих режимів зумовлений їх критичністю: коротке замикання відображає миттєву реакцію системи на аварію, пуск АД – її здатність підтримувати стабільність при зміні потужності, а скидання навантаження – поведінку в умовах надлишкової генерації. Комплексний аналіз цих сценаріїв дає змогу оцінити ефективність застосування SCES для підвищення динамічної стійкості ГТЕС у промислових та автономних режимах.

Мінімальну кількість енергії необхідну для компенсації втрат у кожному з цих режимів вираховують за формулою:

$$E = \int_0^T \Delta P(t) dt \approx \Delta P_{max} \cdot T, \quad (1)$$

де: ΔP – частина потужності, яку має покрити SCES протягом події; T – час перехідного режиму.

Необхідну ємність батареї суперконденсаторів розраховують за формулою:

$$C = \frac{2E}{\eta \cdot (V_{max}^2 - V_{min}^2)}, \quad (2)$$

де: V_{max} та V_{min} – максимальне (1000 В) та мінімальне (600 В) значення напруги на виводах батареї; η – ККД батареї.

В табл. 1 наведені результати моделювання та розрахунку необхідних характеристик для оцінки можливості створення батареї суперконденсаторів.

Таблиця 1. Результати розрахунків

Потужність, МВт	1.0	1.6	2.5
Енергія КЗ, МДж	0.078	0.125	0.196
Енергія АД, МДж	0.140	0.225	0.351
Енергія СН, МДж	0.965	1.544	2.413
Струм Н сер, А	1443	2309	3608
Струм КЗ сер, А	5774	9238	14434
Струм КЗ пік, А	14697	23515	36742
Струм АД, А	4075	6521	10189
Струм АД пік, А	5762	9220	14406
Ємність, Ф	4.5	6	8

Для визначення пікових струмів короткого замикання а також струму пуску асинхронного двигуна використовувалась модель ГТЕС у середовищі MatLAB. Отримані результати дали змогу визначити діапазони енергетичних параметрів для SCES, необхідні для забезпечення стабільності електричних величин під час перехідних процесів.

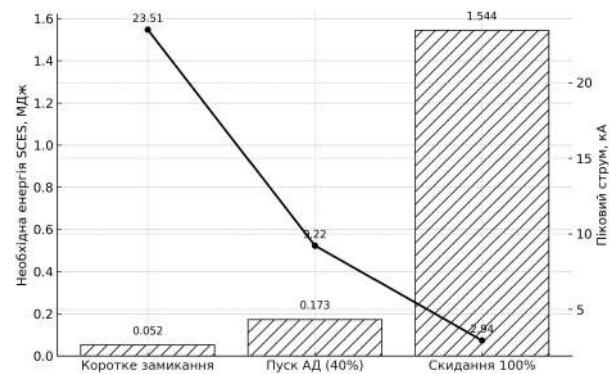


Рис. 1. Діаграма співвідношення основних параметрів у розглянутих режимах роботи

Отримані залежності між параметрами дизель-генератора, тривалістю перехідного процесу та характеристиками SCES формують основу для подальшого детального проектування конструктивних елементів накопичувача – вибору типу суперконденсаторних модулів, кількості послідовних ланцюгів, струмових шин і елементів охолодження.

Список літератури

- [1] Adeyinka, A. M., Esan, O. C., Ijaola, A. O., & Farayibi, P. K. Advancements in hybrid energy storage systems for enhancing renewable energy-to-grid integration. Sustainable Energy Research, 2024. URL: <https://sustainenergyres.springeropen.com/articles/10.1186/s40807-024-00120-4> (дата звернення: 09.10.2025).
- [2] Citalingam, K., & Go, Y. I. Hybrid energy storage design and dispatch strategy evaluation with sensitivity analysis: Techno-economic-environmental assessment. Energy Storage, 2022. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/est2.353> (дата звернення: 09.10.2025).