

УДК 621.311.22:621.316.925:681.5

Линець А.Л., здобувач

Ткачук А.Г., к.т.н, доцент

Крижанівська І.В., к.т.н, доцент

Державний університет «Житомирська політехніка»

ІНТЕГРАЦІЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ У СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Сучасні електроенергетичні системи зазнають трансформацій, пов'язаних із зростанням частки відновлюваних джерел, нестабільністю генерації та підвищеними вимогами до балансування навантаження. В умовах частих коливань споживання та генерації традиційні системи регулювання частоти й потужності втрачають ефективність.

Інтеграція накопичувачів енергії (літій-іонних, гібридних, суперконденсаторних) у системи автоматизованого регулювання дозволяє підвищити гнучкість роботи станцій, забезпечити швидкодію реакції на зміни навантаження й стабілізувати параметри мережі у реальному часі.

Використання накопичувачів відкриває можливості для згладжування пікових режимів, зменшення втрат при пусках агрегатів, підтримання оптимального енергетичного балансу та переходу до адаптивних систем керування типу Smart Grid. Для українських електростанцій, які поступово переходять до децентралізованої генерації, ця технологія є ключовою для підвищення енергетичної безпеки та ефективності [1-2].

Метою досліджень є розроблення підходів до інтеграції систем накопичення енергії у контур автоматизованого регулювання електричних станцій з метою підвищення стабільності параметрів частоти, напруги та ефективності використання генераційних потужностей [3].

Дослідження виконано на основі створення комп'ютерної моделі енергетичного вузла, який містить три основні компоненти: синхронний генератор, що працює у складі електростанції; систему автоматизованого регулювання потужності (САП), реалізовану на основі ПІ-контролера; блок накопичувача енергії (BESS), підключений через двонаправлений DC/DC-перетворювач до шини постійного струму. Моделювання здійснювалося у середовищі MATLAB/Simulink із використанням реальних електричних параметрів літій-іонних модулів типу LG Chem RESU10H (номінальна напруга – 300 В, ємність

– 100 А·год, максимальний струм заряду/розряду – 100 А). Для оцінювання динаміки частоти генератора застосовано модель синхронної машини типу Simscape Electrical Machines. Система керування формує сигнал керування потужністю накопичувача P_{BESS} залежно від миттєвого відхилення частоти Δf від номінального значення f_0 . Алгоритм базується на виразі:

$$P_{BESS} = K_P \cdot \Delta f + K_I \int \Delta f dt ,$$

де K_P , K_I – коефіцієнти ПІ-регулятора, що налаштовуються з урахуванням інерційності системи.

Для підвищення стабільності у непередбачуваних умовах застосовано адаптивну зміну коефіцієнтів регулятора залежно від швидкості зміни навантаження, яку оцінюють за допомогою предиктивної моделі на базі методу ковзного середнього. Передбачено двонаправлений обмін енергією: під час надлишку генерації накопичувач переходить у режим заряду, зменшуючи коливання частоти; у періоди пікових навантажень – віддає енергію у мережу, забезпечуючи стабільність напруги.

Моделювання показало, що використання накопичувачів енергії дозволяє зменшити амплітуду коливань частоти на 35–40 %, а відхилення напруги на 20–25 % у порівнянні з традиційним контуром регулювання. Крім того, інтеграція BESS дає змогу знизити тривалість перехідних процесів і підвищити коефіцієнт корисного використання генераторів.

У структурі Smart Grid такі накопичувачі можуть виконувати функції резервного живлення, пікового зрівнювання, підтримання реактивної потужності та швидкого реагування на аварійні зміни навантаження.

Список використаних джерел:

1. Wang Y., Saad W., Han Z., Poor H. V., Başar T. A Game-Theoretic Approach to Energy Trading in the Smart Grid. arXiv 2013. <https://arxiv.org/abs/1310.1814>
2. Alavi S. A., Mehran K., Hao Y., Mirsaedi H., Vahidinasab V. A Distributed Event-Triggered Control Strategy for DC Microgrids Based on Publish-Subscribe Model Over Industrial Wireless Sensor Networks. arXiv 2019. <https://arxiv.org/abs/1906.03623>
3. Tkachuk A.H., Kryzhanivska I.V., Poklyachenko O.V., Tkachuk D.Yu. Development of intelligent electric power systems based on computer-integrated technologies for monitoring and management of energy flows. Журнал «Наука і техніка сьогодні». Серія: "Техніка". 2025. №6 (47). С. 945-955