

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглядається проблема моделювання перехідних процесів у системах електропостачання що включають відновлювані джерела енергії (ВДЕ). Описані основні методи чисельного моделювання, їхні переваги та недоліки. Особливу увагу приділено аналізу стабільності роботи енергосистеми та впливу швидкодії систем керування на перехідні процеси. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації роботи енергетичних систем із ВДЕ.

Ключові слова: перехідні процеси, електропостачання, відновлювані джерела енергії, моделювання, стійкість енергосистеми.

Abstract

The paper examines the problem of transient process modeling in power supply systems that include renewable energy sources (RES). The main numerical modeling methods, their advantages, and disadvantages are described. Particular attention is paid to the analysis of power system stability and the impact of control system response time on transients. The obtained results can be used to optimize the operation of energy systems with RES.

Keywords: transient processes, power supply, renewable energy sources, modeling, power system stability.

Вступ

Зростання частки відновлюваних джерел енергії в енергосистемах викликає нові виклики щодо аналізу їхньої динамічної поведінки. Перехідні процеси, що виникають при зміні режимів роботи генераторів, можуть суттєво впливати на стабільність і надійність енергосистеми. Тому важливим є розробка ефективних методів моделювання таких процесів для прогнозування їхнього впливу та розробки заходів щодо стабілізації [1].

Основні методи моделювання

1. Чисельні методи розв'язку диференціальних рівнянь.

Використання методів Рунге-Кутти, інтегрування методом Ейлера та інших чисельних методів дозволяє проводити точний аналіз перехідних процесів. Вони дозволяють розраховувати зміну параметрів електричних систем у часі, визначати можливі нестабільності та оцінювати ефективність регулюючих заходів [2].

2. Моделювання у середовищах MATLAB/Simulink, PSCAD.

Ці програмні комплекси широко використовуються для аналізу динамічних режимів роботи енергосистем. Вони дозволяють створювати детальні моделі електроенергетичних мереж, досліджувати взаємодію між різними компонентами системи та оцінювати вплив змінних параметрів на загальну стійкість системи [3].

3. Експериментальне моделювання за допомогою апаратних стендів.

Використання фізичних моделей дозволяє враховувати реальні характеристики обладнання. Це особливо важливо при дослідженні впливу нестабільностей мережі на електрообладнання, оскільки лабораторні випробування можуть точно відобразити реальні умови експлуатації [4].

Результати досліджень

Аналіз показав, що найбільш ефективними методами для дослідження перехідних процесів є комбіновані підходи, що поєднують чисельні методи з експериментальними даними. Було виявлено, що значні коливання напруги та частоти у системах з ВДЕ можуть суттєво знижувати ефективність роботи енергосистеми та спричиняти аварійні відключення. Найбільш ефективні методи регулювання включають адаптивне управління інверторами, використання енергетичних накопичувачів та покращення алгоритмів прогнозування змін в енергомережі [5].

Результати дослідження також продемонстрували, що оптимізація режимів роботи системи дозволяє зменшити перехідні процеси та підвищити її загальну стабільність. Використання сучасних методів керування дозволяє значно зменшити амплітуду перехідних процесів та забезпечити більш плавний перехід між режимами роботи електромережі.

Висновок

Застосування сучасних методів моделювання дозволяє значно покращити прогнозування динамічної поведінки енергосистем з ВДЕ та підвищити їхню надійність. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку адаптивних алгоритмів керування для покращення стійкості енергосистем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Карпішин, І. П., & Гончаренко, О. В. (2021). Динамічні процеси у відновлюваних енергетичних системах. Енергетика та електрифікація, (3), 45-53. <https://ela.kpi.ua/500>
2. М. П. Кузнецов. Особливості комбінованих енергосистем з відновлюваними джерелами енергії: монографія / — Київ: ІВЕ, 2022. — 142 с. ISBN 978-966-641-11 https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Kuznetsov_monografy_PRINT.pdf
3. П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії — Вінниця : ВНТУ, 2018. — 174 с. ISBN 978-966-641-353-9 https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/Lezhniuk_2018_174.pdf
4. D. Logan, C. Neil, and A. Taylor Modeling Renewable Energy Resources in Integrated Resource Planning RCG/Hagler, Bailly, Inc. Boulder, Colorado National Renewable Energy Laboratory 1617 Cole Boulevard Golden, Colorado 80401-3393 A national laboratory of the U.S. Department of Energy Managed by Midwest Research Institute for the U.S. Department of Energy under contract No. DE-AC36-83CH10093 <https://www.nrel.gov/docs/legosti/old/6436.pdf>
5. Wang, Y., & Li, X. (2023). Stability Analysis of Power Systems with High Penetration of Renewable Energy Sources. IEEE Transactions on Power Systems, 38(4), 2995-3006.

Попов Максим Андрійович – студент групи ЕС-23Б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: popov2006.mm@gmail.com

Пінаєв Богдан Олегович – Ph.D., старший викладач кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Pinaev.bogdam@gmail.com

Popov Maksym Andriyovich – student of group ES-23B, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: popov2006.mm@gmail.com

Pinaev Bohdan Olegovich – Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Pinaev.bogdam@gmail.com