

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
ХОМУТОВА Сергія Володимировича
на тему «Багаторівневе адаптивне керування режимами роботи
локальних комбінованих систем електрозабезпечення з відновлюваними
джерелами та установками зберігання електроенергії»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 14 – Електрична інженерія
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Хомутова Сергія Володимировича присвячена актуальному напрямку автоматизованого керування локальними комбінованими системами електрозабезпечення з відновлюваними джерелами та установками зберігання електроенергії. Зростання частки інверторно-орієнтованих ресурсів, зменшення еквівалентної інерції та поширення автономних і мікромережевих режимів потребують нових алгоритмів керування, здатних адаптуватися до поточного стану системи та забезпечувати стійкий перехід між мережевим і острівним функціонуванням.

У контексті автоматизації електротехнічних комплексів суттєвим є поєднання енергетичної моделі об'єкта, алгоритмів оцінювання стану, логіки вибору режиму та формування керуючих дій. Саме такий комплексний підхід реалізовано в дисертації, де режими Grid Following, Grid Forming, Island, Zero Flow і Resynchronization розглядаються як складові єдиної багаторівневої системи керування.

Актуальність дослідження посилюється потребою забезпечити не лише баланс потужності, а й стабільність частоти та напруги, допустимі значення RoCoF, обмеження за SoC/SoH, технічний ресурс УЗЕ та безпечну взаємодію з верхнім рівнем EMS/SCADA. Для об'єктів критичної інфраструктури, телекомунікаційних вузлів, центрів обробки даних і промислових споживачів така постановка має безпосереднє практичне значення.

Дослідження виконувалося в межах науково-дослідних робіт Інституту відновлюваної енергетики НАН України «Комплекс-3» (ДР № 0118U003385) та «Комплекс-Інтегро» (ДР № 0123U100782).

Обґрунтованість і достовірність результатів

Обґрунтованість отриманих результатів забезпечено застосуванням методів теорії автоматичного керування, системного аналізу, математичного моделювання, теорії електроенергетичних систем, статистичного та спектрального аналізу, а також сценарного дослідження режимів роботи.

У роботі сформовано режимозалежне подання ЛКСЕ, в якому безперервні змінні стану та керування відокремлено від дискретної логіки вибору режиму. Такий підхід є методично правильним для гібридних електротехнічних систем, оскільки дозволяє описати як динаміку в межах окремого режиму, так і умови переходу між режимами.

Достовірність висновків підтверджується проведенням чисельних експериментів для нормального, аварійного, острівного та ресинхронізаційного сценаріїв; урахуванням обмежень за активною і реактивною потужністю, станом заряду, технічним станом УЗЕ, частотою і напругою; порівнянням альтернативних стратегій керування та аналізом впливу параметрів регуляторів на динамічні показники.

Позитивною рисою є поєднання енергетичного й інформаційного рівнів: математична модель і цифрове подання об'єкта формують основу для оцінювання стану, побудови множини допустимих режимів та видачі команд керування через EMS/SCADA.

Наукова новизна

До основних результатів, що мають наукову новизну, належать:

- вперше розроблений багаторівневий адаптивний підхід до керування режимами роботи ЛКСЕ, у якому вибір дискретного режиму узгоджено з поточним станом системи та безперервними керуючими впливами;
- удосконалене математичне подання режимів ЛКСЕ з урахуванням технологічного конфлікту між динамічною стійкістю, надійністю, енергоефективністю та деградацією УЗЕ;
- удосконалений метод оцінювання динамічної стійкості шляхом інтеграції показників RoCoF, відхилення напруги, часу встановлення та режимних обмежень у єдину систему критеріїв;
- подальший розвиток методів побудови карт режимів і автоматизованого вибору допустимого режиму на основі телеметрії, розрахункових показників і прогнозованого стану системи;

– подальший розвиток підходів до інтеграції цифрової моделі ЛКСЕ з EMS/SCADA та реалізації замкненого циклу «вимірювання – оцінювання стану – вибір режиму – формування команди – зворотний зв’язок».

Наукове значення дисертації полягає в розвитку методів автоматизованого керування гібридними електротехнічними системами з дискретно-безперервною структурою та режимозалежною динамікою.

Практична цінність результатів

Запропоновані моделі та алгоритми можуть бути використані при розробленні систем автоматизації локальних енергетичних комплексів, мікромереж, об’єктів з ВДЕ та УЗЕ, а також систем безперервного електроживлення відповідальних споживачів.

Практично важливими є:

- алгоритм виявлення умов переходу між GFL- і GFM-режимами;
- формування множини допустимих режимів з урахуванням технічних обмежень;
- логіка керованого відокремлення, автономної роботи та ресинхронізації;
- використання інтегрального критерію для вибору режиму залежно від пріоритетів об’єкта;
- можливість реалізації розрахункових процедур на рівні EMS/SCADA;
- урахування стану УЗЕ, доступної потужності та ресурсу під час формування команд активної і реактивної потужності.

Практична спрямованість роботи підтверджується наявністю рекомендацій і документів щодо використання результатів для критичної інфраструктури, телекомунікаційних та інформаційних комплексів.

Оцінка структури і змісту дисертації

Дисертація має логічну структуру та складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

Перший розділ містить аналіз особливостей локальних комбінованих систем електрозабезпечення, інверторно-орієнтованих ресурсів, режимів GFL/GFM та проблем керування в умовах інерційного дефіциту.

У другому розділі сформовано концепцію багаторівневого адаптивного керування, систему критеріїв, обмежень і карт режимів.

У третьому розділі наведено математичну модель, алгоритм вибору режиму та структуру взаємодії енергетичного і керуючого рівнів.

У четвертому розділі подано результати моделювання, оцінено перехідні процеси, вплив параметрів керування, ресурсні обмеження УЗЕ та практичні сценарії роботи.

Основні результати дисертації оприлюднено у 9 наукових публікаціях, у тому числі у 4 статтях у наукових фахових виданнях та 5 публікаціях за матеріалами конференцій. Робота є завершеним дослідженням; порушень принципів академічної доброчесності за наданими матеріалами не встановлено.

Зауваження та дискусійні положення

1. У роботі запропоновано режимозалежну математичну модель, проте для підвищення відтворюваності доцільно було б у зведеному вигляді подати повний склад вектору стану, вектору керування, зовнішніх збурень і вихідних змінних для кожного режиму.

2. Умови перемикання між GFL, GFM, Island, Zero Flow і Resynchronization описані на алгоритмічному рівні. Бажано чіткіше визначити захист від частих перемикань: гістерезис, мінімальний час перебування в режимі, блокування повторного переходу та логіку пріоритетів у разі одночасного виконання кількох умов.

3. Під час практичної реалізації в EMS/SCADA на якість керування впливають затримки вимірювання, дискретність телеметрії, втрата пакетів та застарівання даних. У дисертації доцільно було б ширше показати чутливість алгоритму до цих факторів і критерії достовірності телеметрії.

4. Інтегральний критерій адаптивності об'єднує різнорозмірні показники. Потребує додаткового пояснення процедура їх нормування та перевірка стійкості рішення до зміни вагових коефіцієнтів. Доцільно було б навести конкретний метод нормування (наприклад, min-max або z-score), застосований для приведення різнорозмірних показників до єдиної шкали.

5. Верифікація виконана переважно засобами цифрового моделювання. Перспективним напрямом є hardware-in-the-loop або експериментальна перевірка окремих переходів на фізичному контролері чи стенді з реальними протоколами обміну.

6. Для практичного використання алгоритму корисно було б окремо подати таблицю відповідності між вимірюваними параметрами,

розрахунковими індикаторами, умовами переходу і командами, що передаються інверторам та УЗЕ.

Зазначені зауваження мають рекомендаційний і дискусійний характер, не знижують загальної наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Хомутова Сергія Володимировича на тему «Багаторівневе адаптивне керування режимами роботи локальних комбінованих систем електрозабезпечення з відновлюваними джерелами та установками зберігання електроенергії» є завершеною самостійною науковою працею, у якій одержано нові наукові результати у сфері автоматизованого керування локальними електротехнічними системами з ВДЕ та УЗЕ.

За актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю результатів, практичним значенням та рівнем апробації дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор Хомутов Сергій Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 – Електрична інженерія за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації електротехнічних
та мехатронних комплексів

Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»



Алла БОСАК

2026 р.

Підпис к.т.н., доцента А. В. Босак засвідчую:



Алла В. Босак
[ПОСАДА, ПІБ УПОВНОВАЖЕНОЇ ОСОБИ]

