

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету “Львівська політехніка”
д-ру техн. наук, професору Лозинському Андрію Орестовичу

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Кузика Ростислава-Івана Валерійовича

”Синтез енергоформуючого керування електротехнічними комплексами із
застосуванням декомпозиції”,

представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 14 “Електрична інженерія”

за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”

1. Актуальність теми дисертації. Сучасні тенденції розвитку електротехнічних комплексів (ЕТК) та об’єктів направлені на комплексне покращання показників їх енергоефективності, електромагнітної сумісності, надійності тощо. Реалізація вказаних тенденцій розвитку ЕТК вимагає системного підходу для отримання бажаних показників динаміки, статички, а також високих показників енергоперетворення, що повинно ґрунтуватися на строгому та фізично зрозумілому описі перетоків та дисипації електроенергії як у лінійних, так і в нелінійних системах.

У низці останніх наукових праць для таких систем та об’єктів керування використовують апарат матрично-векторного опису як порт-гамільтонових систем (ПГС). Ці методи ґрунтуються на енергетичній основі, а такі системи називають – системи енергоформуючого керування (СЕФК).

На основі такого математичного апарату синтезують відповідні до поставлених вимог динаміки, статички, енергоефективності структури формувачів керуючих впливів (ФКВ), тобто регуляторів координат порт-гамільтонових систем. Одною з основних особливостей та переваг моделей енергоформуючого керування є забезпечення асимптотичної стійкості складних нелінійних систем у різних режимах їх роботи.

Одними із доцільних сфер використання запропонованого підходу для задач синтезу та моделювання бажаних режимів роботи є вітро- та сонячна енергетика, електромобілі тощо, які відносяться до класу складних нелінійних систем.

У даній дисертаційній роботі для задач синтезу та аналізу запропоновано використовувати процедуру декомпозиції таких складних порт-гамільтонових систем на простіші підсистеми нижчого порядку, а вже до кожної з них вказані задачі вирішувати на енергетичній основі.

За такого підходу значно спрощується процедура структурного та параметричного синтезу СЕФК режимами складних електротехнічних комплексів у цілому.

Зважаючи на це, тема дисертаційного дослідження є актуальною та важливою.

2. Зв'язок теми дисертації з науковими програмами, планами і темами

Тема дисертаційної роботи відповідає напряму дослідження, що ставиться Державною науково-технічною програмою “Енергоефективні та ресурсозберігаючі технології генерування, перетворення та використання електроенергії”, а також одному з наукових напрямів досліджень кафедри електромехатроніки та комп'ютеризованих електромеханічних систем – “Створення спеціальних мікропроцесорних і комп'ютерних систем керування” Національного університету “Львівська політехніка”.

3. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, висновків та рекомендацій

Достовірність отриманих результатів, наукових положень та висновків підтверджуються коректним застосуванням фундаментальних законів фізики, методів теоретичної електротехніки, теорії автоматичного керування, коректним використанням основних положень методів декомпозиції та агрегування (композиції) складних нелінійних динамічних систем та об'єктів, коректним виконанням моделювання на енергетичній основі досліджуваних в роботі електротехнічних об'єктів на основі положень теорії порт-гамільтонових систем. Коректність прийнятих припущень та вірогідність положень, на яких ґрунтуються запропоновані методи енергоформування керування, синтезу та аналізу, декомпозиції та агрегування підтверджуються також співпаданням отриманих результатів комп'ютерних та експериментальних досліджень.

4. Наукова новизна основних висновків та результатів дисертації

Значимим у даній дисертаційній роботі є запропонований на основі структурної та режимної декомпозиції порт-гамільтонових систем підхід для вирішування структурного та параметричного синтезу порт-гамільтонових систем, що дав змогу спростити та узагальнити методологію проектування та моделювання СЕФК складними нелінійними електротехнічними комплексами, зокрема в царині відновлюваної енергетики та електротранспорту.

Наукові результати

1. Отримали подальший розвиток методологічні основи енергоформуючого керування стосовно складних електротехнологічних комплексів на основі виконання декомпозиції порт-гамільтонових систем, що дало змогу спростити структурний та параметричний синтез їх систем керування.

2. Вперше виконано синтез системи енергоформуючого керування складною нелінійною електромеханічною системою постійного струму з двигуном, інтегрованим в Zeta-SEPIC DC-DC перетворювач, з використанням процедури декомпозиції у різних режимах роботи, що дало змогу отримати високі та однакові показники динаміки на повному діапазоні регулювання швидкості.

3. Вперше на прикладі вітроелектрогенеруючого електротехнологічного комплексу з гібридною системою накопичення електроенергії показано, що синтезована СЕФК для порт-гамільтонової моделі усього електротехнологічного комплексу та СЕФК, що синтезовані для ПГС, на які структурно декомпоновано загальну ПГС всього комплексу, забезпечують приблизно однакові показники якості керування за дії основних збурень, як зі сторони генерування, так і зі сторони споживання енергії.

5. Значимість результатів роботи для науки та практики

Практичне значення отриманих у дисертаційній роботі результатів представляє розроблена автором методика структурного та параметричного синтезу СЕФК складними нелінійними електротехнічними комплексами, що складаються з різних за фізичною природою елементів, що запропоновано та продемонстровано у дисертаційній роботі на низці нетрадиційних систем

генерування електричної енергії та рушійних електромеханічних систем електротранспорту.

Практичне значення отриманих у дисертації роботі рішень дає змогу комплексно покращити показники енергоефективності, отримувати необхідні показники динаміки і статички та забезпечувати асимптотичну стійкість, що забезпечуються синтезованими на основі стратегії енергоформуючого керування формувачами керуючих впливів порт-гамільтонових систем.

Опрацьований у дисертаційній роботі метод синтезу складних нелінійних електротехнічних систем на основі виконання їх структурної та режимної декомпозиції доцільно використовувати у науково-дослідних та проектних установах, спеціалізованих електротехнічних фірмах та навчальних закладах вищої освіти.

Доцільність практичного використання отриманих в дисертаційній роботі результатів підтверджується актом впровадження.

6. Повнота викладання наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях та їх апробація

Отримані у дисертаційній роботі результати досліджень достатньо повно опубліковані у наукових працях та представлені на науково-технічних конференціях різних рівнів.

Основні результати опубліковані у 9 друкованих наукових працях, з яких 3 у періодичних наукових фахових виданнях України та одна стаття у періодичному виданні іноземних держав, що включене до наукометричної бази Scopus; 5 у матеріалах наукових конференцій, з яких одна включена до наукометричної бази Scopus.

Вказані публікації дають повну інформацію про суть та зміст отриманих у дисертаційній роботі результатів, а також про їхню наукову новизну, практичну значимість.

7. Структура, обсяг та зміст дисертації

Матеріал дисертації представлено на 160 сторінках основного тексту. Вона складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків та списку зі 121

використаних літературних джерел. Текст дисертації містить 71 рисунок та 10 таблицю.

У дисертації розв'язано науково-прикладну задачу удосконалення структур та моделей керування складними нелінійними електротехнічними комплексами на основі використання процедури декомпозиції структур та режимів порт-гамільтонових систем, що описують роботу вказаних електротехнічних комплексів та їх елементів. Використання процедури декомпозиції до порт-гамільтонових систем в дисертації обґрунтовується перманентним ускладненням сучасних електротехнічних комплексів та їх нелійними властивостями. Запропонована та опрацьована у дисертації процедура структурної та режимної декомпозиції спрощує процедуру виконання синтезу та аналізу складних нелінійних електротехнічних комплексів та об'єктів, а також дає змогу покращувати показники їх функціонування у динамічних та усталених режимах роботи.

У *вступі* обґрунтовано актуальність та важливість обраної теми дисертаційного дослідження. Наводяться мета та задачі дослідження, вказуються об'єкти та предмет дослідження, а також пункти наукової новизни та практична значимість отриманих результатів. Наведено інформацію про впровадження результатів дослідження, особистий внесок здобувача, апробацію результатів дослідження, їх публікацію, а також структуру і обсяг дисертації.

У *першому розділі* виконано аналіз літературних джерел за тематикою дисертаційного дослідження, описано теоретичні засади керування на основі енергетичних підходів, розглянуто проблематику їх застосування до складних електротехнічних комплексів, а також описано особливості та обґрунтовано доцільність використання методів декомпозиції для вирішування поставлених задач до порт-гамільтонових систем.

У *другому розділі* запропоновано та обґрунтовано способи декомпозиції структури та режимів порт-гамільтонових систем, описано їх переваги та недоліки, обґрунтовано доцільні з них для вирішування поставлених задач дисертаційного дослідження, а також наведено приклади їх використання стосовно низки електротехнічних комплексів і описано особливості використання такого підходу для задачі синтезу СЕФК.

У *третьому розділі* дисертації виконано реалізацію структурної декомпозиції автономного електротехнічного вітро-сонячного комплексу генерування електричної енергії та подальшого накопичення її в гібридній акумуляторно-суперконденсаторній системі. Отримано математичний опис цілого комплексу як порт-гамільтонової системи та математичний опис трьох декомпонованих порт-гамільтонових підсистем із загальної недекомпонованої системи. Виконано структурний синтез енергоформуєчого керування загальної системи та її декомпонованих підсистем. Далі у середовищі Matlab/Simulink проведено їх комп'ютерне дослідження, за результатами якого синтезовано та обґрунтовано вибір кращих формувачів керуючих впливів і проведено їх адаптивний параметричний синтез. Виконаний порівняльний аналіз отриманих показників функціонування загальної та декомпонованої систем показав практично однакову їх якість керування. На основі отриманих результатів комп'ютерних досліджень доведено ефективність та доцільність використання структурної декомпозиції до порт-гамільтонової системи дослідженого нелінійного електрогенеруючого комплексу з гібридною системою накопичення електроенергії у контексті спрощення процедури синтезу системи енергоформуєчого керування для такого складного нелінійного електротехнічного комплексу.

У *четвертому розділі* виконано дослідження ефективності використання режимної декомпозиції порт-гамільтонової електромеханічної системи надання руху транспортному засобу на основі двигуна постійного струму, що живиться від двонапрявленого Zeta-SEPIC DC-DC перетворювача. У результаті застосування режимної декомпозиції було отримано різні структури порт-гамільтонових систем, що працюють у різних режимах, і для них виконано адаптивний параметричний синтез СЕФК. За результатами виконаних модельних досліджень цих систем у різних режимах роботи показано ефективність та доцільність використання режимної декомпозиції.

У *п'ятому розділі* досліджено створений лабораторний макетний варіант системи розробленого у 4-му розділі електропривода із Zeta-SEPIC DC-DC перетворювачем та виконано на ньому низку експериментів. Спроектовано та реалізовано СЕФК струму якоря двигуна, СЕФК швидкості двигуна та комбіновану СЕФК швидкості двигуна зі струмообмеженням на базі мікроконтролера з

застосуванням режимної декомпозиції. Порівняльний аналіз отриманих у четвертому розділі результатів модельних досліджень вказаного електропривода та результатів, отриманих на його експериментальному зразку, з достатньою практичних досліджень точності показав співпадіння показників їх динаміки та статички.

Підсумовуючи сказане вище, можна стверджувати, що практичне застосування структурної та режимної декомпозицій порт-гамільтонових систем спрощує процедуру синтезу СЕФК. На основі аналізу отриманих результатів комп'ютерних та експериментальних досліджень доведено можливість отримання високих показники якості керування за допомогою синтезованих у дисертаційному дослідженні СЕФК з використання процедури декомпозиції.

7. Відсутність (наявність) порушень академічної доброчесності.

За результатами опрацювання дисертаційної роботи та публікацій автора порушень академічної доброчесності не виявлено.

8. Зауваження та дискусійні положення матеріалу до дисертації

1. З викладеного в дисертації матеріалу не зрозуміло, за якими критеріями або чим мотивуються вибір того чи іншого виду декомпозиції для виконання процедури синтезу системи енергоформуючого керування для досліджуваних систем і комплексів.

2. Незрозуміло також, за якими підходами вибрано найбільш ефективні структури формувачів керуючих впливів, що подаються виразами (3.74) - (3.77), з отриманих у результаті параметричного синтезу системи енергоформуючого керування комплексом генерування електричної енергії з відновлюваних джерел та з гібридною системою її накопичення.

3. Чи враховуються у запропонованій у дисертаційній роботі процедурі синтезу систем енергоформуючого керування із застосуванням декомпозиції обмеження, що у багатьох випадках накладаються на проміжні координати електротехнічних комплексів?

4. У висновку 3 до розділу 3 (стор. 100) стверджується, що результати комп'ютерного симулювання синтезованих систем енергоформуючого керування цілісним автономним електрогенеруючим комплексом та таким же

комплексом, але синтезованим за використання процедур декомпозиції-композиції показали дослівно “приблизно однакові показники”. Це математично нестрогий чи “слабкий” висновок для порівняння досліджуваних структур.

5. Які більш строгі чи формалізовані критерії, як альтернативні, доцільно було б використати для доведення вірогідності використання запропонованого у дисертації та виконаного у третьому розділі підходу декомпозиції-агрегування для СЕФК електрогенеруючим комплексом можна було б використати ?

6. У дисертації вільно використовується термін “оптимальність”: тобто не конкретизується назва критерію оптимальності, не наводиться його функція чи функціонал. Наприклад: ”пошуку оптимальних значень відповідних коефіцієнтів його структури” (стор. 44); ”оптимальний енергетичний обмін” (стор. 50); “підтримувала енергію в оптимальному стані”; “Залежність оптимальної випрямленої напруги” (стор. 93); “для оптимальних значень струму” (стор. 94); “Залежність оптимального струму” (стор. 94) та ін.

7. У розділі 5 експериментальних досліджень потрібно було б більш виразніше акцентувати та описати, коректність розв’язання яких поставлених задач дисертаційного дослідження та вірогідність яких отриманих в ній результатів зі синтезу СЕФК та процедури використання декомпозиції перевірялися дослідженнями на експериментальному стенді.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії **Кузика Ростислава-Івана Валерійовича** на тему “Синтез енергофрмуючого керування електротехнічними комплексами із застосуванням декомпозиції” є завершеною працею, яка виконана на належному науково-практичному рівні, наукові положення та висновки є обґрунтованими, їх вірогідність доведена результатами модельних та експериментальних досліджень на створеному експериментальному лабораторному зразку, в ній не порушено принципів академічної доброчесності, сукупність знакових та практичних результатів у повній мірі вирішує поставлене наукове завдання розроблення способів декомпозиції порт-гамільтонових систем, які описують роботу складних електротехнічних комплексів та завдання обґрунтування доцільності використання методології

декомпозиції для задачі синтезу енергоформуючого керування такими електротехнічними комплексами з метою спрощення їх структурного і параметричного синтезу, що має важливе науково-прикладне значення для теорії та практики в царині знань 14 «Електрична інженерія».

Приймаючи до уваги актуальність поставленого і вирішеного завдання, наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів, вважаю, що рецензована дисертаційна робота відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішень разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 зі змінами згідно із постановою Кабінету Міністрів від 21 березня 2022 р. №9341.

Автор роботи, Кузик Ростислав-Іван Валерійович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Рецензент, доктор технічних наук, професор,
професор кафедри електромехатроніки
та комп'ютеризованих електромеханічних систем
Національного університету
«Львівська політехніка»



Ярослав ПАРАНЧУК

Підпис д-ра техн. наук, профі Ярослава ПАРАНЧУКА засвідчую:

Вчений секретар Національного університету
«Львівська політехніка»



Роман БРИЛИНСЬКИЙ