

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»



10 / 2025 р.

Висновок

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення
результатів дисертації «Синтез енергоформуючого керування
електротехнічними комплексами із застосуванням декомпозиції»
здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
141 Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка
(галузь знань 14 Електрична інженерія)
Кузика Ростислава-Івана Валерійовича
наукового семінару кафедри електромехатроніки та
комп'ютеризованих електромеханічних систем
Навчально наукового інституту енергетики та систем керування**

1. **Актуальність теми дисертації.** Сучасний розвиток різних сфер діяльності супроводжується постійним ускладненням структур об'єктів, які вже набирають форм великих систем і комплексів. Математичне моделювання роботи таких комплексів, зважаючи на різноманітність процесів у них, доцільно проводити на енергетичній основі, оскільки енергетичні процеси описуються однаковими закономірностями незалежно від природи явищ. Для цього найкраще підходить порт-гамільтоновий формалізм, який набув досить широкого розвитку за останні 20 років. Відповідно до нього, динаміку роботи переважної більшості в загальному нелінійних систем можна описати канонічним матричним описом як ПГС. Для ПГС розроблено методи автоматичного керування, які дають змогу об'єднати в собі низку задач керування, які необхідно виконувати одночасно. Оскільки ці методи також побудовані на енергетичній основі, загальна назва таких систем керування – системи енергоформуючого керування (СЕФК). У результаті структурного синтезу СЕФК можна отримати різні структури формувачів керуючих впливів (ФКВ), які виконують роль регуляторів координат ПГС. Складність самих досліджуваних комплексів призводить до зростання порядку систем диференціальних рівнянь ПГС, що, відповідно, значно ускладнює структурний синтез СЕФК через значну кількість можливих варіантів синтезованих структур ФКВ. Зважаючи на структурозберігаючий (англ. structure preserving) підхід до моделювання ПГС, у даному дослідженні пропонується застосувати декомпозицію складних ПГС на простіші підсистеми, які взаємодіють між собою, а структурний синтез СЕФК вже застосувати до окремих підсистем

меншого порядку. Це безумовно спростить процедуру структурного і наступного параметричного синтезу СЕФК усім комплексом.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри.

Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку досліджень, передбачених Державною науково-технічною програмою "Енергоефективні та ресурсозберігаючі технології генерування, перетворення та використання енергії", а також напрямам наукових досліджень кафедри електромехатроніки та комп'ютеризованих електромеханічних систем ("Створення спеціальних мікропроцесорних і комп'ютерних систем керування") Національного університету "Львівська політехніка".

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів.

Результати наукових досліджень, які представлені у дисертаційній роботі та виносяться на захист, отримані автором самостійно. За темою дисертації загалом опубліковано 9 наукових праць. Основні положення та результати дисертаційної роботи, що були отримані автором та опубліковані у співавторстві у працях за темою дисертації, присвячені вивченню синтезу СЕФК ПГС та їх використання для задач керування складними електротехнічними комплексами. Зокрема, здобувачем виконано огляд та аналіз сучасних складних електротехнічних комплексів, показана доцільність їх моделювання у вигляді ПГС, а керування за методом СЕФК. Розроблено низку способів декомпозиції складних ПГС на простіші порт-гамільтонові підсистеми для спрощення синтезу систем керування. Застосовано структурну декомпозицію ПГС електрогенеруючого комплексу з гібридною системою нагромадження енергії та режимну декомпозицію ПГС електропривода із Zeta-SEPIC DC-DC перетворювачем. Автором особисто проведено структурний синтез СЕФК для загальних та декомпонованих систем обох досліджуваних комплексів. Також здійснено параметричний синтез їх СЕФК та комп'ютерне симулювання. З метою перевірки результатів моделювання здобувачем особисто створено макетний взірець привода на базі Zeta-SEPIC DC-DC перетворювача, керування яким здійснено мікроконтролером ATmega8(L).

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій.

Наукові положення, висновки та рекомендації, що сформульовані в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтованими, а їх достовірність підтверджена результатами апробації, шляхом математичного моделювання в пакеті MATLAB та експериментальних досліджень отриманих шляхом фізичного експерименту.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру.

У дисертаційній роботі вирішено важливе науково-прикладне завдання – розроблення способів декомпозиції, зокрема структурної та режимної ПГС, що

описують роботу складних електротехнічних комплексів, та доведення ефективності застосування декомпозиції під час розроблення СЕФК такими комплексами з метою спрощення їх структурного і параметричного синтезу. При цьому отримано наступні нові наукові результати.

Розвинуто теорію енергоформуючого керування, на прикладі її застосування до складних електротехнічних комплексів, у напрямку декомпозиції порт-гамільтонових систем, які описують роботу цих комплексів у динаміці, що забезпечує спрощення структурного синтезу систем керування.

Вперше на прикладі комплексу генерування електричної енергії з ВДЕ з гібридною СНЕ показано, що синтезована СЕФК для порт-гамільтонової моделі усього комплексу та СЕФК, синтезовані для ПГС, на які структурно декомпоновано загальну ПГС комплексу, забезпечують приблизно однакову якість автоматичного керування за дії основних збурень з обох сторін – генерування та споживання енергії.

Вперше синтезовано СЕФК достатньо складним нелінійним об'єктом – системою електропривода постійного струму з двигуном, інтегрованим в Zeta-SEPIC DC-DC перетворювач, порт-гамільтонову модель якого декомпоновано в залежності від режимів роботи електропривода – режим тяги і режим рекуперативного гальмування, а також режим регулювання швидкості і режим струмообмеження, що дало змогу забезпечити усі вимоги до керування з однаковими динамічними показниками якості в усьому діапазоні регулювання швидкості.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації.

6.1. Публікації у наукових періодичних виданнях інших держав, які включено до міжнародних наукометричних баз:

1. Shchur, I., Lis, M., & Kuzyk, R.-I. (2024). Structural decomposition of the passivity-based control system of wind-solar power generating and hybrid battery-supercapacitor energy storage complex. *Dynamics*, 4(4), 830–844. <https://doi.org/10.3390/dynamics4040042> (Особистий внесок: структурна декомпозиція ПГС електрогенеруючого комплексу з гібридною системою нагромадження енергії та синтез СЕФК отриманими підсистемами) (Scopus)

6.2. Публікації у наукових фахових виданнях України:

1. Білецький, Ю., Кузик, Р.-І., & Ломпарт, Ю. (2020). Синтез та аналіз системи енергоформуючого керування вітросонячною енергоустановкою з гібридною системою накопичення енергії. *Журнал електроенергетичні та електромеханічні системи*, 2(1), 8–17. <https://doi.org/10.23939/sepes2020.01.008> (Особистий внесок: параметричний синтез СЕФК та комп'ютерне симулювання роботи вітро-сонячної електрогенеруючої системи з акумуляторно-

суперконденсаторною системою нагромадження електроенергії) (Фахове видання)

2. Biletskyi, Y., Shchur, I., & Kuzyk, R.-I. (2021). Passivity-based control system for stand-alone hybrid electrogenerating complex. *Applied Aspects of Information Technology*, 4(2), 140–152. <https://doi.org/10.15276/aait.02.2021.2> (Особистий внесок: структурний синтез СЕФК електрогенеруючого комплексу з гібридною системою нагромадження енергії та проведення комп'ютерного моделювання) (Фахове видання)

3. Kuzyk, R.-I., & Shchur, I. (2024). Mode decomposed passivity-based speed control of DC drive with bidirectional Zeta-SEPIC DC-DC converter for light electric vehicles. *Herald of Advanced Information Technology*, 7(1), 71–84. <https://doi.org/10.15276/hait.07.2024.6> (Особистий внесок: режимна декомпозиція ПГС електропривода із Zeta-SEPIC DC-DC перетворювачем та синтез СЕФК отриманими підсистемами) (Фахове видання)

6.3. Опубліковані праці апробаційного характеру:

1. Kuzyk, R.-I., & Biletskyi, Y. (2019). Energy-shaping control of the wind-solar power plant with a hybrid energy storage system. In *Proceedings of the 9th International Conference of Young Scientists EPECS-2019*, November 21–23, (pp. 84–89), Lviv, Ukraine. <https://openreviewhub.org/lea/paper-2019/energy-shaping-control-wind-solar-power-plant-hybrid-energy-storage-system>

2. Shchur, I., & Kuzyk, R.-I. (2022). Mode decomposition passivity-based control of bidirectional Zeta-SEPIC DC-DC converter. In *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, October 20-23, (pp. 1–6), Kremenchuk, Ukraine. <https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005701> (Scopus)

3. Щур, І. З., & Кузик, Р.-І. В. (2022). Енергоформуєче керування безщітковим двигуном постійного струму за посередництвом ZETA-SEPIC двонапрявленого перетворювача постійної напруги. У *Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*, 22 грудня, (с. 80–81), Харків, Україна.

4. Shchur, I., & Kuzyk, R.-I. (2022). Mode decomposition passivity-based control of DC drive based on bidirectional ZETA-Sepic DC-DC converter for electric vehicles. *XI-th International Scientific Conference on Information Technologies in Energy and Agro-Industrial Complex*, October 4-6, (pp. 26-28), Lviv, Ukraine. http://itea.lnau.edu.ua/resources/ITEA-2022_tezy_end.pdf.

5. Shchur, I., & Kuzyk, R.-I. (2023). Structural decomposition of the energy-shaping control system of wind-solar electric generating complex with hybrid energy storage. *XII-th International Scientific Conference on Information Technologies in Energy and Agro-Industrial Complex*, October 4-6, (pp. 27-29), Lviv, Ukraine. http://itea.lnau.edu.ua/resources/ITEA-2023_tezy_end.pdf.

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо.

Основні результати дисертації представлено й обговорено на:

- 9-th International Youth Science Forum «Litteris et Artibus», Lviv, Ukraine, Lviv Polytechnic National University, 21-23 листопада 2019 року;
- XI-th International Scientific Conference "Information technologies in energy and agro-industrial complex", Lviv, Ukraine, Lviv National Environmental University, 4-6 жовтня 2022 року;
- IEEE 4-th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 20-22 жовтня 2022 р.;
- Міжнародній науково-практичній конференції «Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК», Харків, Україна, Державний біотехнологічний університет, 22 грудня 2022 р.;
- XII-th International Scientific Conference "Information technologies in energy and agro-industrial complex", Lviv, Ukraine, Lviv National Environmental University, 4-6 жовтня 2023 р.

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати.

Здійснений в роботі розвиток методів синтезу СЕФК в напрямку застосування декомпозиції ПГС дає змогу спростити задачу синтезу керування складними електротехнічними комплексами при збереженні основних показників якості керування.

Результати досліджень, отримані під час виконання даної дисертаційної роботи, використовуються:

– у навчальному процесі Національного університету “Львівська політехніка” під час викладання дисципліни “Методи синтезу та аналізу систем автоматичного керування”, яка викладається для магістрів спеціальності 141 *Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка* в Національному університеті “Львівська політехніка”;

– у науково-дослідній роботі під час виконання ініціативних дослідних тем кафедри електромехатроніки та комп'ютеризованих електромеханічних систем Інституту енергетики та систем керування Національного університету “Львівська політехніка”.

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані.

Розроблена автором методика структурної та режимної декомпозиції ПГС на підсистеми дає змогу значно спростити структурний синтез СЕФК складних комплексів, що складаються з багатофізичних об'єктів, у різних галузях виробництва і транспорту.

Теоретичні засади та практичні результати, одержані дисертантом, доцільно застосовувати в галузях електроенергетики із застосування відновлюваних

джерел енергії, автономного електричного транспорту для синтезу СЕФК складними електротехнічними комплексами, а також у науково-дослідних установах, відділах і конструкторських бюро відповідного спрямування. Практичне значення одержаних результатів підтверджується наведеними у додатку актом про впровадження результатів дисертації у навчальний процес та використанням у науково-дослідній роботі Національного університету «Львівська політехніка».

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення.

Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає усім вимогам МОН України.

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

11. З урахуванням зазначеного, на науковому семінарі кафедри електромехатроніки та комп'ютеризованих електромеханічних систем навчально-наукового інституту енергетики та систем керування ухвалили:

11.1. Дисертаційна робота Кузика Ростислава-Івана Валерійовича на тему «Синтез енергоформуючого керування електротехнічними комплексами із застосуванням декомпозиції» є завершеною науковою працею, в якій розв'язано важливе науково-прикладне завдання – розроблення способів декомпозиції, зокрема структурної та режимної, порт-гамільтонових систем, що описують роботу складних електротехнічних комплексів, та доведення ефективності застосування декомпозиції під час розроблення систем енергоформуючого керування такими комплексами з метою спрощення їх структурного і параметричного синтезу, що має важливе значення для електричної інженерії загалом, та для електротехніки, електроенергетики та електромеханіки зокрема.

11.2. Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, логічні, послідовні, аргументовані, достовірні, достатньо обґрунтовані. Дисертація характеризується єдністю змісту.

11.3. Основні результати дисертації опубліковано у 9 друкованих працях, з них: 3 у наукових фахових виданнях України та 1 стаття у закордонному періодичному виданні, що включене до наукометричної бази даних Scopus, 5 матеріалів конференцій, з яких 1 включена до наукометричної бази даних Scopus. Опубліковані праці в повній мірі відображають зміст дисертаційної роботи, що підтверджується посиланнями в її тексті.

11.4. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами).

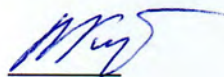
11.5. Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

11.6. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Кузика Р.- І.В. дисертація на тему «Синтез енергоформуючого керування електротехнічними комплексами із застосуванням декомпозиції» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

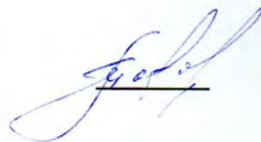
«За» — 25 (двадцять п'ять);
«Проти» — немає;
«Утримались» — немає.

Головуючий на науковому семінарі
кафедри ЕКС ІЕСК
д.т.н., професор



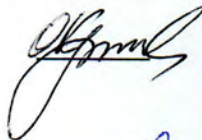
Андрій КУЩИК

Рецензенти:
Професор кафедри ЕКС
д.т.н., професор



Ярослав ПАРАНЧУК

Доцент кафедри ЕКС
к.т.н., доцент



Олексій КУЗНЕЦОВ

Відповідальна у ІЕСК
за атестацію PhD,
к.т.н., доцент



Марта КУЗНЕЦОВА

"14" січня 2025р.