

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

на тему “Перетворювачі електроенергії гібридних ємнісних накопичувачів
енергії для систем з імпульсним навантаженням”,

назва роботи

здобувача наукового ступеня доктора філософії

Кожушко Юлії Віталіївни

прізвище, ім'я, по батькові

з галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 171 Електроніка

Фаховий семінар проведений на кафедрі електронних пристроїв та систем

назва

«29» вересня 2021 року, протокол № 3.

1. Актуальність теми дослідження

Переважає більшість портативних електронних пристроїв та систем, які використовуються в електротехнологіях, телекомунікаційних системах, електротранспорті та гібридному транспорту, Microgrid, системах відновлювальної енергетики мають схожі характеристики енергоспоживання, а саме споживання високої пікової потужності відносно низької середньої потужності та значні коливання струму навантаження. Таким чином накопичувачі таких джерел живлення повинні забезпечувати як середнє, так і пікове значення струму навантаження. Отже, одночасно мати високу щільність потужності та щільність енергії.

Для забезпечення живлення таких систем сьогодні найчастіше використовуються різні типи акумуляторних батарей (АБ), що вирізняються високою енергоємністю або потужністю. Тоді як, пошук компромісів між енергоємністю та потужністю джерела живлення призводить до неефективного та неоптимального використання АБ, оскільки забезпечення необхідної енергоємності спричиняє надлишковість потужності та навпаки. Сьогодні, переважна більшість відомих ємнісних накопичувачів характеризується одним з цих параметрів. Тому для забезпечення вимог навантаження використовують комбінації кількох накопичувачів, наприклад АБ та СК, АБ та електролітичні конденсатори, СК та паливні елементи тощо.

Дослідженню енергетичних характеристик СК та АБ, особливостей їх заряду присвячено наукові праці вчених Пентегова І.В., Щерби А.А., Супруновської Н.І, Ермуратского В.В., Здрока А.Г., Мартинюка В.В., Волківського В.Б. та інших. Проблеми застосування гібридних ємнісних систем накопичення енергії для автономного енергоживлення та їх заряду розглянуто в дослідженнях Шидловського А.К., Кириленка В.М., Павлова В.Б., Клепікова В.Б., Пересади С.М., Білецького О.О., Сидорця В.М., Бондаренка О.Ф. та інших. Також, питанням дослідження електромагнітних процесів гібридних ємнісних систем накопичення енергії, їх розробки і застосуванню присвячено наукові роботи закордонних вчених: Alon Kuperman, Branislav Hredzak, Sheldon

S. Williamson, Vassilios G. Agelidis, Federico Ibanez, Amine Lahyani, Pascal Venet, Donghwa Shin, Danijel Pavković, Damien Guilbert та інших.

Отже, дослідження та розробка перетворювачів електроенергії гібридних ємнісних накопичувачів є актуальною науково-технічною проблемою, яка визначає пріоритетний напрям дослідження.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконувалися в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України відповідно до пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки України “Енергетика та енергоефективність” і планів виконання науково-дослідних робіт кафедри електронних пристроїв та систем за темами:

1. ДБ № 0116U006924 “Підвищення показників енергоефективності та ресурсозбереження засобами силової електроніки для технології отримання високонадійних зварюваних з'єднань різнорідних матеріалів”;

2. ДБ № 0119U100189 “Науково-технічні засади створення приладів контактного зварювання біологічних тканин імпульсами постійного струму”;

3. ДБ № 0120U101285 “Енергоефективні системи швидкого заряду комбінованих ємнісних накопичувачів енергії типу суперконденсатор-акумуляторна батарея”;

4. в рамках виконання гранту від міжнародної організації IEEE – IEEE Student Application Papers Implementing Industry Standards «Thermal and Surge Current Protection Means for Semiconductor Power Non-Isolate Converters».

У перерахованих науково-дослідних роботах автором адаптовано метод оцінки втрат напівпровідникових перетворювачів, що використовуються для технології отримання високонадійних зварюваних з'єднань; запропоновано застосування гібридних ємнісних накопичувачів для джерел живлення обладнання для контактного мікрозварювання; розроблено топологію гібридного ємнісного накопичувача енергії на основі АБ та СК.

3. Наукова новизна отриманих результатів.

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Вдосконалено топологію гібридного ємнісного накопичувача енергії за рахунок перетворювача постійного струму, регульовальні характеристики якого дозволяють розширити функціональні можливості таких накопичувачів в умовах споживання імпульсного струму навантаження.

2. Вперше запропоновано математичну модель гібридного ємнісного накопичувача енергії з перетворювачем, який забезпечує розподіл енергії між ємнісними елементами, яка враховує паразитні параметри компонентів схеми перетворювача та дозволяє проаналізувати стійкість системи в визначеному діапазоні допустимих значень параметрів моделі.

3. Вперше запропоновано спрощену математичну модель гібридного ємнісного накопичувача, яка за рахунок зменшення кількості реактивних компонентів схеми дозволяє понизити порядок системи диференціальних рівнянь і відповідно спростити аналіз системи.

4. Вдосконалено методику синтезу регулятора, яка базується на методі Харитонова, що враховує розкид параметрів компонентів схеми перетворювача та дозволяє проаналізувати стійкість системи в визначеному діапазоні допустимих значень параметрів моделі.

5. Вдосконалено систему вирівнювання напруги комірок суперконденсаторного модулю гібридного ємнісного накопичувача за рахунок застосування перетворювача, який дозволяє забезпечити раціональні значення точності вирівнювання напруги на комірках такого модулю.

4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Теоретичні результати доведено до рівня практичного застосування. Розроблено та випробувано прототип перетворювача гібридного ємнісного накопичувача енергії. В результаті досліджень запропоновано схеми перетворювачів для розподілу енергії між ємнісними накопичувачами енергії, що дозволяє розширити функціональні можливості таких накопичувачів при імпульсному енергоспоживанні високої потужності. Розроблено мікропроцесорну систему керування перетворювачем гібридного ємнісного накопичувача, яка дозволяє забезпечити точність регулювання напруги та струму накопичувачів протягом процесу заряду суперконденсатора та підключення навантаження не гірше 5%. Розроблено програмний код, який реалізує запропонований алгоритм керування перетворювачем гібридного ємнісного накопичувача.

5. Використання результатів роботи

Теоретичні і практичні результати роботи впроваджено в навчальний процес Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Акт впровадження від «20» вересня 2021р), а також науково-дослідницькі проекти НДІ (Акт впровадження від « 20» вересня 2021р).

Викладені у дисертації нові теоретичні та практичні результати досліджень знайшли застосування у освітньому процесі кафедри електронних пристроїв та систем за спеціальністю 171 Електроніка, освітньою програмою «Електронні компоненти та системи», КПІ ім. Ігоря Сікорського, а саме: у дисципліні «Пристрої перетворювальної техніки – ч.2» в темі «Імпульсні перетворювачі постійної напруги» додано питання про нові топології та особливості використання напівпровідникових перетворювачів в системах з гібридними ємнісними накопичувачами енергії; у дисципліні «Електронні системи керування та регулювання» в темі «Синтез алгоритмів керування» додано питання дослідження стійкості систем керування перетворювачами постійного струму з використанням методу Харитонова; окрім того окремі положення дисертації використано при виконанні магістерських досліджень здобувачів кафедри ЕПС Олександра Скрипченко (2019) і Єгора Желязкова (2020). Окрім того, нові теоретичні та практичні результати досліджень знайшли застосування в науково-дослідних роботах НДІ ЕМСТ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, а також ТОВ «НВП «Айтек»» акт впровадження від «20» вересня 2021р.

6. Особиста участь автора в одержанні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі. Усі результати, наведені у дисертаційній роботі і винесені на захист, отримані особисто автором та опубліковано у спеціалізованих фахових виданнях.

У працях [1], [9], [10], [13], опублікованих у співавторстві, здобувачем розроблено математичну модель перетворювача гібридного ємнісного накопичувача енергії. У публікаціях [1], [9], автором на основі методу Харитонова проведено аналіз стійкості роботи перетворювача гібридного ємнісного накопичувача енергії. У працях [2], [6], [7], [10], автором розроблено імітаційні моделі, що ілюструють роботу перетворювача та системи вирівнювання напруги. Здобувачем проведено оцінку потужності втрат перетворювача гібридного ємнісного накопичувача у публікаціях [3], [4], [12]. У роботах [8], [11], [14], [15], автором проведено аналітичний огляд науково-технічної літератури та наукових праць, що націлені на дослідження перетворювачів електричної енергії, ємнісних накопичувачів, а також проведено аналіз їх енергетичних характеристик.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі електронних пристроїв та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

назва кафедри (відділу), назва установи

науковий керівник кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронних пристроїв та систем Бондаренко О.Ф.

науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище, ініціали.

Розглянувши звіт подібності щодо перевірки на плагіат, рецензенти дійшли висновку, що дисертаційна робота Кожушко Юлії Віталіївни

прізвище, ініціали здобувача

є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дисертація характеризується єдністю змісту та відповідає вимогам щодо її оформлення.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 24 наукових праць, у тому, 7 статей у наукових фахових виданнях (з них 3 статей у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ОЕСР та/або Європейського Союзу, фахових виданнях України категорії «А», або закордонних виданнях, що входять до WoS або Scopus), 17 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

1. О. Ф. Бондаренко, Ю. В. Кожушко, Т. О. Карбівська, Є. О. Желязков, та П. С. Сафронов, “Стійкість комбінованої системи накопичення енергії на основі суперконденсатора та акумуляторної батареї,” Електротехніка і Електромеханіка, №. 5, с. 31–37, 2020, doi: 10.20998/2074-272x.2020.5.05. (Web of Science) (Особистий внесок автора – розробка математична модель перетворювача гібридного ємнісного накопичувача енергії, аналіз стійкості системи керування перетворювача гібридного ємнісного накопичувача енергії).

2. O. Bondarenko et al., "Modular Power Supply for Micro Resistance Welding," *Electr. Control Commun. Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 20–26, Jul. 2017, doi: 10.1515/ecce-2017-0003. (Web of Science) (Особистий внесок автора – розрахунок параметрів системи вирівнювання напруги комірок суперконденсаторного модуля).

3. Т. О. Карбівська, Ю. В. Кожушко, та О. Ф. Бондаренко, "Аналіз потужності втрат джерела живлення для контактного мікрозварювання," *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*, №. 25 (3), с. 41–47, 2020, doi: 10.20535/2523-4455.me.208874. (фахове видання) (Особистий внесок автора – розрахунок втрат зарядного пристрою суперконденсаторного модуля, що застосовується в якості проміжного накопичувача енергії джерела живлення обладнання для контактного мікрозварювання).

4. Kozhushko, Yuliia; Karbivska, Tetiana; Zinchenko, Denys; Pavković, Danijel; Rosolowski, Eugeniusz; Bondarenko, Oleksandr: "Charging Device of Capacitive Energy Storage for Micro Resistance Welding", *Present Problems of Power System Control*, 9(2018), pp. 5-18 (закордонне фахове видання) (Особистий внесок автора – розрахунок потужності втрат перетворювача для заряду суперконденсаторного модуля, порівняння ККД зворотньоходового перетворювача при використанні в схемі діоду Шотткі та MOSFET транзистора).

5. О. Ф. Бондаренко, Т. О. Рижакова, та Ю. В. Кожушко, "Вдосконалена методика оцінки втрат в імпульсних перетворювачах установок контактного мікрозварювання," *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, №. 3, с. 38–42, 2018, doi: 10.15222/tkea2018.3.38. (фахове видання) (Особистий внесок автора – розрахунок втрат в напівпровідникових елементах перетворювача джерела живлення обладнання для контактного мікрозварювання).

6. Ю. В. Кожушко, О. Ф. Бондаренко, Д. О. Зінченко, та Т. О. Карбівська, "Ефективне використання гібридного ємнісного накопичувача енергії джерела живлення для контактного мікрозварювання," *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*, №. 23 (2), с. 14–18, 2018, doi: 10.20535/2523-4455.2018.23.2.130391. (фахове видання) (Особистий внесок автора – розробка гібридного ємнісного накопичувача енергії на основі акумуляторної батареї та суперконденсаторного модуля, моделювання роботи перетворювача, що використано для розподілу енергії між накопичувачами).

7. Ю. В. Кожушко та О. Ф. Бондаренко, "Балансування напруги модульного накопичувача енергії джерела живлення для контактного мікрозварювання," *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, №. 4–5, с. 15–23, 2017, doi: 10.15222/tkea2017.4-5.15. (фахове видання) (Особистий внесок автора – розробка та моделювання системи вирівнювання напруги двох сусідніх комірок суперконденсаторного модуля).

8. R. Baraniuk, T. Ryzhakova, Y. Kozhushko and O. Bondarenko, "Thermal and Surge Current Protection Means for Semiconductor Non-Isolated Power Converters," in *IEEE Standards Education e-Magazine*, March 2018, vol. 8(1) (5G & 802.11). (Звіт за результатами виконання досліджень за підтримки IEEE).

9. Y. Kozhushko, D. Pavkovic, T. Karbivska, P. Safronov, and O. Bondarenko, "Robust Control of Battery-Supercapacitor Energy Storage System Using Kharitonov Theorem," in *Proceedings - 2020 IEEE 14th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering, CPE-*

POWERENG 2020, Jul. 2020, pp. 550–555, doi: 10.1109/CPE-POWERENG48600.2020.9161569. (Scopus).

10. Y. Kozhushko, T. Karbivska, D. Pavkovic, and O. Bondarenko, “Peak Current Control of Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage,” 2020 IEEE KhPI Week Adv. Technol. KhPI Week 2020 - Conf. Proc., pp. 396–401, 2020, doi: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250086. (Scopus).

11. M. Krznar, D. Pavkovic, Y. Kozhushko, M. Cipek, D. Zorc, and M. Crnekovic, “Control System Design for Hybrid Power Supply of an Unmanned Aerial Vehicle Based on Linearized Averaged Process Models*,” in 2020 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2020, Sep. 2020, pp. 582–587, doi: 10.1109/ICUAS48674.2020.9214001. (Scopus).

12. Y. Kozhushko, D. Pavkovic, D. Zinchenko, T. Karbivska, V. Sydorets, and O. Bondarenko, “Hybrid Energy Storage System of Power Supply for Micro Resistance Welding,” in 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2019 - Proceedings, Apr. 2019, pp. 584–589, doi: 10.1109/ELNANO.2019.8783890. (Scopus).

13. Y. Kozhushko, D. Pavković, T. Karbivska, and O. Bondarenko, “Stability analysis of battery-supercapacitor energy storage system for resistance welding,” in 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2019 - Proceedings, Jul. 2019, pp. 349–354, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879850. (Scopus).

14. T. Karbivska, Y. Kozhushko, J. G. Nataraj Barath, and O. Bondarenko, “Split-Pi Converter for Resistance Welding Application,” 2020 IEEE KhPI Week Adv. Technol. KhPI Week 2020 - Conf. Proc., pp. 391–395, 2020, doi: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250113. (Scopus).

15. D. Pavkovic, Y. Kozhushko, M. Hrgetic, D. Zorc, and M. Cipek, “Damping Optimum Design of Single-Phase Inverter Synchronization and Current Control System,” in 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2019 - Proceedings, Apr. 2019, pp. 572–577, doi: 10.1109/ELNANO.2019.8783726. (Scopus).

16. Y. Kozhushko, T. Ryzhakova, O. Bondarenko, Z. Stević, Supercapacitor Battery Charger with Voltage Equilizing, in: Zb. Rad. Pisanih Za 5. Međunarodnu Konf. o Obnovljivim Izvorima Električne Energ., SMEITS, 2017. doi:10.24094/mkoiee.017.15.127.

17. Krznar, M.; Pavković, D.; Kozhushko, Y.; Cipek, M.; Zorc, D. Generator Set Control System Design for Unmanned Aerial Vehicle Hybrid Propulsion. In Proceedings of the Digital proceedings of 4th South East Europe (SEE) Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems (SEWES) conference, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 1–5 September 2020.

18. Т. О. Рижаківа and Ю. В. Кожушко, “Енергоефективність формувача імпульсів струму для контактної мікрозварювання,” in X міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2017», 2017, pp. 55–58.

19. Є. О. Желязков, Ю. В. Кожушко, Т. О. Карбівська, and О. Ф. Бондаренко, “Покращення характеристик безпровідних зарядних пристроїв для медичних застосувань,” in 22-га міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та електронні технології», 2020, pp. 50–52.

20. Ю. В. Кожушко, “Дослідження антропотехногенного впливу електротранспорту в контексті сталого розвитку,” XXI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та аспірантів «Дні Науки» «Industry 4.0: Людина і суспільство у вирі трансформацій», 2018, с. 9–10.

21. Т. О. Рижаківа, Ю. В. Кожушко, О. Ф. Бондаренко, “Вдосконалена методика оцінки втрат в імпульсних перетворювачах установок контактного мікрозварювання,” Контроль і управління в складних системах контроль і управління в складних системах, 2018, с. 67–68.

22. Ю. В. Кожушко, “Аналіз схем для заряду суперконденсаторів,” VIII міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2015», 2015, с. 198–201.

23. Ю. В. Кожушко, “Аналіз методів балансування напруги суперконденсаторних модулів,” IX міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2016», 2016, с. 335–338.

24. O. Bondarenko, T. Ryzhakova, and Y. Kozhushko, “Power Supply with Modular Structure for Micro Resistance Welding,” in 16th International Symposium «Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering» and «Doctoral School of Energy and Geotechnology III», 2017, pp. 2–5.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Кожушко Ю. В.

прізвище, ініціали здобувача

“Перетворювачі електроенергії гібридних ємнісних накопичувачів енергії для систем з імпульсним навантаженням”

назва

яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам пп.9, 10, 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167, та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПІ ім. Ігоря Сікорського зі спеціальності

171 Електроніка

шифр, назва

РЕКОМЕНДУВАТИ:

Дисертаційну роботу “Перетворювачі електроенергії гібридних ємнісних накопичувачів енергії для систем з імпульсним навантаженням”,

назва роботи

подану Кожушко Юлією Віталіївною

прізвище, ім'я, по батькові

на здобуття ступеня доктора філософії, до захисту.

Рецензенти:

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри електропостачання
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

Кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри
електронних пристроїв та систем
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

