

## ВИСНОВОК

### про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

на тему “Перетворювачі електроенергії з модульною структурою та  
зниженим рівнем пульсацій для контактного зварювання”,

*назва роботи*

здобувача наукового ступеня доктора філософії

Карбівської Тетяни Олексіївни

*прізвище, ім'я, по батькові*

з галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації

*шифр, назва галузі знань*

за спеціальністю 171 Електроніка

*шифр, назва спеціальності*

Фаховий семінар проведений на кафедрі електронних пристроїв та систем

*назва*

«29» вересня 2021 року, протокол № 3.

#### 1. Актуальність теми дослідження.

Контактне зварювання широко застосовується для з'єднання металевих деталей в електронній промисловості, приладобудуванні, машинобудуванні, автомобіле- та літакобудуванні, космічній техніці, медицині та інших галузях. Значний внесок в дослідження процесів контактного зварювання та розвиток теорії побудови перетворювачів для контактного зварювання зробили Б.Є. Патон, В.Е. Моравський, Д.С. Ворона, І.В. Пентегов, В.М. Сидорець, О.Ф. Бондаренко, В.Є. Атауш, В.П. Леонов, Е.Г. Москвин, Б.Д. Орлов, М.Д. Банов, В.Я. Володін, Kang Zhou, H. Zhang, J. Senkara. Питаннями побудови математичних моделей та розробки систем керування перетворювачами займалися В.Я. Жуйков, І.Е. Коротєєв, В.М. Рябенський, М.М. Юрченко, О.М. Юрченко, Ю.І. Драбович, С.К. Поднебенна, В.А. Лукас, В.А. Бесекерський, N. Mohan, R.D. Middlebrook та інші.

Проте, аналіз робіт, що стосуються саме джерел живлення для контактного зварювання виявив, що деякі питання їх побудови залишилися не вирішеними. Зокрема, такі важливі з теоретичної та практичної точки зору питання, як, підвищення точності формування струму та зниження рівня потужності втрат формувача імпульсів струму.

Таким чином, актуальність дисертаційної роботи Карбівської Тетяни не викликає сумнівів.

#### 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: ДБ № 0116U006924 “Підвищення показників енергоефективності та ресурсозбереження засобами

силової електроніки для технології отримання високонадійних зварюваних з'єднань різнорідних матеріалів”; ДБ № 0119U100189 “Науково-технічні засади створення приладів контактного зварювання біологічних тканин імпульсами постійного струму”; ДБ № 0120U101285 “Енергоефективні системи швидкого заряду комбінованих ємнісних накопичувачів енергії типу суперконденсатор-акумуляторна батарея”; а також 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». При виконанні цих робіт автор провів розрахунок потужності втрат, При виконанні цих робіт авторка провела розрахунок потужності втрат, запропонувала шляхи зниження рівня пульсацій струму, а також виконала моделювання перетворювача для контактного зварювання.

### **3. Наукова новизна отриманих результатів.**

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше запропоновано нову топологію перетворювача для контактного зварювання в якому за рахунок додавання ланки компенсації пульсацій струму навантаження та використання модульної структури забезпечується отримання високих показників енергоефективності та точності формування імпульсів струму.

2. Вперше побудовано математичну модель одного модулю перетворювача з модульною структурою та зниженим рівнем пульсацій, яка враховує паразитні опори елементів схеми, дозволяє виконувати аналіз динамічних характеристик та визначення прийнятних з практичної точки зору параметрів налаштувань регулятора.

3. Вперше побудовано математичну модель перетворювача яка може бути використана для n-модулів та дозволяє виконувати аналіз її динамічних характеристик та визначення прийнятних з практичної точки зору параметрів налаштувань регулятора.

4. Вдосконалено методику синтезу регулятора, яка базується на запропонованій моделі одного модуля перетворювача та дозволяє отримати опорні налаштування регулятора і шляхом поступового наближення забезпечити його прийнятні з практичної точки зору параметри.

### **4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації.**

1. Розроблена схема електрична принципова одного модуля на основі запропонованої топології перетворювача з додатковою ланкою компенсації пульсацій струму навантаження, а також експериментальний зразок перетворювача зі зниженим рівнем пульсацій для контактного зварювання, які можуть бути використані при побудові джерел живлення для контактного зварювання, а також інших застосувань, коли важливе значення має точність вихідного струму за умови мінімізації потужності втрат. Відхилення сформованого струму навантаження від заданого не перевищило 3%.

2. Розроблена імітаційна модель одного модуля перетворювача зі зниженим рівнем пульсацій для контактного зварювання, яка може бути використана розробниками при проектуванні джерел живлення для

контактного зварювання з  $n$ -модулями, коли важливе значення має точність вихідного струму за умови мінімізації потужності втрат, а також гнучкість при зміні конфігурації джерела живлення.

3. Вдосконалено методику розрахунку втрат в імпульсному понижуючому перетворювачі для контактного зварювання з врахуванням втрат на індуктивних елементах схеми, яка може бути використана під час проектування понижуючих перетворювачів на високі струми навантаження та частоту.

### **5. Використання результатів роботи.**

Результати, представлені у дисертації, можуть бути використані для побудови джерел живлення для контактного зварювання, а також інших застосувань, де низький рівень пульсацій вихідного струму має важливе значення.

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 принцип роботи перетворювачів постійного струму, що знижують напругу та мають знижений рівень пульсацій на виході; у дисципліні «Електронні системи керування та регулювання» в темі «Синтез алгоритмів керування» додано питання дослідження способів керування перетворювачами постійного струму, що знижують напругу, з модульною структурою за математичними моделями, а також питання дослідження стійкості систем керування зазначених типів перетворювачів. Окрім того, нові теоретичні та практичні результати досліджень знайшли застосування в науково-дослідних роботах НДІ ЕМСТ КПІ ім. Ігоря Сікорського, а також ТОВ «Беннінг Пауер Електронікс».

**6. Особиста участь автора** в одержанні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі.

Наукові положення та результати, викладені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто. Автору належать обґрунтування задачі, проведення досліджень, аналіз і обробка результатів, висновки за отриманими результатами роботи, а саме: методика аналізу та результати обчислення втрат потужності в понижуючому перетворювачі, перетворювачі з розділеним П-подібним фільтром, перетворювачі зі зниженим рівнем пульсацій струму, з врахуванням особливостей контактного зварювання, розробка математичної моделі базового модуля перетворювача зі зниженим рівнем пульсацій, розробка математичної моделі перетворювача з модульною структурою зі зниженим рівнем пульсацій, імітаційне моделювання понижуючого перетворювача, перетворювача з розділеним П-подібним фільтром, перетворювача зі зниженим рівнем пульсацій, розробка прототипу перетворювача зі зниженим рівнем пульсацій та результати його випробування.

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 Карбівської Т.О.

*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 20 наукових праць, у тому числі 7 статей у наукових фахових виданнях (з них 3 статі 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), 13 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

1. 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. (Закордонне періодичне видання, Латвія, Web of Science) (Особистий внесок – розрахунок потужності втрат в імпульсному перетворювачі для контактного мікрозварювання)

2. 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, ст. 38–42, 2018, doi: 10.15222/ТКЕА2018.3.38. (Фахове видання) (Особистий внесок – розрахунок потужності втрат в імпульсному перетворювачі для контактного мікрозварювання)

3. Т. О. Карбівська, Ю. В. Кожушко, та О. Ф. Бондаренко, “Аналіз потужності втрат джерела живлення для контактного мікрозварювання,” *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*, vol. 25, №. 3, ст. 41–47, грудень 2020, doi: 10.20535/2523-4455.me.208874. (Фахове видання) (Особистий внесок – розрахунок потужності втрат в формувачі імпульсів струму для контактного мікрозварювання)

4. Y. Kozhushko, T. Karbivska, D. Zinchenko, D. Pavković, E. Rosolowski, and O. Bondarenko, “Charging Device of Capacitive Energy Storage for Micro Resistance Welding,” *Present Probl. Power Syst. Control*, vol. 9, pp. 5–17, 2018. (Закордонне періодичне видання, Польща)



5. 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, ст. 31–37, жовтень 2020, doi: 10.20998/2074-272X.2020.5.05) (індексується в Web of Science) категорія А (фахове видання)

6. Ю. В. Кожушко, О. Ф. Бондаренко, Д. О. Зінченко, та Т. О. Рижакова, “Ефективне використання гібридного ємнісного накопичувача енергії джерела живлення для контактного мікрозварювання,” *Мікросистеми Електроніка та Акустика*, vol. 23, № 2, ст. 14–18, квітень 2018, doi: 10.20535/2523-4455.2018.23.2.130391. (Фахове видання)

7. Y. Kozhushko, D. Pavkovic, T. Karbivska, P. Safronov, and O. Bondarenko, “Robust Control of Battery-Supercapacitor Energy Storage System Using Kharitonov Theorem,” in 2020 IEEE 14th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG), Jul. 2020, pp. 550–555, doi: 10.1109/CPE-POWERENG48600.2020.9161569. (індексується в Scopus) (закордонне періодичне видання, Португалія)

8. 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.

9. T. Karbivska and Y. K. O. Bondarenko, “Evaluation of The Total Losses in Principal Units of Micro Resistance Welding Machine Power Supplies,” in *18th International Symposium «Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering» and «Doctoral School of Energy and Geotechnology III»*, 2019, pp. 215–216. (Особистий внесок – розрахунок потужності втрат в імпульсному перетворювачі для контактного мікрозварювання)

10. 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. (Особистий внесок – імітаційне дослідження перетворювача з розділеним П-подібним фільтром для контактного зварювання)

11. Y. Kozhushko, D. Pavkovic, 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), Jul. 2019, pp. 349–354, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879850.

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), Apr. 2019, pp. 584–589, doi: 10.1109/ELNANO.2019.8783890.

13. Y. Kozhushko, T. Ryzhakova, O. Bondarenko, and Z. Stević, “Supercapacitor Battery Charger with Voltage Equilizing,” in *Međunarodna konferencija o obnovljivim izvorima električne energije*, Oct. 2017, doi: 10.24094/mkoiee.017.1.5.127.

14. Y. Kozhushko, T. Karbivska, D. Pavkovic, and O. Bondarenko, "Peak Current Control of Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage," in 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Oct. 2020, pp. 396–401, doi: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250086.

15. Т. О. Карбівська, Ю. В. Кожушко, та О. Ф. Бондаренко, "Вдосконалена методика оцінки втрат в імпульсних перетворювачах установок контактного мікрозварювання," XIV Міжнародна конференція Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018), 2018, ст. 67.

16. Т. О. Рижакова та Ю. В. Кожушко, "Енергоефективність формувача імпульсів струму для контактного мікрозварювання," X Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених "Електроніка-2017," 2017, ст. 55–58.

17. Т. О. Рижакова, "Формувач імпульсів для контактного зварювання з багатокомірковою структурою" VIII Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2015», 2015, ст. 202–204.

18. Т. О. Рижакова, "Зниження потужності втрат в імпульсному перетворювачі постійної напруги першого роду," IX Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2016», 2016, ст. 314–317.

19. 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).

20. Є. О. Желязков, Ю. В. Кожушко, Т. О. Карбівська, та О. Ф. Бондаренко, "Покращення характеристик безпровідних зарядних пристроїв для медичних застосувань," XXI міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та електронні технології» («СІЕТ–2020») 25–29 травня 2020 року, 2020, ст. 50–51.

*(Далі роботи наводяться у такому порядку: монографії, статті у наукових фахових виданнях, інших виданнях, авторські свідоцтва, патенти, матеріали конференцій;*

*При наведенні статей у фахових виданнях вказується, які з них надруковано у виданнях держав, що входять до ОЕСР, ЄС, фахових виданнях України категорії «А», або закордонних виданнях, що входять до WoS або Scopus.*

*Після кожної роботи, яка опублікована зі співавторами, наводиться також особистий внесок здобувача.)*

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Карбівської Т.О.

*прізвище, ініціали здобувача*

"Перетворювачі електроенергії з модульною структурою та зниженим рівнем пульсацій для контактного зварювання",

*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 КПП ім. Ігоря Сікорського зі спеціальності 171 Електроніка.

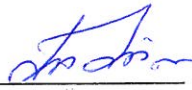
*шифр, назва*

РЕКОМЕНДУВАТИ:

Дисертаційну роботу “Перетворювачі електроенергії з модульною  
назва роботи  
структурою та зниженим рівнем пульсацій для контактного зварювання”,  
подану Карбівською Тетяною Олексіївною  
прізвище, ім'я, по батькові  
на здобуття ступеня доктора філософії, до захисту.

Рецензенти:

Доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри  
електронних пристроїв та систем  
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

  
підпис

Тетяна ТЕРЕЩЕНКО  
ім'я, ПРІЗВИЩЕ

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

  
підпис

Тетяна ХИЖНЯК  
ім'я, ПРІЗВИЩЕ

