

ОПИС ЗАВЕРШЕНОЇ РОЗРОБКИ

Науково-технічні засади створення приладів контактного зварювання біологічних тканин імпульсами постійного струму

Scientific and technical principles of creating devices for contact welding of biological tissues by DC pulses

1. Номер державної реєстрації, номер реєстрації в університеті - 0119U100189, 2201 п
2. Науковий керівник - канд. техн. наук, доц. Бондаренко О.Ф., PhD, Assoc. Prof. Oleksandr Bondarenko
3. Суть розробки, основні результати –

За результатами виконання науково-дослідної роботи визначено умови для отримання якісних з'єднань в процесі контактної зварювання біологічних тканин електричними імпульсами. Проаналізовано залежності показників якості зварних з'єднань від використовуваної форми зварювальних імпульсів, яка характеризується законом зміни струму (або потужності), амплітудою і тривалістю. Сформульовано принципи узгодження електричних параметрів зварювальних імпульсів з електрофізичними та електрохімічними процесами в навантаженні, що встановлюють закономірності між зміною параметрів використовуваних імпульсів і клітинними процесами в біологічних тканинах. Розроблено рекомендації щодо вибору режимів роботи приладів контактної зварювання м'яких біологічних тканин в залежності від конкретних умов зварювання та медико-технічні вимоги до такого обладнання. Встановлено закономірності розподілу струму в медичних інструментах для реалізації зварювання біологічних тканин та розроблено їх нові конструкції. Запропоновано нові та вдосконалені методи та алгоритми керування для приладів контактної зварювання м'яких біологічних тканин, які забезпечують високу точність формування зварювальних імпульсів і базуються на використанні кількох каналів регулювання за найбільш істотними параметрами, як, наприклад, зміна електричного опору і геометрії зварюваних біологічних тканин, потужність зварювального струму в контакті та інші. Запропоновано ефективні та гнучкі модульні схемні топології для побудови основних вузлів зварювальних приладів та їх математичні моделі. Досліджено електромагнітні процеси та визначено умови стійкості перетворювачів, а також раціональні параметри для її забезпечення. В результаті виконання науково-дослідної роботи захищені дві дисертації на здобуття ступеня PhD та підготовлена до захисту одна докторська дисертація. Результати науково-дослідної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри електронних пристроїв та систем і кафедри біомедичної інженерії.

According to the results of research work, the conditions for obtaining high-quality compounds in the process of contact welding of biological tissues with electrical pulses are determined. The dependences of the quality indicators of welded joints on the used form of welding pulses, which is characterized by the law of change of current (or power), amplitude and duration, are analyzed. The principles of coordination of electric parameters of welding pulses with electrophysical and electrochemical processes in loading are formulated, establishing regularities between change of parameters of the used pulses and cellular processes in biological fabrics. Recommendations for the choice of modes of contact welding of soft biological tissues depending on the specific welding conditions and medical and technical requirements for such equipment have been developed. Regularities of current distribution in medical instruments for welding of biological tissues are established and their new constructions are developed. New and improved control methods and algorithms for contact welding of soft biological tissues are proposed, which provide high accuracy of welding pulse formation and are based on the use of several control channels for the most important parameters, such as changing electrical resistance and geometry of welded

biological tissues, power of welding current in contact and others. Efficient and flexible modular circuit topologies for construction of basic units of welding devices and their mathematical models are offered. Electromagnetic processes are studied and conditions of stability of converters, and also rational parameters for its maintenance are defined. As a result of research work, two dissertations for the degree of PhD were defended and one doctoral dissertation was prepared for defense. The results of research work are used in the educational process of the Department of Electronic Devices and Systems and the Department of Biomedical Engineering.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності
 - Патент на винахід № 118584. Пристрій компенсації реактивної потужності у перехідних і усталених режимах. Жуйков В.Я., Вербицький Є.В. Опубл. 11.02.2019, Бюл. № 3. <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1139936/>
5. Порівняння зі світовими аналогами.

Розроблені алгоритми керування та моделі перетворювачів в порівнянні з існуючими аналогами забезпечують регулювання імпульсів зварювального струму з більш високою точністю, узгоджено з процесами в навантаженні.
6. Економічна привабливість для просування на ринок.

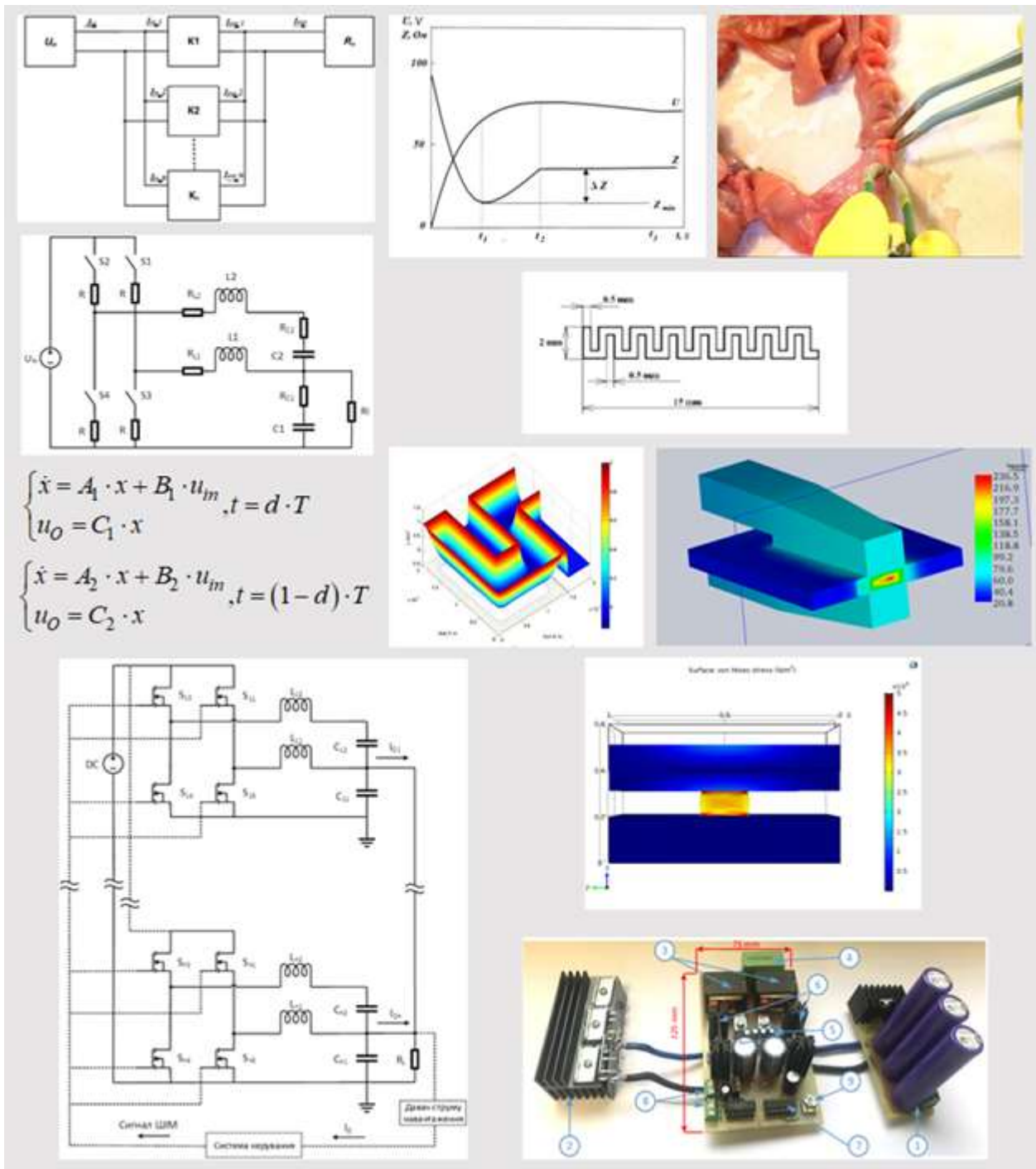
Для просування на ринок запропонованих рішень необхідне виконання ДКР. Очікується, що впровадження результатів роботи забезпечить досягнення значення коефіцієнту потужності відповідних джерел живлення приладів для зварювання більш ніж 0,98, отримати ККД не нижче 87 %, знизити пульсацію вихідного струму до 5 %.
7. Потенційні користувачі.

Потенційними користувачами є підприємства та науково-дослідні організації, діяльність яких спрямовано на розробку та реалізацію медичного обладнання і спеціалізованих пристроїв силової електроніки, наприклад Інститут електродинаміки НАНУ (м. Київ), ТОВ «Беннінг Пауер Електронікс» та інші.
8. Стан готовності розробки.

TRL 3. Отримано макетний зразок та продемонстровано його ключові характеристики.
9. Існуючі результати впровадження.

Результати роботи впроваджено в навчальний процес кафедр електронних пристроїв та систем і біомедичної інженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Алгоритми керування, математичні моделі та топології перетворювачів з гібридними ємнісними накопичувачами енергії для систем з імпульсним споживанням потужності, перетворювачів зі зниженим рівнем пульсацій та перетворювачів з модульною структурою для n -кількості модулів, а також результати імітаційного моделювання цих перетворювачів передано для впровадження у розробки підприємства ТОВ «Гроза».
10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Науково-дослідний інститут електроніки та мікросистемної техніки, (044) 204-90-75, o.bondarenko@kpi.ua
11. Фото (**обов'язково**) або кілька слайдів презентації з фото розробки в електронному вигляді (**рекламного характеру**). Якщо фото надається окремим файлом, бажано використовувати JPEG формат.



$$\begin{cases} \dot{x} = A_1 \cdot x + B_1 \cdot u_{in}, t = d \cdot T \\ u_0 = C_1 \cdot x \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{x} = A_2 \cdot x + B_2 \cdot u_{in}, t = (1-d) \cdot T \\ u_0 = C_2 \cdot x \end{cases}$$

12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання (*вагомі: монографії, підручники, посібники, наукові статті, дисертації, інші публікації*).

Dubko A., Lebedev O. Fundamentals of Clinical Engineering and Radiology. Expertise and Engineering Support of Medical Equipment [Electronic resource]: an educational and methodical work for students specialty 163 - «Biomedical engineering». – Kyiv, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. – 2021. – 38 p.

Markashova L., Berdnikova O., Alekseienco T., Bernatskyi A., Sydorets V. (2019) Nanostructures in Welded Joints and Their Interconnection with Operation Properties. In: Pogrebnjak A., Novosad V. (eds) Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-6133-3_12

- Lebedev, A.V., Dubko, A.G. Use of Electric Welding of Living Tissues in Surgery (review). *Biomed Eng* 54, 73–78 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10527-020-09977-3>
- V. Shlykov, V. Kotovskiy, A. Dubko, N. Višniakov, A. Šešok. Temperature monitoring for high frequency welding of soft biological tissues: A prospective study. *Technology and Health Care*, vol. 1, pp. 1–7, 2019. <https://doi.org/10.3233/THC-191613>
- Бондаренко О.Ф., Кожушко Ю.В., Карбівська Т.О., Желязков Є.О., Сафронів П.С. Стійкість комбінованої системи накопичення енергії на основі суперконденсатора та акумуляторної батареї. *Електротехніка і Електромеханіка*. — 2020. — № 5. — С. 18-24. <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2020.5.05>
- Kozhushko Y., Pavković D., Zinchenko D., Karbivska T., Sydorets V., Bondarenko O. Hybrid Energy Storage System of Power Supply for Micro Resistance Welding. *IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2019)*, 16-18 April 2019. <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2019.8783890>
- Kozhushko Y., Pavković D., Karbivska T., Bondarenko O. Stability Analysis of Battery-Supercapacitor Energy Storage System for Resistance Welding. *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON-2019)*, 02-06 July 2019. <https://doi.org/10.1109/UKRCON.2019.8879850>
- Kozhushko Y., Pavković D., Karbivska T., Safronov P. and Bondarenko O., "Robust Control of Battery-Supercapacitor Energy Storage System Using Kharitonov Theorem," *2020 IEEE 14th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*, Setubal, Portugal, 2020, pp. 550-555, <https://doi.org/10.1109/CPE-POWERENG48600.2020.9161569>
- Karbivska T., Kozhushko Y., Nataraj Barath J. G., Bondarenko O. Split-Pi Converter for Resistance Welding Application. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 391-395, <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250113>
- Kozhushko Y., Karbivska T., Pavkovic D., Bondarenko O. Peak Current Control of Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 396-401, <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250086>
- Бондаренко О.Ф. Узгодження параметрів зварювальних імпульсів з програмою тиску електродів та електрофізичними процесами в зварювальному контакті. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. — 2019. — № 5-6. — С. 51-60. <https://doi.org/10.15222/ТКЕА2019.5-6.51>
- Шликов В.В., Дубко А.Г. Безконтактний метод контролю температури при високочастотному зварюванні тканин, *Біомедична інженерія і технологія*, 2019, №2, с. 117-123. <https://doi.org/10.20535/2617-8974.2019.2.185450>
- Лебедев А.В., Дубко А.Г. Применение электросварки живых тканей в хирургии (обзор), *Медицинская техника*, №1, 2020 с. 51-55. <https://bit.ly/3ujxoY1>
- Danilova V., Shlykov V., and Dubko A., "Determination of Influence Parameters of High Frequency Current on Living Tissues," in *Cybernetics and Computer Engineering*, 2021, 3(205), pp. 70-83, <https://doi.org/10.15407/kvt205.03.070>
- Дубко А.Г., Чвортко Н.А., Лебедев О.В. Електрохірургічний інструмент для малоінвазивних втручань в абдомінальній хірургії, *Біомедична інженерія і технологія*, 2021, № 6, С. 11-18. doi: 10.20535/2617-8974.2021.6.244548
- Дубко А.Г., Осіпов Р.С., Бондаренко Ю.В., Бондаренко О.Ф. Електронні засоби дослідження механічних властивостей біологічних тканин. *Технология и*

конструирование в электронной аппаратуре. – 2020. – № 5-6. – С. 40-47.
<https://doi.org/10.15222/ТКЕА2020.5-6.40>

Берестюк К.Р., Лебедев О.В. Модель міцності зварного анастомозу тонкого кишечника при радіальному навантаженню у середовищі SolidWorks, Біомедична інженерія та електроніка. – 2020. – № 2. <http://journals.uran.ua/biofbe/article/view/217369>

Сивець А.Ю., Лебедев О.В. Особливості застосування SolidWorks при моделюванні зварювання живих тканин, Біомедична інженерія та електроніка. – 2020. – № 2. <http://journals.uran.ua/biofbe/article/view/218031>.

Дубко А.Г., Чвортко Н.А., Лебедев О.В., Подпрятков С.С., Нікітін В.О. Математичні моделі розподілу густини струму високої частоти в електродах з різними формами поперечного перерізу, Біомедична інженерія і технологія, 2020, № 3, С. 92-98.
<https://doi.org/10.20535/2617-8974.2020.3.195832>

Карбівська Т.О., Кожушко Ю.В., Бондаренко О.Ф. Аналіз потужності втрат джерела живлення для контактного мікрозварювання. Мікросистеми, електроніка та акустика, 2020, том 25, № 3, С. 41-47. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.me.208874>

Дубко А.Г., Чвортко Н.А., Лебедев О.В. Застосування імпедансометрії при біполярному з'єднанні зварюванням біологічних тканин. Біомедична інженерія та електроніка. – 2021. – № 2(27). – С. 1-12.
<http://journals.uran.ua/biofbe/article/view/244151>

Попов С.В., Лебедев О.В. Модель інструменту для зварювання легень. Біомедична інженерія та електроніка. – 2021. – № 2(27). – С. 13-29.
<http://journals.uran.ua/biofbe/article/view/244152>

Дубко А.Г., Чвортко Н.А., Лебедев А.В., Дудан А.В. Исторические аспекты развития электрохирургии. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. - 2021. - № 11. - С. 94-101.
<http://elib.psu.by:8080/handle/123456789/27732>

Лебедев А.В., Дубко А.Г. Применение сварки живых тканей для гемостаза при хирургических операциях (Обзор). Біомедична інженерія та електроніка. – 2021. – № 1(26). – С. 84-100. <http://biofbe.esrae.ru/221-1215>

Лебедев О.В., Дубко А.Г., Бондаренко О.Ф. Комп'ютерне моделювання поверхневого ефекту та ефекту близькості при зварюванні живих тканин. Біомедична інженерія та електроніка. – 2021. – № 2(27). – С. 98-110.
<http://journals.uran.ua/biofbe/article/view/245806>

Кожушко Ю.В. Перетворювачі електроенергії гібридних ємнісних накопичувачів енергії для систем з імпульсним навантаженням, дис. ... PhD, 171 – електроніка, науковий керівник канд. техн. наук., доц. Бондаренко О.Ф., 2021, КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Карбівська Т.О. Перетворювачі електроенергії з модульною структурою та зниженим рівнем пульсацій для контактного зварювання, дис. ... PhD, 171 – електроніка, науковий керівник канд. техн. наук., доц. Бондаренко О.Ф., 2021, КПІ ім. Ігоря Сікорського.

13. Надати ключові слова до розробки: прилад контактного зварювання, перетворювач електроенергії, імпеданс біологічної тканини, імпульсне навантаження, біологічна тканина.