

МОЖЛИВОСТІ МІНІАТЮРИЗАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОХІРУРГІЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

Б. В. Добринський, к. т. н. О. Ф. Бондаренко

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Україна, м. Київ
bondarenkoaf@gmail.com

Розглядаються шляхи мініатюризації джерел живлення для електрохірургічного зварювання з метою зменшення загальних розмірів пристрою, його ваги та енергоспоживання. В ході дослідження були проаналізовані вимоги до джерел живлення для електрохірургії, різні підходи до мініатюризації пристроїв силової електроніки, їхні переваги та недоліки. В результаті розроблено комплексний підхід до проектування малорозмірних систем живлення для електрохірургії.

Ключові слова: електрохірургія, перетворювачі, мініатюризація, енергоефективність, електроживлення.

Електрохірургічне зварювання — це медична процедура, в якій використовується електричний струм для розрізання та коагуляції (з'єднання) м'яких живих тканин. Цей процес реалізується за допомогою джерела живлення, що генерує струм із необхідними параметрами, який електричними проводами подається на електроди-маніпулятори в формі ножиць із затискачами замість різальних кінців [1—3]. Зараз використовуються пристрої хірургічного зварювання змінним високочастотним струмом. Зварювання живих тканин постійним струмом знаходиться на стадії досліджень.

Електрохірургічні зварювальні пристрої можуть споживати енергію як від мережі змінної напруги, так і від джерела постійної напруги (акумуляторної батареї). В першому випадку структура пристрою містить перетворювач змінної напруги у постійну, яка живить інвертор, що формує змінний високочастотний струм з потрібними параметрами на виході [2, 3]. В другому випадку постійна напруга подається на інвертор безпосередньо або через проміжний DC-DC-перетворювач [4, 5]. Останній варіант дозволяє організувати незалежне від зовнішніх мереж живлення. Необхідно зазначити, що наявні на сьогодні пристрої для зварювання біологічних тканин є стаціонарними та доволі громіздкими. Тоді як очевидно є потреба у портативних, малогабаритних та ергономічних зварювальних пристроях з автономним живленням, які, наприклад, дозволять здійснювати фіксацію джерела зварювального струму на плечі хірурга під час проведення операції та зможуть ефективно використовуватись в польових умовах [4].

Метою роботи є визначення основних підходів для досягнення максимальної мініатюризації пристроїв електрохірургічного зварювання за умови збереження високих електричних параметрів.

Для мініатюризації електрохірургічних зварювальних пристроїв представляється доцільним застосування комплексних заходів з урахуванням особливостей їхнього енергоспоживання та умов використання. Цікавими в цьому сенсі є результати конкурсу Google Little Box Challenge, в ході якого були продемонстровані різні методи та топології, що дозволяють мінімізувати розміри перетворювача постійної напруги в змінну [6]. В таблиці наведено порівняння результатів, яких вдалося досягти переможцям конкурсу, із параметрами деяких моделей пристроїв електрохірургічного зварювання.

Порівняння пристроїв хірургічного зварювання із результатами Little Box Challenge

Параметр	ЕКВ3-300	«Надія-4» ЕХВЧ-200	SuperPulse Generator	Little Box Challenge
Вихідна потужність, Вт	< 300	< 200	< 200	~ 2000
Вихідна напруга, В	< 500	< 450	< 120	~ 240
Частота вихідного струму, кГц	~ 440	~ 440	320—450	35—240
Габарити, мм	440×450×170	300×220×120	410×410×135	63,5×41×86,6
Питома потужність, Вт/дм³	8,8	25	8,7	~ 8850
Маса, кг	7,5	4	8	—

Як видно з таблиці, пристрої хірургічного зварювання мають великі перспективи щодо мініатюризації, адже можливо практично досягти на порядки більшу питому потужність на одиницю об'єму корпусу у порівнянні з існуючими моделями. До того ж електрохірургічні пристрої здебільшого мають на порядок нижчу номінальну потужність, а отже розміри його компонентів та системи охолодження теж будуть меншими.

Аналіз публікацій дозволив виділити як перспективні такі підходи до мініатюризації джерел живлення пристроїв електрохірургічного зварювання.

1. Збільшення робочої частоти перетворювачів дозволяє зменшити номінали та розміри конденсаторів, трансформаторів, індуктивностей. Проте на високих частотах більший вплив мають паразитні реактивні параметри компонентів схеми, що знижує їхню енергоефективність [7—8]. Для технології електрохірургічного зварювання може бути потреба у реалізації наперед обраної робочої частоти.

2. Підбір елементів і матеріалів для них: використання транзисторів із нових матеріалів (наприклад, на основі карбіду кремнію, нітриду галію та ін.) або доцільний вибір матеріалів осердь індуктивних елементів, а також новітніх керамічних конденсаторів, дозволяє отримати бажані якості цих елементів за менших розмірів [4, 6].

3. Вибір топології перетворювачів із найменшою кількістю великогабаритних елементів та вибір мінімальних номіналів для них, з одночасним забезпеченням всіх необхідних режимів роботи [9, 10].

4. Використання способу управління перетворювачами, який дозволяє отримати бажані вихідні параметри із застосуванням менших за номіналами та габаритними розмірами елементів [7].

5. Конструктивні рішення, за яких раціонально розміщуються компоненти пристрою у його корпусі, наприклад зменшення габаритів його охолоджувальної системи [6] або її повне виключення.

Таким чином, комплексний підхід до проектування джерел живлення пристроїв електрохірургічного зварювання, який передбачає мінімізацію їх габаритів шляхом оптимізації конструкції, способів та параметрів управління, застосування новітньої елементної бази, дозволить скоротити розміри таких пристроїв і досягти більшої питомої потужності на одиницю об'єму.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Патон Б. Є. Зварювання в медицині. *Енциклопедія Сучасної України*. Київ, Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2010.

2. Патон Б. Є. Спосіб з'єднання м'яких біологічних тканин і пристрій для його здійснення, пат. UA №44805, Україна, 2002.

3. Дубко А. Г., Чвертко Н. А., Лебедев О. В. Застосування імпедансометрії при біполярному з'єднанні зварюванням біологічних тканин. *Біомедична інженерія і електроніка*. 2021, № 2. doi:10.6084/m9.figshare.16970137

4. Eberhardt, G.M. *Design and implementation of a compact highly efficient 472khz radio frequency generator for electrosurgery*. Thesis (MSc). 2011, Colorado State University.

5. Alzaidi A. I., Yahya A., Swee T.T., Idris N. Development of high frequency generator for bipolar electrosurgical unit. *International Journal of Engineering & Technology*, 2020, vol. 7, no. 2.29, p. 20–23. doi:10.14419/ijet.v7i2.29.13118

6. Neumayr D., Bortis D., Kolar J. W. The Essence of the Little Box Challenge-Part A: Key Design Challenges & Solutions. *CPSS Transactions on Power Electronics and Applications*, 2020, vol. 5, iss. 2, p. 158–179.

7. He Sh. *Size Reduction Techniques for AC-DC Converters*. Thesis (MSc). 2023., University of Virginia.

8. Ranjram M.K. *Miniaturizing High Step-Down, High Output Current Power Converters*. Thesis (PhD). 2021, Massachusetts Institute of Technology.

9. Schanen J. L., Baraston A., Delhommais M. et al. Sizing of power electronics EMC filters using design by optimization methodology, *7th Power Electronics and Drive Systems Technologies Conference (PEDSTC)*, Tehran, Iran, 2016, p. 279–284, doi: 10.1109/PEDSTC.2016.7556874

10. Nijil V. V., Selvan P. DC-Link Capacitor Optimization in AC–DC Converter by Load Current Prediction. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 2023, vol. 6, no. 1, p. 1043–1062. doi:10.32604/iasc.2023.028028

В. Добрянський, О. Бондаренко

Miniaturization of power supply units for electrosurgical devices

The presented work concerns the search for ways to miniaturize power sources for electrosurgical welding in order to reduce the overall size of the device, its weight and energy consumption. In the course of the study, the requirements for power sources for electrosurgery, various approaches to the miniaturization of power electronics devices, their advantages and disadvantages were considered. As a result, a comprehensive approach to the design of small-sized power systems for electrosurgery was developed.

Keywords: electrosurgery, converters, miniaturization, energy efficiency, power supply.