

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОПОЛОГІЙ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НАПРУГИ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРОХІРУРГІЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ

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

Проведено порівняння DC–DC-перетворювачів та інверторів, що можуть бути використані для створення прототипу електрохірургічного пристрою з поліпшеними питомими показниками. Обґрунтовано вибір перетворювачів для роботи в однакових умовах, виконано розрахунок основних характеристик і параметрів їх елементів. В результаті визначено топології силової частини перетворювачів, що якнайкраще задовольняють вимогам щодо мініатюризації генератора високочастотної напруги електрохірургічного пристрою.

Ключові слова: перетворювач електроенергії, джерело живлення, мініатюризація, високочастотний інвертор, електрохірургічний пристрій.

Пристрої електрохірургічного зварювання — це, зазвичай, генератори змінної напруги частотою приблизно 440 кГц. Вони отримують живлення від побутової мережі змінної напруги 220 В частотою 50 Гц. Їхня конструкція, як правило, містить випрямляч напруги, перетворювач постійної напруги, інвертор як генератор змінної напруги, а також систему керування. Принцип роботи пристроїв електрохірургічного зварювання полягає в тому, що випрямлена напруга мережі подається на вхід DC–DC-перетворювача, який забезпечує регульовану постійну напругу. Ця напруга подається на вхід інвертора, який своєю чергою формує високочастотну синусоїдальну напругу на виході, до якого під'єднується електрохірургічний інструмент. Вихідна напруга залежно від режиму роботи може змінювати форму від неперервної синусоїди невеликої напруги до коротких імпульсів, які заповнено синусоїдальною напругою з великою амплітудою. Обов'язковою вимогою є забезпечення гальванічної розв'язки від електромережі з міркувань безпеки для пацієнта, та, як наслідок, пристрої хірургічного зварювання повинні мати в тракті перетворення енергії трансформатор [1].

Електрохірургічні зварювальні пристрої, які на сьогодні випускаються серійно, характеризуються порівняно великими вагою та габаритними показниками, а також мають низьку питому потужність (Вт/дм³). Найважливішим кроком для їх мініатюризації є вибір найбільш доцільних топологій зазначених вище високочастотних перетворювачів напруги [2].

Метою роботи є вибір топологій перетворювачів пристроїв електрохірургічного зварювання та порівняння їхніх основних параметрів для забезпечення поліпшених питомих показників.

Пристрої електрохірургічного зварювання зазвичай розраховуються на максимальну потужність 200–300 Вт із вихідною напругою від кількох десятків до 150–450 В. З огляду на це, для гіпотетичного пристрою було обрано вхідні та вихідні параметри, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вхідні та вихідні параметри гіпотетичного пристрою

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Постійна вхідна напруга, В	311±10%	Номінальний постійний струм, А	4±10%
Вхідний струм, А	~0,7±10%	Вихідна напруга (діюча), В	100
Частота перемикання DC–DC-перетворювача, кГц	100	Вихідний струм (діючий), А	2
Номінальна постійна напруга, В	50±10%	Частота вихідної напруги, кГц	440

Величини, наведені в табл. 1 були обрані для пристрою з вихідною потужністю 200 Вт і ККД приблизно 90%. Вхідна напруга відповідає випрямленій напрузі електромережі $220 \cdot \sqrt{2}$ В. Номінальна напруга на виході DC–DC-перетворювача та його частота перемикання задавалися довільно з ураху-

ванням можливих змін режиму роботи електрохірургічного пристрою. Вихідна напруга та струм пристрою наведені для режиму неперервної синусоїди й стосуються вторинної обмотки трансформатора (якщо топологія інвертора не вимагає інакшого).

Для аналізу було вибрано топології DC–DC-перетворювачів типу Buck [3], Cuk-Buck 1.5 [4] і Cuk [5]. Вони не потребують трансформатора, а тому створюють передумови для отримання поліпшених питомих показників. Серед обраних топологій інверторів: повномостова (H-bridge) [5], Flyback [6] та Split source (SSI) [7]. В табл. 2 наведено параметри схем, розрахованих для значень з табл. 1.

Таблиця 2

Порівняльна таблиця параметрів перетворювачів

Параметр		DC–DC-перетворювачі			Інвертори		
		Buck	Cuk-Buck 1.5	Cuk	H-bridge	Flyback	SSI
Кількість	індуктивностей	1	2 (3)	2	0	0	1
	конденсаторів (без $C_{вх}$)	1	2	2	0	0	1
	транзисторів	1	3	1	4	3	4
	діодів	1	3	1	0	2	2
L_{min} , мГн		1,05	0,032 / 0,0078	4,3 / 1,1	—	—	—
C_{min} , мкФ		0,2	3,3 / 0,68	0,16 / 0,1	—	—	—
$I_{D max}$, А		3,36	2,72 / 0,72	4	—	1	1
$I_{sw max}$, А		0,64	0,85 / 3,36	4,64	2	4 / 1	1
$V_{D max}$, В		311	135 / 5	361	—	200	50
$V_{sw max}$, В		> 311	> 261 / 5	361	> 50	>50 / 200	100

Аналіз даних табл. 2 показав, що топології Buck і Cuk-Buck 1.5 є порівняно більш придатними: перший має меншу кількість компонентів і мінімальну ємність конденсатора C_{min} , а другий — суттєво менші індуктивності L_{min} та меншу напругу на елементах $V_{sw max}$. Натомість перетворювач Cuk найгірше підходить для роботи в умовах, вказаних в табл. 1 — в нього найбільші струми діода $I_{D max}$ й транзистора $I_{sw max}$, а його єдиною перевагою є можливість підвищувати вхідну напругу $V_{D max}$, що дозволяє живити пристрій від автономних джерел з низькою напругою. Щодо інверторів, то краще обирати топологію H-bridge, яка має менше компонентів, або топологію SSI, що дозволяє отримати амплітуду, вищу за напругу живлення.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Дубко А. Г., Чвертко Н. А., Лебедєв О. В. Застосування імпедансометрії при біполярному з'єднанні зварюванням біологічних тканин. *Біомедична інженерія та електроніка*, 2021, № 2. DOI: 10.6084/m9.figshare.16970137
2. Eberhardt, G.M. *Design and implementation of a compact highly efficient 472 kHz radio frequency generator for electrosurgery*. Thesis (MSc). 2011, Colorado State University.
3. Hauke B. (2011). *Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage* (Application Report No. SLVA477B). Retrieved from Texas Instruments website: <https://www.ti.com/lit/an/slva477b/slva477b.pdf>
4. Citraro, E. *High efficiency high step-down DC-DC conversion - the Cuk-Buck 1.5 converter*. Thesis (MSc). 2019, Politecnico di Torino.
5. Mohan N., Undeland T. M., Robbins W. P. *Power Electronics: Converters, Applications and Design*. 3rd ed. Minneapolis: Wiley, 2003. 802 p.
6. Gao Chen, Chen M., Zhang C., Qian Z. Analysis and Implementation of an Improved Flyback Inverter for Photovoltaic AC Module Applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2014, vol. 29, no. 7, pp. 3428–3444, DOI: 10.1109/TPEL.2013.2279266.
7. Ismeil M. A., Abdelaleem A., Nasrallah M., Essam E. M. Mohamed. Split source inverter: topology and switching modulation improvements — A review. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*. 2023, vol. 5, 100240. DOI: 10.1016/j.prime.2023.100240.

B. V. Dobrynskyi, O. F. Bondarenko

Comparative analysis of topologies of high-frequency voltage converters for electrosurgical welding devices

The study compares the DC-DC converters and inverters that can be used to create a prototype of an electrosurgical device with improved specific characteristics. The authors substantiate the choice of converters for operation in the same conditions and calculate the main characteristics and parameters of their elements. The results allow selecting the topologies of the power part of the converters, which best meet the requirements for the miniaturization of the high-frequency voltage generator of the electrosurgical device.

Keywords: power converter, power source, miniaturization, high-frequency inverter, electrosurgical device.