

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ БІОЛОГІЧНОЇ ТКАНИНИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОХІРУРГІЇ

Є. Д. Дзюба, к. т. н. Ю. В. Бондаренко, Т. В. Королук,
к. т. н. А. Г. Дубко, к. т. н. О. Ф. Бондаренко

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

Проведено експериментальне дослідження параметрів біологічної тканини як навантаження електрокоагулятора. Визначено, що величина фазового зсуву між струмом та напругою за різних рівнів потужності та тривалості впливу для експериментальної установки з робочою частотою електрохірургічної апаратури не перевищує 1° . Встановлено, що характер імпедансу в усьому досліджуваному діапазоні визначається його активною складовою. Такий підхід дозволяє використовувати для розрахунків рівняння нижчих порядків, що значно спрощує математичні моделі.

Ключові слова: електрохірургія, зварювання, біологічна тканина, фазовий зсув, імпеданс.

Розроблення та вдосконалення хірургічного обладнання завжди має високу актуальність, а в умовах війни стає нагальною необхідністю. Розвиток технології з'єднання живих біологічних тканин шляхом зварювання електричним струмом, яка характеризується високою швидкістю та доведеною ефективністю [1], становить особливий інтерес. Одним з найважливіших аспектів проектування електрохірургічного обладнання є експериментальні дослідження та перевірка ефективності запропонованих рішень на практиці. Втім, експерименти в цьому напрямку ускладнені необхідністю мати в розпорядженні саме живі тканини, властивості та реакції яких на електрохірургічну процедуру суттєво відрізняються від властивостей та реакцій біотканин, які вже не є живими. Очевидно, що наявність адекватної математичної моделі живої тканини може значно спростити проведення експериментальних робіт з електротехнічним обладнанням в лабораторії. Оскільки процес електрозварювання тканини базується на використанні її електричного опору при пропусканні електричного струму, необхідно мати чітке уявлення зокрема про характер цього опору та його залежність від частоти струму.

В [2, 3] описано отримані експериментально залежності імпедансу живої незміненої біологічної тканини від частоти електричного струму, що протікає крізь неї, та наведено значення фазового зсуву між напругою та струмом. Так, для м'язової тканини кролика на частоті 1 кГц фазовий зсув становить -55° , а при збільшенні частоти до декількох МГц він зберігається на рівні -65° . Проте особливістю роботи електрохірургічних апаратів є зміна структури та фізичних властивостей біологічних тканин в процесі зварювання. На сьогодні в наукових публікаціях немає інформації щодо характеру змін імпедансу тканин під час впливів на них. Метою цієї роботи є експериментальне визначення імпедансних властивостей живих біологічних тканин та оцінка їх залежності від потужності та тривалості електрохірургічної процедури на робочих частотах.

Для визначення імпедансних властивостей біологічних тканин в процесі зварювання була створена експериментальна вимірювальна установка (рис. 1), яка дозволяє вимірювати фазовий зсув між напругою, що підводиться до зварюваних тканин, та струмом, що проходить крізь них, на частоті роботи електрокоагулятора. Установка складається з електрохірургічного апарата 1, вимірювального шунта 2, осцилографа 3, пасивного електрода 5 (мідна пластина 100×100 мм), активного електрода 6 (мідний стрижень з перерізом 5×6 мм) з фіксованою силою притискання. Досліджуваний зразок 4 розміщується між пасивним 5 та активним 6 електродами. Зняття осцилограм напруги та струму виконувалося за допомогою двоканального осцилографа Tektronix TDS2012C. Для зниження впливу паразитних індуктивностей елементів та провідників установки був проведений їх попередній розрахунок з подальшим калібруванням стенда. Досліджуваний зразок — м'язова тканина

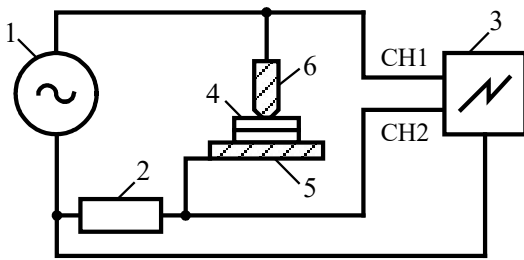


Рис. 1. Схема експериментальної вимірювальної установки

свіжозабійної свині зі зрізами товщиною 5–7 мм. На рис. 2 зображено отримані осцилограми напруги на шунті (канал 1) та струму шунта (канал 2) з часовими масштабами 250 нс/клітина (а) та 50 нс/клітина (б) для частоти 0,44 МГц, рівня потужності 50 у.о. (1 у.о. $\approx$ 1 Вт), час експозиції 2 с.

Результати досліджень на частоті 0,44 МГц наведено в таблиці, де t — час електрохірургічного впливу, P — вихідна потужність електрокоагулятора, I — середній струм, R — середній опір, φ — фазовий зсув між напругою і струмом.

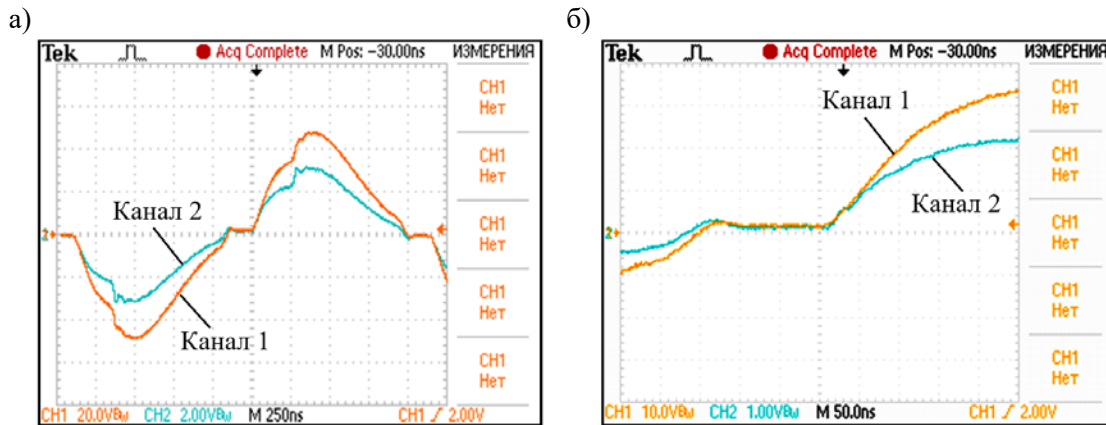


Рис. 2. Осцилограми електромагнітних процесів в електрокоагуляторі

t, s	$P, \text{у.о.}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$R, \text{Ом}$	$\varphi, ^\circ$
0,12	10	22	0,80	27,50	<1
0,22		20	0,76	26,30	
0,60		21	0,80	26,25	
1,10		20	0,80	25,00	
2,40		18	0,80	22,50	
6,00		21	0,78	26,92	
20,0		19	0,72	26,38	
35,0		18	0,76	23,68	
0,12	50	44	1,60	27,50	
0,22		38	1,60	23,75	
0,60		35	1,60	21,88	
1,10		30	1,60	18,75	
2,40		24	1,60	15,00	
6,00		23	1,45	15,87	
20,0		32	0,40	80,00	
0,12	280	70	3,60	19,44	
0,22		60	3,60	16,67	
0,60		50	3,60	13,89	
1,10		50	3,65	13,69	
2,40		50	3,70	13,51	

Як видно з таблиці, отримані при експериментальному нагріванні біологічної тканини величини фазового зсуву між струмом та напругою на частоті роботи електрокоагуляційної апаратури 0,44 МГц не перевищують 1° за різних значень потужності та тривалості електрохірургічної процедури, що при вирішенні задач моделювання біологічних тканин як навантаження електрокоагулятора дає можливість представляти характер їхнього імпедансу чисто активним. Такий підхід дозволяє використовувати для розрахунків рівняння нижчих порядків, що значно спрощує математичні моделі.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Тканесохраняющая высокочастотная электросварочная хирургия. Атлас / Под ред. Б. Е. Патона и О. Н. Ивановой. Киев : Наукова думка, 2009. 200 с.
2. Ремизов А. Н., Максина А. Г., Потапенко А. Я. Учебник по медицинской и биологической физике. М. : Дрофа, 2003. 559 с.
3. Белик Д.В. Импедансная электрохирургия (Аппараты и особенности применения). Н. : Наука, 2000. 253 с.

Ie. D. Dziuba, Yu. V. Bondarenko, T. V. Koroliuk, A. G. Dubko, O. F. Bondarenko

Experimental determination of biological tissue parameters during electrosurgical interventions

The paper describes an experimental study of the parameters of biological tissue as a load of the electrocoagulator. The authors determine that, for an experimental setup with the operating frequency of electrosurgical equipment, the value of the phase shift between current and voltage at different power levels and exposure durations does not exceed 1° . The study establishes that the nature of the impedance in the entire investigated range is determined by its active component. This approach allows using lower-order equations in calculations, which greatly simplifies mathematical models.

Key words: electrosurgery, welding, biological tissue, phase shift, impedance.