

УДК 57.023

Діана ФЕЛДІ, студент,

Василь КОЗЯР, к.м.н., доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ, Україна, e-mail: dinifeldi@gmail.com, kozyarvasilij@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ТІЛА ЛЮДИНИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ МЕДИЧНИХ ВИРОБІВ

Анотація. Тіло людини є джерелом енергії, яка може бути перетворена з тепла тіла, дихання, руху рук, ніг або інших частин тіла під час повсякденної діяльності. Зокрема, людське тіло є джерелом кінетичної та теплової енергії. Кінетична енергія може перетворюється в електричну за допомогою електромагнітних, електростатичних та п'єзоелектричних генераторів.

Ключові слова: енергія, медицина, медичний пристрій, енергетичні ресурси, джерело, тіло людини.

Медичним пристроям для роботи потрібні джерела живлення, при використанні яких можуть виникати певні труднощі експлуатації. Особливо це стосується пристроїв, що імплантуються. Проблему можуть становити габарити, маса джерела живлення і, особливо, обмежена його електрична ємність. При вичерпанні енергетичних ресурсів батареї імплантовані медичні пристрої замінюються хірургічним шляхом, що супроводжується ризиками різноманітних ускладнень. Оскільки термін функціонування медичного пристрою, що імплантується, в основному визначається ємністю батареї [1], то для уникнення даного обмеження пропонується використання енергії людського тіла і розробляються відповідні безбатарейні медичні пристрої. Тіло людини є джерелом кінетичної та теплової енергії і є можливість перетворена тепла тіла, руху кінцівок або інших частин тіла під час повсякденної діяльності в електричну за допомогою електромагнітних, електростатичних, п'єзоелектричних та інших конверторів [2].

Перетворювачі енергії тіла людини відрізняються розмірами, масою і потужністю, що виробляється, і, відповідно до даних параметрів, вони можуть взаємодіяти з конкретними імплантованими медичними приладами. Часто обсяг, який займає перетворювач, не перевищує 1 см^3 . Доступна для перетворення енергія залежить від положення генератора у тілі людини. Зокрема, оптимальними місцями розташування п'єзоелектричних перетворювачів є тазостегновий суглоб, колінний і гомілковостопний суглоби, де вони генерують потужність до 7,2 Мт. Цієї потужності достатньо для енергозабезпечення найпоширеніших медичних приладів, що імплантуються [3].

Діяльність людини є джерелом кінетичної та теплової енергії. Залежно від виду діяльності та рухливості людини, стає можливим акумулювати певну кількість електричної енергії. Організм людини підтримує стабільну температуру тіла навіть за зміни температури навколишнього повітря. Ця гомеостатична властивість забезпечує сталість обмінних процесів, необхідних для теплопродукції. Використовуючи енергію сплячої людини, можна забезпечити 81 мВт потужності, а під час руху людини – 1630 Мт [2].

Кінетична енергія є легкодоступним видом енергії, як для пристроїв, що імплантуються, так і для приладів, розташованих поза тілом людини. Перетворити кінетичну енергію тіла людини на електричну можна за допомогою п'єзоелектричного, електромагнітного або електростатичного генератора [3]. Прямий п'єзоелектричний ефект передбачає, що електричний заряд генерується, коли п'єзогенератор піддається механічному навантаженню: стиску, розтягуванню або вібрації [4]. Еквівалентна схема п'єзоелектричного перетворення зображена рис. 1.

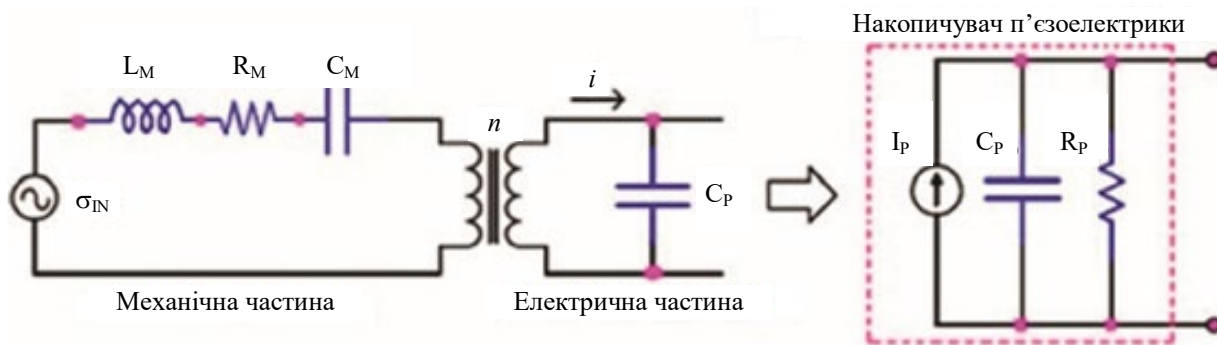


Рис. 1. Еквівалентна схема п'єзоелектричного перетворювача

Вченими було розроблено наногенератор, який перетворює механічну енергію скорочення м'язів тіла людини на електричну. У його пристрій входять нанодропи з оксиду цинку – матеріалу, який є п'єзоелектриком та напівпровідником. Електрика генерується, коли нанодропи нахилиються та повертаються у вихідне положення. Нанодропи з оксиду цинку можуть бути зігнуті на кут до 50° без пошкодження [5]. Оксид цинку нетоксичний, на відміну від компонентів батареї, що робить його ідеальним для використання всередині людського тіла. Також, як джерело енергії можна використовувати пульсацію вен. За її допомоги можна забезпечувати енергією датчики, призначені для моніторингу життєво важливих функцій, таких як серцебиття та кров'яний тиск [6]. Основною проблемою генерації енергії за допомогою п'єзоелементів є великий розмір пластин.

Електростатичні генератори акумулюють енергію за допомогою електростатичної індукції. Ці пристрої перетворюють механічну вібрацію в електричну енергію шляхом переміщення перетворювача проти електричного поля [7]. Кінетичні генератори, що базуються на електростатичних перетворювачах, використовують змінні конденсатори. Положення пластин може бути змінено під дією зовнішньої сили. При постійному заряді зовнішня сила змінює напругу на конденсаторі. При фіксованій напрузі рух пластини генерує струм через конденсатор [8].

У 2009 році був запропонований генератор осьового потоку, який перетворює енергію за допомогою електромагнітної плоскої котушки. Цей генератор включає зубчатоподібну плоску котушку та ексцентричне кільце. Пристрій фіксується на щиколотці та генерує 3,9 мкВт і, чого може бути достатньо для енергозабезпечення малопотужних біомедичних пристроїв [7].

Також можливо генерувати енергію за допомогою системи, що складається із мікрогенератора з редуктором, магніту та котушки з двома фазами збудження, яка встановлюється поза організмом людини. При збудженні котушки, магнітне поле, що обертається, впливає на магніт, який імплантується в організм людини, і таким чином створюється мікрогенератор енергії. Швидкість обертання мікрогенератора приблизно 100 разів вища, ніж швидкість обертання магніту, оскільки з-поміж них встановлена система передачі. Таким чином, виробляється кількість енергії, достатня для енергозабезпечення кардіостимулятора [9].

Акумулювання теплової енергії дає можливість отримати невелику кількість енергії через різницю температур (ефект Зеєбека), якої може бути достатньо для живлення медичних імплантатів, таких як імплантованих нервових та м'язових стимуляторів, кохлеарних імплантатів та бездротових пристроїв моніторингу стану здоров'я пацієнта [5].

Термоелектричний генератор складається з безлічі послідовно з'єднаних термопар. Ця структура ідеально підходить для конвертації теплової енергії тіла людини, проте ефективність Карно (1) обмежує відсоток видобутої енергії (η_c) [4];

$$\eta_c = \frac{T_r - T_x}{T_r}, \quad (1)$$

де T_r – температура нагрівача; T_x – температура холодильника.

Діапазон потужності термоелектричних перетворювачів низький і, як правило, не перевищує кілька сотень мікват. Наприклад, був винайдений термоелектричний перетворювач потужністю 1,5 мкВт і площею 0,19 см² при тепловому градієнті, що дорівнює 5 К [8]. Також було створено комерційно доступний пристрій, який може виробляти до 30 мкВт потужності з падінням напруги 3 В) за різниці температур 5 К [9]. Цей пристрій має об'єм 95 мм³ і масу 0,23 г. Невелика кількість енергії, що можна отримати, є основною проблемою даного методу [7].

Інша стратегія використовує біопаливні клітини, які виробляють електроенергію за допомогою хімічних реакцій між ферментами та молекулами палива, що знаходяться в організмі, наприклад, глюкозою в крові, або вивільняються з організму, наприклад, з потом. Так, фермент целобіозо-дегідрогеназа гриба *Phanerochaete sordida* може розщеплювати цукри й генерувати електричний струм, якщо нанесений на вуглецеві трубки шириною лише в кілька нанометрів). Пробірки покриті ферментами, які переробляють природне паливо, наприклад, лактат у поті або глюкозу в крові є електроактивними і забезпечують велику площу поверхні для осадження ферментів, що дозволяє генерувати більше електроенергії з заданого об'єму [10]. Вибір ферменту може виявитися складним. Кілька груп вчених встановили, що глюкозооксидаза може виробляти електрику в біопаливних клітинах, імплантованих лабораторним щурам. Але цей фермент також утворює перекис водню, який може погіршити продуктивність пристрою і завдати шкоди організму в довгостроковій перспективі [3].

Французькі вчені створили біопаливний елемент на основі покритих ферментом вуглецевих нанотрубок, об'єм яких становить менше 1 см³, і при імплантації щурам він генерує з цукру в крові електроенергію, достатньої для живлення світлодіода або цифрового термометра. Експерименти також показали, що біопаливні елементи, вплетені в такі предмети одягу, як пов'язки на голову та браслети, можуть легко генерувати в результаті хімічних реакцій з виділеним в складі поту лактату кількість електроенергії достатню для живлення годинника [10].

Кожен із описаних методів використання в медичній галузі кінетичної або теплової енергії людини має свої обмеження в застосуванні. На даний момент медичні вироби із незначним споживанням енергії людського тіла знаходяться на стадії активної розробки і впровадження. Але не є далекою перспективою створення новітніх джерел конвертованої енергії для живлення більш енерговитратних медичних пристроїв, що імплантуються.

Література

1. Wong, J.Y., Bronzino J.D., Peterson, D.R. Biomaterials: Principles and Practices. / J.Y. Wong, J.D. Bronzino, D.R. Peterson // Boca Raton. – FL CRC Press. – 2012.
2. Paulo, J., Gaspar P.D. Review and future trend of energy harvesting methods for portable medical devices. / J. Paulo, P.D. Gaspar // In proceedings of the world congress on engineering. – 2010.
3. Jaeseok, Y., Shwetak N., Patel M., Reynolds S., Gregory A.D. Design and performance of an optimal inertial power harvester for human-powered devices. / Y. Jaeseok, N. Shwetak, M. Patel, S. Reynolds, A.D. Gregory // Institute of electrical and electronics engineers Trans mobile comput. – 2011. – Vol. 10. – P. 669–683.
4. Casimiro, F., Gaspar, P.D., Gonçalves aplicação do princípio piezoelétrico no desenvolvimento de pavimentos para aproveitamento energético. / F. Casimiro, P.D. Gaspar // In III Conferência nacional em mecânica de fluidos termodinâmica e energia. – 2009. – P. 19–23.
5. Sohn, J.W., Choi S.B., Lee D.Y. An investigation on piezoelectric energy harvesting for microelectromechanical systems power sources. / J.W. Sohn, S.B. Choi, D.Y. Lee // Journal of mechanical engineering and sciences. – 2005. – P. 429–436.
6. Edwar, R., Robert O.W, Michael R.N. Body Motion for Powering Biomedical Devices. / R. Edwar, O.W. Robert, R.N. Michael // In proceeding of the 31st annual international conference of the Institute of electrical and electronics engineers engineering in medicine and biology society. – Minnesota, Minneapolis, USA. – 2009. – P. 2752–2755.
7. Amirtharajah, R., Chandrakasan A. Self-powered signal processing using vibration-based power generation. / R. Amirtharajah, A. Chandrakasan // Institute of electrical and electronics engineers Journal of solid state circuits. – 1998. – P. 687–695.

8. Stark, I., Stordeur M. New micro thermoelectric devices based on bismuth telluride-type thin solid films. / I. Stark, M. Stordeur // In Proceeding of the 18th International conference on thermoelectrics. – USA. – 1999. – P. 465–472.
9. Soykan O. Power sources for implantable medical devices/ O. Soykan // Med. Device Manuf. Technol. – 2002. – № 76. – P. 15.
10. Choi C.Q. The body electric [Електронний ресурс] / C.Q. Choi // Knowable magazine. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://knowablemagazine.org/article/technology/2018/body-electric>.