

П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЯК ДЖЕРЕЛА АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто фізичні принципи побудови систем збору енергії (energy harvesting) на основі прямого п'єзоелектричного ефекту. Проаналізовано процес перетворення механічної енергії вібрацій в електричну енергію та вплив частотного узгодження на ККД системи. Описано еквівалентну електричну схему п'єзоперетворювача та роль імпедансного узгодження для максимізації корисної потужності. Показано перспективність використання п'єзоелектричних генераторів консольного типу для живлення автономних вузлів бездротових сенсорних мереж.

Ключові слова: п'єзоелектричний ефект, мікрогенерація енергії, сенсорні мережі, резонансна частота, імпеданс, автономне живлення.

Abstract

The paper considers the physical principles of constructing energy harvesting systems based on the direct piezoelectric effect. The process of converting mechanical vibration energy into electrical energy and the influence of frequency matching on the system efficiency are analyzed. The equivalent electrical circuit of a piezoelectric transducer and the role of impedance matching for maximizing power output are described. The prospects of using cantilever-type piezoelectric generators for powering autonomous nodes of wireless sensor networks are shown.

Keywords: piezoelectric effect, energy harvesting, sensor networks, resonant frequency, impedance, autonomous power supply.

Вступ

Стрімкий розвиток концепції «Інтернету речей» (IoT) призвів до появи величезної кількості бездротових датчиків, що використовуються для моніторингу стану промислового обладнання, будівельних конструкцій та транспортних засобів. Головною проблемою таких систем залишається живлення: використання гальванічних елементів (батарейок) є економічно невигідним та екологічно небезпечним через необхідність їх регулярної заміни. Альтернативним рішенням є використання енергії навколишнього середовища, зокрема енергії механічних вібрацій, за допомогою п'єзоелектричних перетворювачів. Фізичною основою роботи таких генераторів є прямий п'єзоелектричний ефект — явище виникнення електричної поляризації в анізотропних діелектриках під дією механічних напружень.

Результати дослідження

Рівняння стану для п'єзоелектрика, що пов'язує електричні та механічні змінні, записується як:

$$D = d * T + \epsilon^T * E$$

де D – вектор електричної індукції (Кл/м²), d – п'єзоелектричний модуль (Кл/Н), T – тензор механічних напружень (Н/м²), ϵ^T – діелектрична проникність матеріалу при постійному напруженні (Ф/м), E – напруженість електричного поля (В/м).

Для систем збору енергії критично важливим є коефіцієнт електромеханічного зв'язку k , який характеризує ефективність перетворення енергії. У найбільш поширених матеріалах, таких як цирконат-титанат свинцю (PZT), цей коефіцієнт може досягати значень 0.7, що робить їх значно ефективнішими за електростатичні або електромагнітні аналоги в мікромасштабі. З точки зору електротехніки, п'єзоелемент, що піддається вібрації, можна представити як джерело змінного струму, з'єднане паралельно з власною ємністю C_p та внутрішнім опором витоку R_p . Потужність, що

генерується, досягає максимуму при настанні механічного резонансу, коли частота зовнішніх вібрацій ω збігається з власною частотою коливань п'єзoeлементу ω_n :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{eq}}{m_{eq}}}$$

де k_{eq} та m_{eq} – еквівалентна жорсткість та маса системи відповідно.

Найбільш ефективною конструкцією для збору низькочастотних вібрацій (промислові двигуни, транспорт, 50–200 Гц) є консольна балка (bimorph cantilever) з закріпленою на вільному кінці інерційною масою (Рис. 1). Така геометрія дозволяє отримати великі механічні деформації навіть при незначних амплітудах зовнішніх коливань.

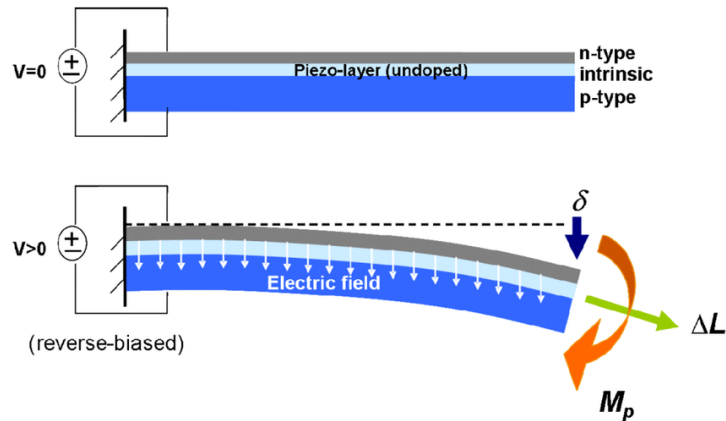


Рис. 1 – принцип роботи п'єзoeлектричного генератора консольного типу

Висновки

У роботі проаналізовано фізичні механізми перетворення механічної енергії в електричну. Показано, що використання п'єзoeлектричних генераторів консольного типу на основі PZT-кераміки дозволяє ефективно утилізувати низькочастотні вібрації технічних об'єктів. Забезпечення резонансного режиму роботи ($\omega \approx \omega_n$) та імпедансного узгодження навантаження є ключовими факторами для досягнення енергоефективності, необхідної для автономного живлення вузлів бездротових сенсорних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучерук І. М., Горбачук І. Т., Луцик П. П. Загальний курс фізики: навч. посібник. Т. 2. Електрика і магнетизм. Київ: Техніка, 2006. 452 с.
2. Anton S. R., Sodano H. A. A review of power harvesting using piezoelectric materials (2003–2006). Smart materials and Structures. 2007. Vol. 16, No. 3. P. R1.
3. Шарпан О. Б. Системи збору енергії для автономних датчиків: огляд та перспективи. Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка. 2019. № 78. С. 15–23.

Вітюк Володимир Артемович – студент групи ІКІ-25МС, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: vitiukvolodymyr@gmail.com

Науковий керівник: **Мартинюк Володимир Валерійович** — канд. техн. наук, доцент кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Vitiuk Volodymyr Artemovich – Department of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: vitiukvolodymyr@gmail.com

Supervisor: **Martyniuk Volodymyr Valeriiovych** — Candidate of Philology tech. Sciences, Associate Professor of General Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia,