
ỨNG DỤNG HIỆU ỨNG ÁP ĐIỆN TRONG THU HOẠCH NĂNG LƯỢNG

THE APPLICATION OF PIEZOELECTRIC EFFECT IN HARVESTING ENERGY

NGUYỄN THẾ HƯNG

Khoa Cơ sở - Cơ bản, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: nguyenthehung@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu một trong những ứng dụng tiềm năng của hiệu ứng áp điện trong các thiết bị chuyển đổi năng lượng cơ-điện (thu hoạch năng lượng). Trong thiết bị này khi một phần tử áp điện được kích thích và dao động sẽ tạo ra các điện tích trên bề mặt để hình thành nên một điện áp xoay chiều (AC). Điện áp này sau khi chỉnh lưu thành điện áp một chiều (DC) sẽ được sử dụng cho các thiết bị điện tử tiêu thụ năng lượng thấp và hiệu suất cao. Trong công trình này, chúng tôi đã lựa chọn được phần tử áp điện có độ bền cao, chịu được những rung động lớn và mô hình hóa được cơ cấu chuyển đổi để tối ưu hóa được năng lượng điện thu được từ các rung động cơ học. Đây được coi như nguồn vi năng lượng sạch và tồn tại vô hạn.

Từ khóa: Hiệu ứng áp điện, thu hoạch năng lượng, phần tử áp điện, $PbZrO_3-PbTiO_3$ (PZT), hệ vi cơ điện tử (MEMS).

Abstract

This article focuses on one of potential uses of piezoelectric effect in devices of mechanical-to-electrical energy conversion (energy harvesters). In these devices, if a piezoelectric element is excited by external forces, it will vibrate and create electric charges on the surface of piezoelectric materials due to converse piezoelectric effect. An AC piezoelectric voltage or current generated by the charges could be rectified to DC voltage in order to use for highly effective and low power electronic devices. In this work, we have selected highly stable piezoelectric elements and these materials could undergo strong vibrations as well as modelling a converting structure to optimize electric energy from mechanical vibrations. It is considered as clean and "infinite" lifespan micro-sources of energy.

Keywords: piezoelectric effect, energy harvesters, piezoelectric element, $PbZrO_3-PbTiO_3$ (PZT), Micro Electro Mechanical Systems (MEMS).

1. Giới thiệu chung

Một trong những ứng dụng quan trọng của hiệu ứng áp điện đó là việc thu hoạch điện năng từ cơ năng. Đây là nguồn năng lượng sạch và có khả năng tái tạo được. Các vật liệu áp điện trong ứng dụng này nhìn chung có mật độ năng lượng cao sẽ chuyển đổi các năng lượng cơ học mà chúng biến dạng thành năng lượng điện và chúng cũng có khả năng chịu được những tác động với cường độ lớn. Tuy nhiên việc thiết kế các vật liệu này để ứng dụng được trong các thiết bị có công suất tiêu thụ cao còn là một vấn đề lớn. Do đó, chúng không thể cạnh tranh với các thiết bị điện tử ở hầu hết các ứng dụng thông thường để tạo ra năng lượng điện. Tuy nhiên, các vật liệu áp điện gần đây đã được quan tâm lớn cho việc thu hoạch năng lượng điện từ các rung động xung quanh. Năng lượng này có thể được sử dụng để cung cấp cho các thiết bị điện tử công suất thấp [1-4].

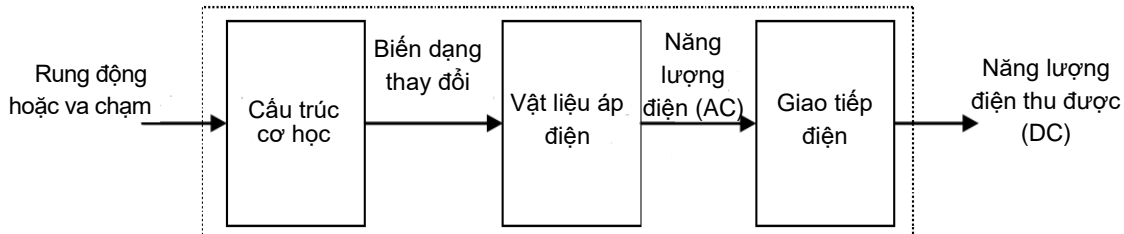
Các nỗ lực nghiên cứu đã được thực hiện trong suốt 10 năm qua và các sản phẩm thương mại đã xuất hiện trên thị trường. Những thiết bị thu hoạch năng lượng như vậy nhằm mục đích thay thế nguồn điện pin trong các thiết bị điện tử có công suất tiêu thụ thấp chẳng hạn như mạng lưới cảm biến và hệ thống điều khiển không dây. Ứng dụng trong việc sạc pin cho các thiết bị di động cũng được phát triển [5, 6].

Trong nghiên cứu này, hiệu ứng áp điện nghịch được ứng dụng để tạo ra năng lượng điện từ các rung động bên ngoài dùng cho các thiết bị điện tử công suất thấp và đưa ra cơ cấu phù hợp bao gồm (thiết kế phần tử áp điện - vật liệu áp điện PZT, cấu trúc cơ điện - vật liệu áp điện và cấu trúc cơ học, cơ cấu chuyển đổi tín hiệu điện) nhằm tối ưu hóa năng lượng thu được từ các rung động của môi trường xung quanh.

2. Quá trình chuyển đổi năng lượng cơ điện

Việc xem xét mỗi giai đoạn của chuỗi chuyển đổi năng lượng là yếu tố cần thiết cho việc tối ưu hóa hiệu quả các thiết bị thu năng lượng. Để thực hiện điều này đòi hỏi phải phân tích chính xác và mô hình hóa được các tương tác cơ và điện liên quan tới chuyển đổi năng lượng xuất hiện trong mỗi giai đoạn.

Sơ đồ chung của quá trình chuyển đổi năng lượng cơ điện bằng hiệu ứng áp điện được minh họa trong Hình 1. Năng lượng đầu vào có thể ở các dạng khác nhau, chẳng hạn như các rung động hay va chạm với dải tần số khác nhau. Phần năng lượng cơ này được truyền tới vật liệu áp điện là một phần tử quan trọng của thiết bị này thông qua một cấu trúc cơ học. Nó hoạt động như một bộ lọc thông dải (ở trạng thái hoạt động dừng) và thậm chí còn coi là bể tích trữ cơ năng trung gian (ở kiểu vận hành xung). Các rung động của vật liệu áp điện bị biến dạng có thể chuyển từ cơ năng thành điện năng nghĩa là một điện tích biến đổi được tạo ra trên các điện cực áp điện nhờ hiệu ứng áp điện nghịch.



Hình 1. Sơ đồ chuyển đổi năng lượng của thiết bị thu năng lượng áp điện

Điện áp và dòng điện áp điện xoay chiều (AC) thu được không thích hợp cho các thiết bị tích trữ năng lượng cũng như các thiết bị điện và điện tử. Những thiết bị này thực tế đòi hỏi dòng một chiều (DC). Do vậy trong hệ chuyển đổi năng lượng này cần phải có thêm một phần tử khác gọi là “giao tiếp điện” chức năng chính của nó là chuyển năng lượng điện xoay chiều thành một chiều. Hơn nữa phần tử giao tiếp điện này phải đảm bảo chức năng ổn định điện áp thu được và quan trọng nhất là tối ưu hóa hoàn toàn cũng như cải thiện năng lượng cơ điện.

3. Cấu trúc chuyển đổi năng lượng cơ điện

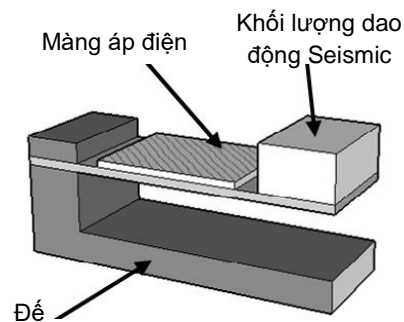
Nhiều cấu trúc cơ học liên quan tới các vật liệu áp điện khác nhau đã được khảo sát cho việc thu hoạch năng lượng. Cấu trúc phổ biến nhất là cấu trúc thanh rung áp điện được giới thiệu trong Hình 2.

Cấu tạo thanh rung áp điện dùng trong chuyển đổi năng lượng bao gồm phần chuyển đổi (màng áp điện) và phần dao động (thanh dung để Silic với khối lượng dao động Seismic được gắn ở đầu của thanh rung).

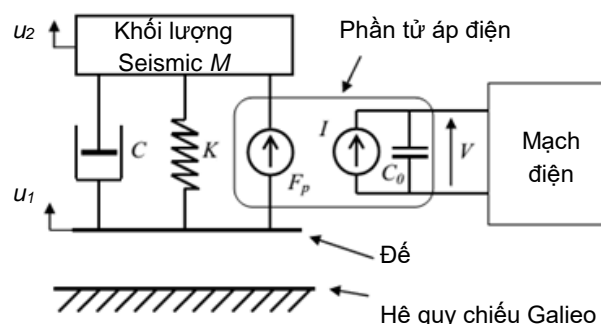
Các cấu trúc này được kích thích cơ học bằng các dao động xung quanh để tạo ra chuyển động cơ bản. Các lực xuất hiện do ảnh hưởng của quán tính và độ cứng của cấu trúc sẽ gây ra các dao động nén hay dãn lên vật liệu áp điện.

Cấu trúc cơ điện trên có thể được mô hình hóa như một dao động liên kết một bậc tự do kết hợp khối lượng, lò xo, bộ giảm rung và phần tử áp điện ở gần tần số cộng hưởng, như được thấy trong Hình 3. Trong đó, khối lượng hiệu dụng M liên kết với một lò xo có độ cứng K được đặt trên một bộ giảm rung với hệ số tắt dần là C và trên một phần tử áp điện được đặc trưng bởi hệ số áp điện hiệu dụng α và điện dung C_0 . Các hệ số này phụ thuộc vào đặc tính vật lý của vật liệu và thiết kế của thiết bị thu năng lượng.

Các phương trình động lực học trong cấu trúc cơ điện được cho bởi phương trình vi phân (1), trong đó độ dịch chuyển cơ hiệu dụng u là độ chênh lệch giữa dịch chuyển khối lượng gây dao động “Seismic” u_2 và độ dịch chuyển của đế máy phát u_1 . Đặc biệt, phương trình này cho thấy tác dụng của lực quán tính lên hệ, nó là tích khối lượng hiệu



Hình 2. Cấu trúc cơ điện của thanh rung áp điện để thu năng lượng



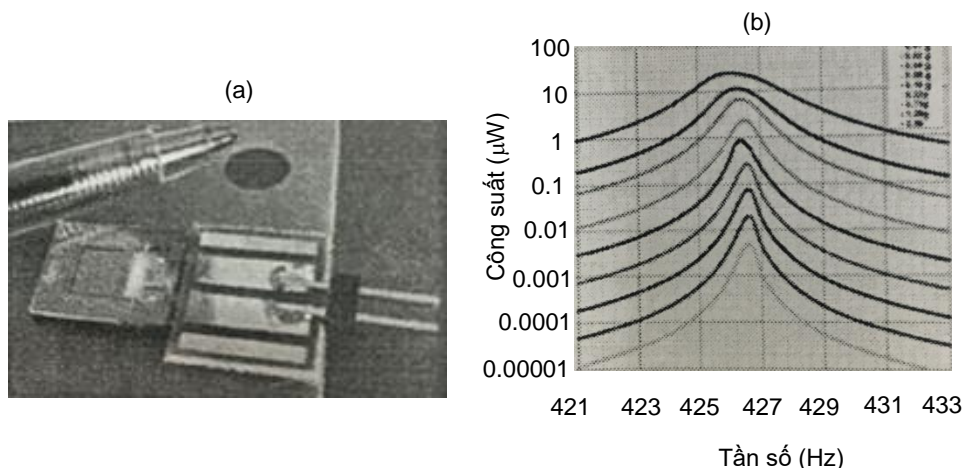
Hình 3. Mô hình một bậc tự do cơ điện

dụng M và gia tốc cơ học của đế u_1'' . Hệ số áp điện hiệu dụng α cho thấy mối quan hệ giữa lực áp điện hiệu dụng F_p và điện áp áp điện V . Hệ số này còn xác định mối liên hệ giữa cường độ dòng điện áp điện bên trong với tốc độ cơ học u' được viết dưới dạng (2).

$$M.u'' + C.M.u' + K.u + F_p = M.u_1'' \quad (1)$$

$$\begin{cases} F_p = \alpha.V \\ I = \alpha.u' \end{cases} \quad (2)$$

Mô hình chi tiết của bộ phận cơ điện là rất thuận tiện cho việc phân tích chuyển đổi năng lượng. Đây là cách đơn giản nhất để xem xét tất cả các tương tác cơ điện.

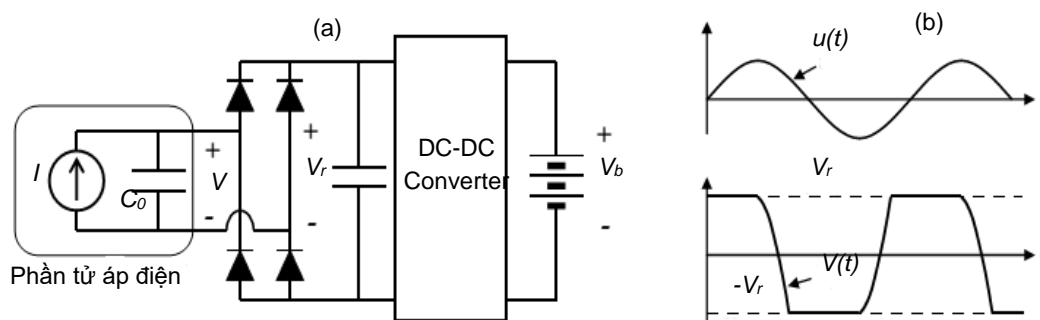


Hình 4. (a) Thanh rung áp điện chuyển đổi năng lượng (cấu tạo như hình 2); (b) Phổ tần số cộng hưởng của thanh rung với khối lượng dao động ($M_{Seismic}$) khác nhau

Hình 4a giới thiệu linh kiện thanh rung áp điện (cấu tạo như Hình 2) với phần chuyển đổi năng lượng (vật liệu áp điện $Pt/PZT/Pt$) là $5mm^2$ và phần khối lượng gây dao động ($M_{Seismic}$) từ $0,01$ đến $2,56$ g. Phổ tần số cộng hưởng trong hình 4b cho thấy khối lượng $M_{Seismic}$ không ảnh hưởng nhiều đến tần số dao động cộng hưởng ($f_r = 456,4$ Hz), tuy nhiên năng lượng được tạo ra tỷ lệ thuận với khối lượng. Với linh kiện này, năng lượng cao nhất thu được là $24,4 \mu W$ với khối lượng $M_{Seismic}$ là $2,56$ g và điện áp đầu ra cực đại đạt được có giá trị bằng $V_{output} = 400mV$ tại tần số dao động cộng hưởng $f = 19,69$ Hz [11].

4. Giao tiếp điện chuẩn AC-DC

Năng lượng điện được tạo ra trong cấu trúc cơ điện của máy thu năng lượng truyền tới mạch điện được minh họa trong Hình 5a. Trường hợp này được ứng dụng để tích điện cho một pin điện hóa. Pin cần điện áp một chiều ổn định V_b trong khi dao động của phần tử áp điện lại tạo ra điện áp xoay chiều như Hình 5b. Do vậy, giao tiếp điện sẽ được kết nối giữa phần tử áp điện và pin phải đảm bảo tính tương thích điện. Điện áp áp điện V trước tiên được chỉnh lưu bằng mạch cầu diốt V_r và sau đó qua bộ điều khiển (DC-DC Converter) để tối ưu hóa năng lượng và ổn định điện áp.



Hình 5. (a) Giao tiếp điện chuẩn. (b) Dạng sóng đặc trưng độ dịch chuyển cơ và điện áp áp điện

5. Kết luận

Các vật liệu áp điện đang thu hút sự quan tâm lớn trong việc chế tạo các thiết bị chuyển đổi năng lượng dùng cho thiết bị điện tử tiêu thụ điện năng thấp và hiệu suất cao từ các rung động xung quanh. Nhờ vào sự giảm năng lượng tiêu thụ trên các thiết bị điện tử đã làm tăng các ứng dụng có thể tạo ra những nguồn vi năng lượng có tuổi thọ vô hạn. Yêu cầu đối với các thiết bị thu hoạch năng lượng (energy harvesters) là có khả năng làm việc ở các tần số dao động thấp (vài trăm đến vài nghìn Hz), các dao động đó thường có ở môi trường xung quanh và trong đời sống hàng ngày. Hơn nữa, thiết bị này cũng cần phải tạo ra một năng lượng đủ lớn để có thể sử dụng cho các thiết bị điện tử như: máy nghe nhạc, điện thoại di động từ năng lượng được lấy từ quá trình vận động của con người (thiết bị chuyển đổi năng lượng được gắn trong đế giày, điện năng sẽ được sinh ra với sự vận động của con người như đi hay chạy).

Tuy đã có một số công bố trình bày về các cơ cấu khác nhau để tạo ra năng lượng điện từ các dao động xung quanh nhờ hiệu ứng áp điện [7-10]. Nhưng chưa lựa chọn được vật liệu áp điện phù hợp và khảo sát được các tương tác cơ điện. Do đó trong bài báo này vật liệu áp điện dạng màng mỏng đa lớp như Pt/PZT/Pt kích thước $2,5 \times 2,0 \text{ mm}^2 = 5 \text{ mm}^2$, bề dày $11 \mu\text{m}$ và khối lượng dao động $M_{\text{Seismic}} = 2,56 \text{ g}$ đã được lựa chọn có độ bền cao, chịu được tác động lớn. Đồng thời đã mô hình hóa được cơ cấu chuyển đổi năng lượng cơ - điện dưới dạng mô hình dao động trong kỹ thuật với các phần tử cơ và điện liên kết với nhau để tối ưu hóa các tương tác cơ điện.

Hiện nay công nghệ vi cơ điện tử (MEMS) cho phép chế tạo hàng loạt các cấu trúc chuyển đổi năng lượng được kết nối với nhau sẽ giúp tăng cường năng lượng thu hoạch được ở cùng một thời điểm và cùng một hoạt động.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Badel, A.; Lefeuvre, E.; Richard, C. and Guyomar, D. *Efficiency enhancement of a piezoelectric energy harvesting device in pulsed operation by synchronous charge inversion*. Journal of Intelligent Materials Systems and Structures, Vol. 16, N°10, pp. 889-901, 2005.
- [2] Erturk, A.; Hoffmann, J. & Inman, D. J. *A piezomagnetoelastic structure for broadband vibration energy harvesting*. Applied Physics Letters, 2009.
- [3] Garbuio, L.; Lallart, M.; Guyomar, D.; Richard, C. & Audigier D. *Mechanical Energy Harvester With Ultralow Threshold Rectification Based on SSHI Nonlinear Technique*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 56, No. 4, pp.1048-1056, 2009.
- [4] Guyomar, D.; Jayet, Y.; Petit, L.; Lefeuvre, E.; Monnier, T.; Richard, C. & Lallart, M. *Synchronized switch harvesting applied to selfpowered smart systems: Piezoactive microgenerators for autonomous wireless transmitters*. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 138, N°1, pp. 151-160, 2007.
- [5] H.S.Kim, J.H.Kim and J.Kim, *A review of piezoelectric energy harvesting based on vibration*. Inter.J.Prec.Eng.Manuf. 12 (2011). Pp. 1129-1141.
- [6] R.A.Steven, and A.S.Henry. *Two-Dimensional Piezoelectric MoS₂-Modulated Nanogenerator and Nanosensor Made of Poly(vinylidene Fluoride) Nanofiber Webs for Self-Powered Electronics and Robotics*. Smart Mater. Struct.16 (2007) R1-R21.
- [7] S. J. Roundy, *Energy scavenging for wireless sensor nodes with a focus on vibration to electricity conversion*, Ph.D. thesis, The University of California, Berkeley, USA, 2003.
- [8] S. Roundy, J. Intell. *On the Effectiveness of Vibration-based Energy Harvesting*. Mater. Syst. Struct. 16, 809, 2005.
- [9] Y. Zhao, Q. Liao, G. Zhang, Z. Zhang, Q. Liang, X. Liao, and Y. Zhang. *High output piezoelectric nanocomposite generators composed of oriented BaTiO₃*. Nano Energy 11, 719, 2015.
- [10] G. Zhang, Q. Liao, M. Ma, Z. Zhang, H. Si, S. Liu, X. Zheng, Y. Ding, and Y. Zhang. *A rationally designed output current measurement procedure and comprehensive understanding of the output characteristics for piezoelectric nanogenerators*. Nano Energy 30, 180, 2016.
- [11] Minh D. Nguyen, Evert Houwman, Matthijn Dekkers, Darrell Schlom, and Guus Rijnders. *Enhancement of figure of merit for energy-harvester based on free-standing epitaxial Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})_{0.99}Nb_{0.01}O₃ thin-film cantilevers*. APL MATERIALS 5, 074201, 2017.

Ngày nhận bài: 08/03/2019
Ngày nhận bản sửa: 05/04/2019
Ngày duyệt đăng: 10/04/2019