

MÔ PHỎNG DAO ĐỘNG MÁY PHÁT ÁP ĐIỆN DẠNG TẤM TRÒN BẰNG PHẦN MỀM ANSYS

SIMULATION OF OSCILLATIONS OF A CIRCULAR PLATE PIEZOELECTRIC GENERATOR USING ANSYS SOFTWARE

Tạ Trung Dũng

Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương

TÓM TẮT

Trong bài báo này, dao động của tấm áp điện sử dụng trong thiết bị chuyển đổi hoặc tích trữ năng lượng được mô phỏng trong phần mềm ANSYS bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Thành phần chính của máy phát áp điện cấu tạo từ hai phần tử chủ động (PZT-4 và CoFe_2O_4) và một phần tử bị động bằng kim loại (Fe). Kết quả nghiên cứu chỉ ra sự phụ thuộc của tần số cộng hưởng vào kích thước các phần tử chủ động.

Từ khóa: Phương pháp phần tử hữu hạn; Phần mềm ANSYS; Dao động; Vật liệu áp điện; Máy phát điện.

ABSTRACT

In this paper, the oscillation of piezoelectric plates used in energy conversion or storage devices is simulated in ANSYS software by finite element method. The main component of a piezoelectric generator consist of two active elements (PZT-4 and CoFe_2O_4) and a metal passive element (Fe). The research results show the dependence of the resonant frequency on the size of the active elements.

Keywords: Finite element method; ANSYS software; Oscillation; Piezoelectric material; Electric generator.

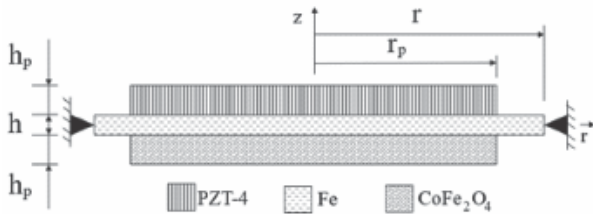
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vật liệu áp điện ngày càng được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực y tế, hàng không, điện tử... do sở hữu khả năng chuyển hóa cơ năng thành điện năng và ngược lại. Với ưu điểm nhỏ gọn và ổn định do không phải sử dụng mô tơ như các động cơ điện nên vật liệu áp điện còn được dùng để thay thế cho các động cơ điện khi hoạt động trong không gian hẹp. Khi sử dụng vật liệu áp điện, điện năng được chuyển hóa từ cơ năng gần như tức thì nên chúng cũng được

sử dụng trong chế tạo các loại cảm biến trên ô tô, máy bay hay các thiết bị đo [1, 4-7].

Mô hình nghiên cứu trong bài báo này là máy phát điện cấu tạo từ hai phần tử chủ động (PZT-4 và CoFe_2O_4) có kích thước bằng nhau và một phần tử bị động (Fe) dạng tấm tròn được cố định bởi liên kết bản lề xung quanh (hình 1). Các bề mặt trên và dưới của tấm áp điện PZT-4 được điện cực hóa, một điện thể được đặt trên một điện cực, điện cực thứ hai tự do hoặc nối với mạch điện bên ngoài, kết nối với một thiết

bị tích trữ năng lượng. Tấm áp từ CoFe_2O_4 được đặt trong một từ trường thay đổi dẫn đến dao động của máy phát áp điện và dòng điện do đó được sinh ra. Dao động của máy phát áp điện được mô phỏng bằng phần mềm ANSYS.



Hình 1. Mô hình máy phát áp điện [7].

Hệ phương trình tổng quát và các biểu thức xác định cho mô hình hệ áp điện – áp từ bao gồm [1]:

$$\nabla \cdot \sigma + \rho f = \rho \ddot{u}, \quad \nabla \cdot D = \sigma_\Omega, \quad \nabla \cdot B = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sigma &= c : \varepsilon - e^T \cdot E - h^T \cdot H \\ D &= e : \varepsilon + \kappa \cdot E + \alpha \cdot H \\ B &= h : \varepsilon + \alpha^T \cdot E + \mu \cdot H \end{aligned} \quad (2)$$

Bảng 1. Hằng số vật liệu PZT-4

C_{11}^E , GPa	C_{12}^E , GPa	C_{13}^E , GPa	C_{33}^E , GPa	C_{44}^E , GPa	e_{31} , C/m ²	e_{33} , C/m ²	e_{15} , C/m ²	k_{11} / ε_0	k_{33} / ε_0
139	77,8	74,3	115	25,6	-5,2	15,1	12,7	730	635

$\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$, khối lượng riêng PZT-4: $\rho = 7500 \text{ kg/m}^3$.

Bảng 2. Hằng số vật liệu CoFe_2O_4

C_{11}^M , GPa	C_{12}^M , GPa	C_{13}^M , GPa	C_{33}^M , GPa	C_{44}^M , GPa	Q_{31} , N/A m	Q_{33} , N/A m	Q_{15} , N/A m	λ_{11} , N s ² /C ²	λ_{33} , N s ² /C ²
286	173	170	269,5	45,3	580,3	699,7	550	$5,9 \times 10^{-4}$	$1,57 \times 10^{-4}$

Khối lượng riêng CoFe_2O_4 : $\rho = 5290 \text{ kg/m}^3$.

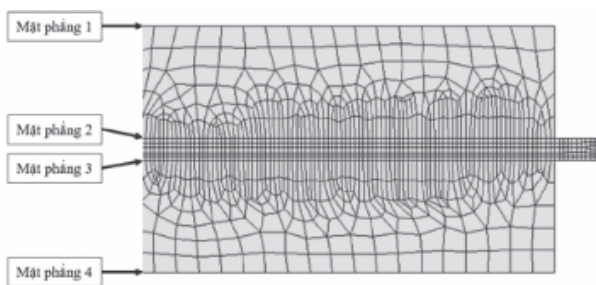
$$\varepsilon = \frac{1}{2} (\nabla u + (\nabla u)^T), \quad E = -\nabla \varphi, \quad H = -\nabla \phi, \quad (3)$$

Trong đó: σ và ε - tensor ứng suất và biến dạng, D và E - véc tơ cảm ứng điện và cường độ điện trường, B và H - véc tơ cảm ứng từ và cường độ từ trường, ρ - khối lượng riêng, c - tensor hệ số đàn hồi, e - tensor hệ số áp điện, h - tensor hệ số áp từ, κ - tensor độ điện thẩm, α - tensor hằng số điện từ, μ - tensor độ từ thẩm, f - véc tơ mật độ lực khối, σ_Ω - mật độ điện tích, u - véc tơ chuyển vị, φ và ϕ - điện thế và từ thế.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Các hằng số của vật liệu áp điện PZT-4 và vật liệu áp từ CoFe_2O_4 được trình bày trong bảng 1 và 2 [3, 4].

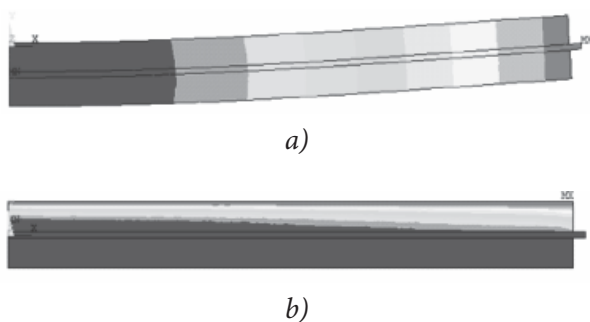
Trong phần mềm ANSYS, tấm kim loại (Fe) được mô hình hóa bởi phần tử PLANE42, tấm áp điện và áp từ được mô hình hóa bởi phần tử PLANE13. Để đạt độ chính xác cần thiết, kích thước phần tử hữu hạn của tấm kim loại được thiết lập nhỏ hơn 1/5 chiều dày của tấm. Kích thước phần tử hữu hạn của tấm áp điện và áp từ được thiết lập theo chế độ tự động chia lưới. Lưới phần tử hữu hạn được mô tả ở hình 2.



Hình 2. Lưới phần tử hữu hạn.

Để tính toán tần số cộng hưởng của thiết bị, điện thế được thiết lập trên mặt phẳng 1 và 2, từ thế được thiết lập trên mặt phẳng 3, một từ thông đều từ dưới hướng thẳng đứng lên trên xuyên qua mặt phẳng 4.

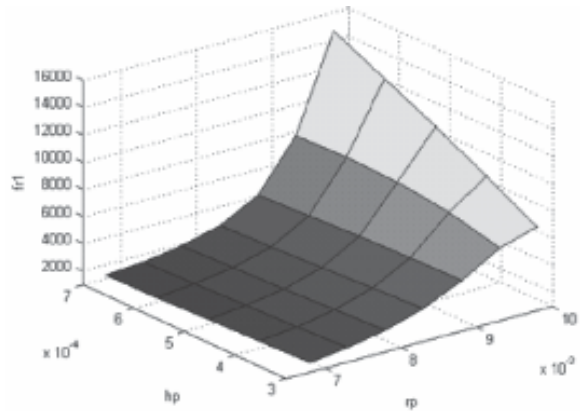
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



Hình 3. a) Chuyển vị theo phương z, b) Phân bố điện thế và từ thế.

Xét dao động riêng của hệ khi kích thước của các tấm như sau: $r_p = 9,8$ mm, $h_p = 0,5$ mm, $r = 10$ mm, $h = 0,1$ mm. Hình 3 mô tả

chuyển vị theo phương thẳng đứng (hình 3a) và phân bố điện thế, từ thế (hình 3b) của cơ cấu tại tần số phản cộng hưởng thứ nhất $f_a = 11675$ kHz.



Hình 4. Tần số cộng hưởng.

Hình 4 thể hiện sự phụ thuộc của tần số cộng hưởng f_r của máy phát áp điện vào bán kính r_p và độ dày h_p khi r_p thay đổi trong khoảng 6,8 đến 9,8 mm, h_p thay đổi trong khoảng 0,3 đến 0,7 mm. Trong khoảng xem xét, tần số cộng hưởng f_r đạt giá trị lớn nhất khi r_p và h_p lớn nhất.

4. KẾT LUẬN

Dao động của máy phát áp điện được mô phỏng khi sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn trong phần mềm ANSYS. Kết quả mô phỏng đã chỉ ra trạng thái ứng suất biến dạng và phân bố điện thế, từ thế của cơ cấu trong dải tần số thấp. Ngoài ra, nghiên cứu còn làm rõ ảnh hưởng của kích thước các phần tử chủ động đến tần số cộng hưởng của kết cấu. Từ đó, kết quả nghiên cứu có thể làm cơ sở cho việc đặt các giả thuyết khi giải bài toán bằng phương pháp giải tích. ❖

Ngày nhận bài: 06/5/2022

Ngày phản biện: 16/5/2022



Tài liệu tham khảo:

- [1]. Kurbatova N.V. Finite element approach for composite magneto-piezoelectric materials modeling in ACELAN-COMPOS package / Kurbatova N.V., Nadolin D.K., Nasedkin A.V., Oganessian P.A., Soloviev A.N. // Analysis and Modelling of Advanced Structures and Smart Systems. 2018. Vol. 81. Springer, P. 69-88.
- [2]. Jin-Yeon Kim. Micromechanical analysis of effective properties of magneto-electro-thermo-elastic multilayer composites / Jin-Yeon Kim // International Journal of Engineering Science. 2011. Vol. 49, P. 1001–1018.
- [3]. Challagulla K.S. Micromechanical analysis of magneto-electro-thermo-elastic composite materials with applications to multilayered structures / Challagulla K.S., Georgiades A.V. // International Journal of Engineering Science. 2011. Vol. 49, P. 85–104.
- [4]. Mo, C., Radziemski, L. J., & Clark, W. W. (2010). Analysis of piezoelectric circular diaphragm energy harvesters for use in a pressure fluctuating system. Smart Materials and Structures, 19(2), 025016.
- [5]. Kim, S., Clark, W. W., & Wang, Q. M. (2005). Piezoelectric energy harvesting with a clamped circular plate: analysis. Journal of intelligent material systems and structures, 16(10), 847-854.
- [6]. Ramsay, M. J., & Clark, W. W. (2001, June). Piezoelectric energy harvesting for bio-MEMS applications. In Smart Structures and Materials 2001: Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies (Vol. 4332, pp. 429-438). SPIE.
- [7]. Solovyev, A. N., & Duong, L. V. (2016). Optimization for the harvesting structure of the piezoelectric bimorph energy harvesters circular plate by reduced order finite element analysis. International Journal of Applied Mechanics, 8(03), 1650029.