

NGHIÊN CỨU TÍNH CHẤT VẬT LÝ CỦA HỆ VẬT LIỆU PZT-PMN-PSN VÀ ỨNG DỤNG CHẾ TẠO BIẾN THỂ ÁP ĐIỆN DẠNG ĐĨA

*Nguyễn Đình Tùng Luận - Đoàn Nam Hữu**

TÓM TẮT

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày kết quả nghiên cứu cấu trúc, vi cấu trúc, tính chất áp điện hệ vật liệu PZT – PMN – PSN và sử dụng hệ vật liệu này để chế tạo biến thể áp điện dạng đĩa. Sự phụ thuộc của các tính chất biến thể áp điện vào tỉ số diện tích của điện cực vào/ra đã được khảo sát. Biến thể áp điện có bán kính 22mm và chiều dày 1.9mm có tỉ số diện tích điện cực vào/ra là 2.6 có công suất lớn nhất, 14W. Khi có trở tải, hiệu suất cực đại của biến thể xấp xỉ 95% và khuếch đại điện áp cực đại là 7.5. Biến thể có thể ứng dụng cho các thiết bị chấn lưu áp điện và các mạch cung cấp nguồn cho các mạch điện tử khác.

1. Mở đầu

Hệ vật liệu áp điện nhiều thành phần trên cơ sở Pb (Zr,Ti)O₃ là một trong những hệ vật liệu áp điện được ứng dụng rộng rãi nhất hiện nay. Nhờ các tính chất điện môi, hỏa điện, áp điện, điện quang vượt trội mà chúng đã được ứng dụng để chế tạo các tụ năng lượng cao, các bộ nhớ không thể (FRAM), cảm biến siêu âm, đầu thu hồng ngoại, thiết bị điện quang và các biến thể áp điện hạ áp cho các bộ chuyển đổi AC – DC.

Biến thể áp điện (piezoelectric transformer (PT)) là thiết bị được sử dụng để biến đổi điện áp hoặc dòng xoay chiều thông qua hiệu ứng dao động áp điện thuận - nghịch [1]. So với biến thể điện từ, PT có nhiều đặc tính thuận lợi sau: (a) có công suất lớn và thích hợp với khuynh hướng cực tiểu hóa thiết bị điện; (b) hoạt động dựa vào hiệu ứng dao động áp điện thay vì trường điện từ nên tránh được tổn hao điện từ; (c) không thể cháy do không sử dụng dây điện; và (d) có thể làm việc ở tần số cao. Mặc dù đã thay đổi khá nhiều về cấu trúc, vật liệu nhưng biến thể áp điện vẫn gặp phải một số trở ngại. Thứ nhất, các phần sơ cấp và thứ cấp của biến thể áp điện được phân cực theo các phương khác nhau đòi hỏi quá trình phân cực đặc biệt để phân cực một cách riêng lẻ các phần [2], trong quá trình này ứng suất nội sẽ hình thành và tập trung tại phần ranh giới giữa vùng được các phân cực theo chiều dọc và chiều ngang làm phá vỡ nội tại của biến thể cũng như làm hư hỏng biến thể trong quá trình hoạt động. Thứ hai, các biến thể thông thường có công suất ra không đủ lớn và đặc tính trở kháng khá cao nên không đạt yêu cầu trong việc ứng dụng cho các chấn lưu đèn chiếu sáng.

Trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu một loại biến thể áp điện có cấu trúc đơn giản, được chế tạo từ một loại vật liệu bán cứng PZT – PMN - PSN với hệ số liên kết điện cơ và độ phẩm chất cơ lớn, có thể giải quyết được những khó khăn mà các loại biến thể áp điện trước đó gặp phải. Loại biến thể này bao gồm hai phân điện cực vào và ra được phân cực theo cùng phương đã cải thiện được đáng kể công suất cơ cũng như khả năng hoạt động của biến thể. Chúng tôi tập trung nghiên cứu sự phụ thuộc của

khuếch đại điện áp, công suất ra và hiệu suất của biến thế áp điện vào tỉ số diện tích các điện cực vào/ra và độ rộng vùng phân cách hai điện cực.

2. Thực nghiệm và thảo luận

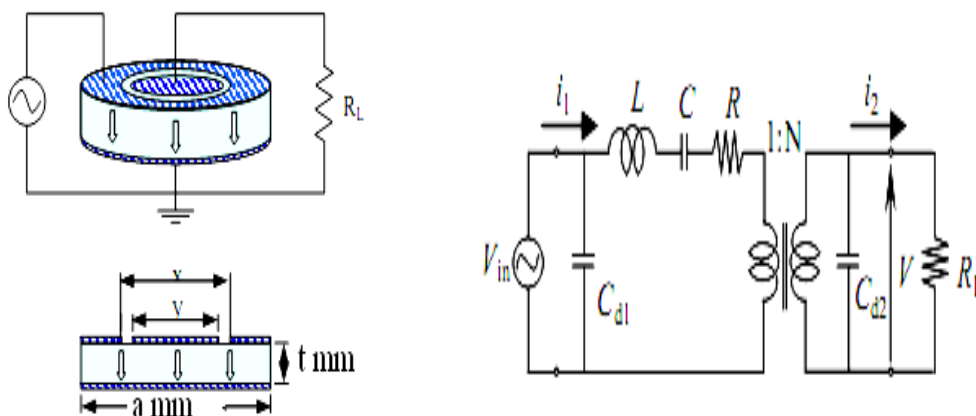
2.1. Cấu trúc và nguyên tắc hoạt động của biến thế dạng đĩa

Hình 1 minh họa mô hình biến thế áp điện hoạt động theo kiểu dao động theo bán kính cơ bản. Các phần sơ cấp và thứ cấp đều được phân cực theo phương chiều dày. Bản biến thế có dạng đĩa đường kính 22mm, dày 1.9mm. Các điện cực vào và ra được thiết kế trên cùng một mặt của bản gốm áp điện, trong đó điện cực vào là phần vành tròn bên ngoài và điện cực ra là phần vòng tròn bên trong được phân chia bởi một vành tròn cách điện (không có điện cực dẫn). Mặt dưới của bản gốm áp điện được phủ điện cực toàn bộ và là điện cực chung của các phần sơ cấp và thứ cấp.

Khi cung cấp một nguồn điện AC trên hai bản điện cực vào cho phần sơ cấp (vành tròn ngoài), bản áp điện sẽ hình thành một dao động theo bán kính và được chuyển tải một cách đồng thời sang phần thứ cấp (vòng tròn trong) và biến đổi thành điện áp trên hai bản cực ra. Nếu tần số của điện áp điều khiển được điều chỉnh bằng với tần số dao động cơ cộng hưởng của bản gốm áp điện sẽ làm hình thành một điện áp rất lớn do vận tốc dao động được tăng cường bởi hệ số phẩm chất cơ Q_m lớn ở tần số cộng hưởng.

Một vấn đề rất quan trọng cần quan tâm trong quá trình thiết kế các biến thế đó là hệ số khuếch đại điện áp thu được phải phù hợp trong cả trạng thái kích thích và trạng thái tĩnh của đèn huỳnh quang. Trong khi đó, tỉ số này lại được điều khiển bằng cách thay đổi tỉ số diện tích điện cực vào/ra.

Để phân tích một biến thế áp điện, chúng ta cần phải sử dụng mạch tương đương Mason [3]. Hình 2 biểu diễn các đại lượng đặc trưng của mạch tương đương với trở tải R_L . C_{d1} và C_{d2} lần lượt là các tụ cản của phần tử sơ cấp và thứ cấp. C , L và R lần lượt là độ mềm tương đương, khối lượng tương đương và trở kháng cơ học tương đương của phần sơ cấp. N là hệ số khuếch đại của biến thế áp điện.



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc biến thế áp điện dạng đĩa được phân cực dọc theo chiều dày và Mạch tương đương Mason của biến thế áp điện

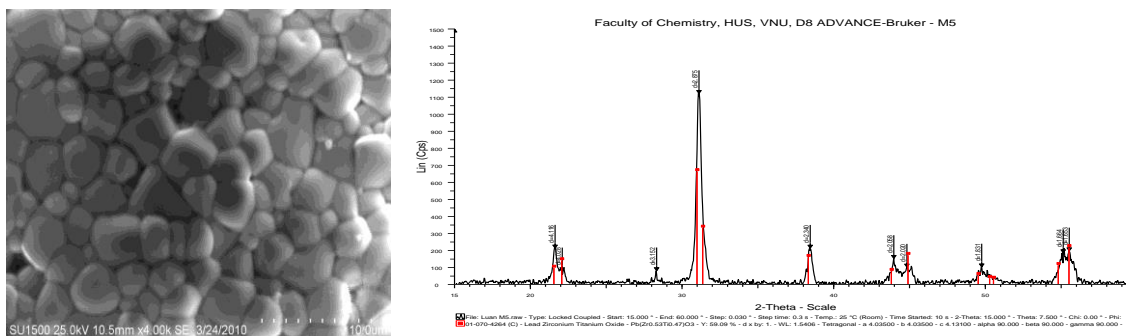
2.2. Chế tạo và nghiên cứu các tính chất vật lý của vật liệu PZT – PMN – PSN

2.2.1. Chế tạo mẫu vật liệu

Hệ vật liệu PZT - PMN - PSN được tổng hợp bằng phương pháp Columbite [1]. Các bột oxit phối liệu gồm PbO, ZrO₂, TiO₂, MnCO₃, Sb₂O₃ và Nb₂O₅ có độ tinh khiết đến 99% đã được sử dụng để chế tạo mẫu. Bột PZT – PMN – PSN tổng hợp xong được ép thành các mẫu dạng đĩa dưới áp lực 150MPa. Các mẫu được nung thiêu kết ở nhiệt độ 1200⁰C trong 2 giờ với sự có mặt của bột phủ PbZrO₃ để tạo ra môi trường bão hòa PbO nhằm tránh sự bay hơi PbO từ mẫu. Bản gốm áp điện có đường kính 22mm và chiều dày được phủ điện cực Ag và ủ ở nhiệt độ 550⁰C trong 15 phút và sau đó được phân cực dưới điện trường DC 40kV/cm trong 20 phút trong dầu silicon ở nhiệt độ 140⁰C.

Các mẫu thiêu kết được phân tích nhiễu xạ tia X (XRD, D8 ADVANCE-Bruker)) sử dụng bức xạ CuK α với bước đo 0.01⁰. Các thông số áp điện gồm hệ số liên kết điện cơ (k_p), hệ số phẩm chất cơ (Q_m) và hệ số áp điện (d_{31}) được xác định từ phổ cộng hưởng được đo bằng máy phân tích trở kháng tự động (Agilent 4396B). Đường đặc trưng chuyển pha mô tả sự thay đổi của hằng số điện môi theo nhiệt độ được đo bằng thiết bị RLC Hioki 3532B kết nối máy tính tại tần số 1kHz.

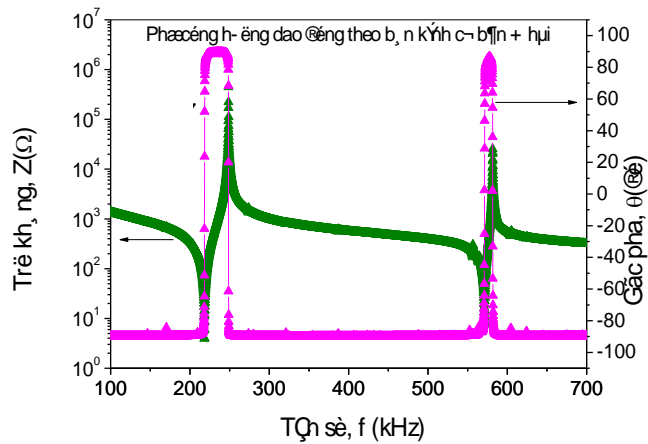
2.2.2. Cấu trúc và vi cấu trúc của vật liệu



Hình 2. (a) Ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) và (b) giản đồ nhiễu xạ tia X của hệ vật liệu PZT – PMN - PSN

Ảnh hiển vi điện tử quét cho thấy vật liệu có độ đồng đều và độ sít chặt rất cao, biên hạt khá sạch (hình 2a), cỡ hạt vào khoảng 2,67 μ m. Tỷ trọng của mẫu được đo theo phương pháp Ac-si-mét và có giá trị 7,73g/cm³ đạt 98,7% tỷ trọng lý thuyết. Giản đồ nhiễu xạ tia X chứng tỏ vật liệu được chế tạo có cấu trúc thuần perovskit, không có mặt của pha lạ (hình 2b).

2.2.3 Tính chất áp điện của vật liệu



Hình 3. Phổ cộng hưởng áp điện theo bán kính của hệ vật liệu PZT-PMN-PSN

Từ phổ cộng hưởng áp điện như trên, có thể tính toán các thông số vật liệu và kết quả được cho trong bảng 1 dưới đây. Kết quả các thông số vật liệu thu được cho thấy hệ vật liệu rất phù hợp với việc chế tạo biến tử áp điện, ứng dụng trong chân lưu điện tử đèn huỳnh quang.

Bảng 1. Các thông số vật liệu chế tạo biến thế áp điện

$\rho(\text{g/cm}^3)$	Q_m	$\varepsilon_{33}^T / \varepsilon_0$ ở 1kHz	$\tan\delta$ ở 1kHz	k_p	k_{31}	d_{31} ($\times 10^{-12} \text{m/V}$)	σ	s_{11}^E ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{N}$)
7.73	2860	1320	0.002	0.59	0.41	- 192	0.32	13.22

2.3. Chế tạo biến thế áp điện

2.3.1. Cấu trúc biến thế áp điện



Hình 4. Mẫu biến thế áp điện

Bảng 2 trình bày các thông số kích thước của năm mẫu biến thế áp điện được nghiên cứu trong bài báo này.

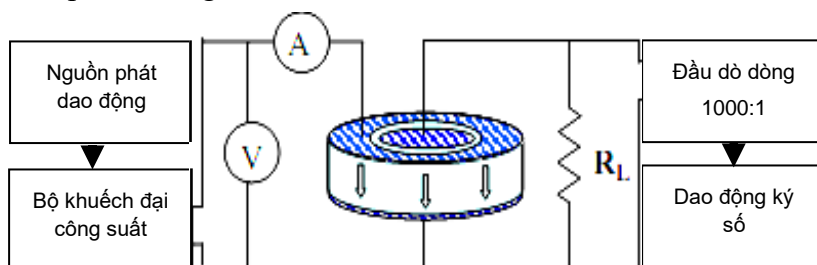
Bảng 2. Kích thước các biến thế áp điện và ký hiệu

Mẫu	x(mm)	y(mm)	Tỉ số diện tích vào/ra	t(mm)
SM1	11	8	5.67	1.9
SM2	13	9	3.89	1.9
SM3	15	10	2.60	1.9
SM4	17	11	1.61	1.9
SM5	17	12	1.35	1.9

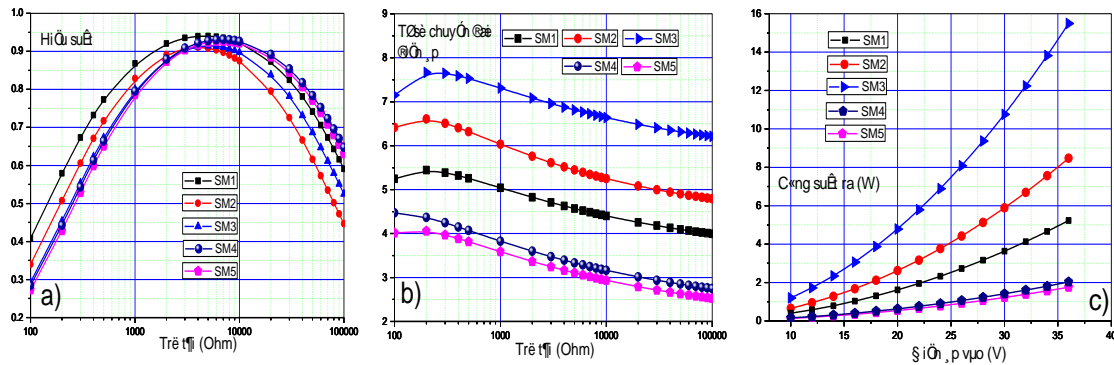
2.3.2. Xác định điện áp, công suất và hiệu suất của biến thế áp điện

Các bước thực nghiệm xác định điện áp đầu vào/ra, công suất đầu ra và hiệu suất của biến thế áp điện được minh họa trong hình 5. Hệ thống gồm một nguồn phát tín hiệu AC và một bộ khuếch đại cao tần để điều khiển công suất cung cấp cho biến thế. Điện áp đầu vào/ra và công suất đầu ra được đo bằng cách sử dụng hai dao động ký số.

Hình 5a biểu diễn sự phụ thuộc của hiệu suất chuyển đổi áp điện của các mẫu biến thế áp điện vào trở tải. Hiệu suất cực đại của các biến thế áp điện xấp xỉ 95% khi trở tải nằm trong khoảng từ 2.7k Ω đến 6.3k Ω . Hiệu suất cực đại này thu được khi trở kháng ra của biến thế áp điện bằng với trở tải.

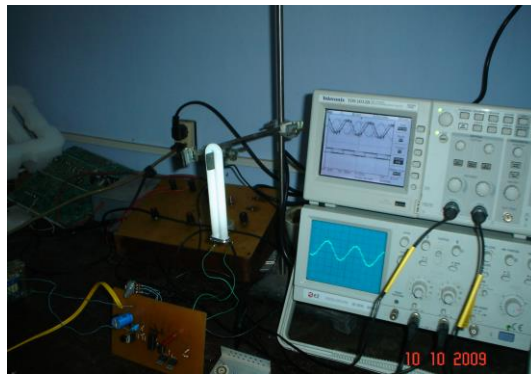
**Hình 5.** Sơ đồ hệ thống đo các thông số mạch tương đương của biến thế áp điện

Hình 5b mô tả sự thay đổi của hệ số khuếch đại điện áp theo trở tải. Từ hình vẽ có thể nhận thấy rằng, hệ số khuếch đại điện áp của mẫu biến thế áp điện SM3 ứng với các trở tải khác nhau là lớn nhất. Giá trị của hệ số này có thể đạt đến gần 8 lần trong khoảng giá trị trở tải từ 100 Ω đến 4k Ω . Hình 5c cho thấy công suất đầu ra của biến thế áp điện là một hàm của điện áp vào tại giá trị trở tải tối ưu. Công suất đầu ra là một trong những thông số quan trọng nhất của biến thế áp điện. Theo định luật Ohm, ở một trở tải không đổi, công suất đầu ra tỉ lệ với bình phương điện áp vào. Từ hình vẽ, công suất đầu ra của mẫu SM3, có tỉ số diện tích điện cực vào/ra là 2.6, gia tăng nhanh nhất theo điện áp vào so với các mẫu biến thế áp điện còn lại. Công suất đầu ra thu được của biến thế áp điện này là 14W khi điện áp đầu vào đạt 35V.



Hình 6. Sự phụ thuộc của hiệu suất (a), hệ số khuếch đại điện áp (b) vào trở tải và sự thay đổi công suất ra (c) theo điện áp vào của các mẫu biến thế áp điện

Trong ứng dụng chiếu sáng, chúng tôi đã thành công trong việc thử nghiệm chế tạo biến thế áp điện để điều khiển đèn huỳnh quang 14W. Hình 6 là sơ đồ biểu diễn thí nghiệm chiếu sáng cho đèn huỳnh quang. Với cấu trúc đơn giản, loại biến thế áp điện này có thể dễ dàng được sản xuất với số lượng lớn mà ít tốn kém.



Hình 7. Hệ thống thiết bị thực nghiệm kích hoạt biến thế áp điện để điều khiển đèn huỳnh quang 14W

3. Kết luận

Chúng tôi đã nghiên cứu và chế tạo thành công biến thế áp điện dạng đĩa từ hệ vật liệu áp điện PZT – PMN – PSN. Biến thế áp điện được phân cực theo một phương, có đường kính 22mm, chiều dày 1.9mm và có tỉ số diện tích 2.6 cho ứng dụng điều khiển đèn huỳnh quang thông thường. Các thông số quan trọng là hệ số khuếch đại điện áp, hiệu suất của các mẫu biến thế áp điện đã được khảo sát kỹ lưỡng theo trở tải. Hệ số khuếch đại điện áp lớn nhất ứng với mẫu có tỉ số diện tích điện cực vào/ra là 2.6, xấp xỉ 7.5, và hiệu suất cực đại của các mẫu khi trở tải bằng trở kháng ra của biến thế khoảng 89% đến 95%. Bên cạnh đó, sự phụ thuộc của công suất đầu ra vào điện áp vào cũng đã được nghiên cứu. Kết quả là đối với mẫu SM3, công suất ra gia tăng nhanh nhất theo điện áp vào và đạt công suất 14.3W khi điện áp vào 35V. Loại biến thế áp điện với các đặc tính trên hoàn toàn phù hợp với ứng dụng trong chấn lưu đèn huỳnh quang.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K.Kanayama, N.Maruko, H.Saigoh. Jpn. J. Appl. Phys. 37 (1998), pp. 2891-2893.
- [2] H. W. Katz, "Solid State Magnetic and Dielectric Devices," New York, NY: Willey, 1959, pp. 35-197.
- [3] J. L. Du, J. H. Hu, K. J. Tseng, C. S. Kai, and G. C. Siong, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control 53 (2006), pp. 572 - 579.

STUDY OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE PZT – PMN – PSN MATERIAL AND APPLICATION TO FABRICATE THE DISK-SHAPED PIEZOELECTRIC TRANSFORMER

Nguyen Dinh Tung Luan, Doan Nam Huu

Hue Industrial College

ABSTRACT

In this paper, we show the results of study of structure, microstructure, piezoelectric properties of the PZT – PMN – PSN ceramic and fabricate a disk-shaped piezoelectric transformer based on PZT – PMN - PSN ceramic. The dependence of piezoelectric properties on the ratio of input and output area electrodes were investigated. The transformer with diameter of 22 mm and thickness of 1.9 mm having the ratio of input and output area electrodes was 2.6 had maximum output power of 14W. With the matching load, its maximum efficiency was $\approx 95\%$, and maximum voltage gains was 7.5. It has potential to be used in piezoelectric ballast and power supply units in other electronic circuits.

* TS.Nguyễn Đình Tùng Luận, ThS.Đoàn Nam Hữu - Trường Cao đẳng Công nghiệp Huế.