

CHẾ TẠO VÀ THỬ NGHIỆM ĐẶC TÍNH CẢM BIẾN DAO ĐỘNG DÙNG VẬT LIỆU ÁP ĐIỆN CỦA VIỆT NAM SẢN XUẤT

Ngô Kiều Nhi

Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 22 tháng 3 năm 2004)

TÓM TẮT: Bài báo giới thiệu các kết quả thử nghiệm trên cảm biến đo dao động sử dụng vật liệu gốm sứ áp điện của Việt Nam sản xuất. Bài báo đưa ra các mối quan hệ giữa biên độ và tần số, biên độ của tín hiệu đo và tín hiệu ghi nhận, và mức độ méo sai lệch giữa chúng.

I - Mở đầu

Đo dao động có nhu cầu rất lớn trong nghiên cứu, sản xuất và đào tạo. Khi nhịp độ sản xuất, giao thông tăng thì các hư hỏng của máy móc, công trình, nhà cửa càng nhiều bởi hiện tượng dao động. Đo dao động là khâu tiên quyết để giải đáp hai vấn đề lớn của kỹ thuật:

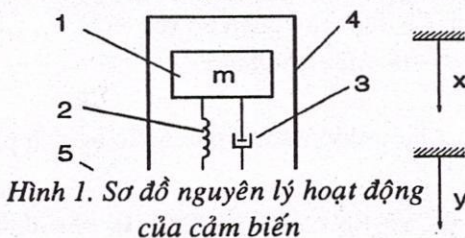
- Kiểm tra mức dao động trong các trường hợp:
 - + Chế tạo thiết bị mà nguyên lý làm việc dựa trên cơ sở hiện tượng dao động, khi này cần phải tạo dao động có mức yêu cầu.
 - + Cần khống chế mức dao động không được vượt quá mức cho phép.
- Chẩn đoán nguyên nhân dao động: Hiện tượng dao động đưa đến hai nguyên nhân làm hư hỏng máy và công trình đó là hiện tượng mỏi và hiện tượng cộng hưởng. Các sự cố hư hỏng do dao động thường gây ra thiệt hại rất lớn về tài sản và con người.

Để đảm bảo nhu cầu dạy học, nghiên cứu khoa học phục vụ an toàn sản xuất, an toàn đời sống của người lao động và nhân dân đối với hiện tượng dao động thì cần thiết phải có số lượng lớn thiết bị đo dao động. Tuy nhiên cho đến nay hầu hết thiết bị đo dao động phải nhập và giá nhập cao. Nhằm góp phần khắc phục khó khăn này, phòng thí nghiệm Cơ học Ứng dụng trường Đại học Bách Khoa Tp.HCM (PTN CHUD) trên 10 năm nay đã tìm cách nghiên cứu chế tạo cảm biến (transducer) dao động. Bài báo này trình bày các kết quả thu được từ thực nghiệm nhằm đánh giá sơ bộ khả năng sử dụng vật liệu gốm sứ áp điện làm phần tử nhạy (sensor) cho cảm biến dao động cơ học.

II - Lý thuyết chung

2.1 - Nguyên lý hoạt động của cảm biến dao động

Mô hình hoạt động của cảm biến dao động như trên hình 1



Trong đó:

1. Vật thể có khối lượng m
2. Lò xo có độ cứng k
3. Bộ giảm chấn có hệ số lực cản c
4. Vỏ của cảm biến
5. Nền

Khi vỏ được gắn chặt với nền dao động thì khối lượng 1 sẽ chuyển động. Ký hiệu x, y là tọa độ biểu thị chuyển động tuyệt đối lần lượt của 1 và 5 đối với hệ qui chiếu cố định. Ký hiệu z là tọa độ trong chuyển động tương đối của 1 so với 5:

$$z = x - y \quad (1)$$

Phương trình chuyển động tương đối của 1 so với 5 như sau [1]:

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = -m\ddot{y} \quad (2)$$

Nếu $y(t)$ là hàm điều hòa:

$$y(t) = Y \sin pt \tag{3}$$

thì phương trình (2) viết lại được ở dạng:

$$m \ddot{z} + c \dot{z} + kz = m Y p^2 \sin pt \tag{4}$$

Nghiệm cưỡng bức của (4) được tìm ở dạng:

$$z = Z \sin(pt - \phi) \tag{5}$$

Trong đó Z là biên độ, ϕ là góc lệch pha của $z(t)$ so với $y(t)$.

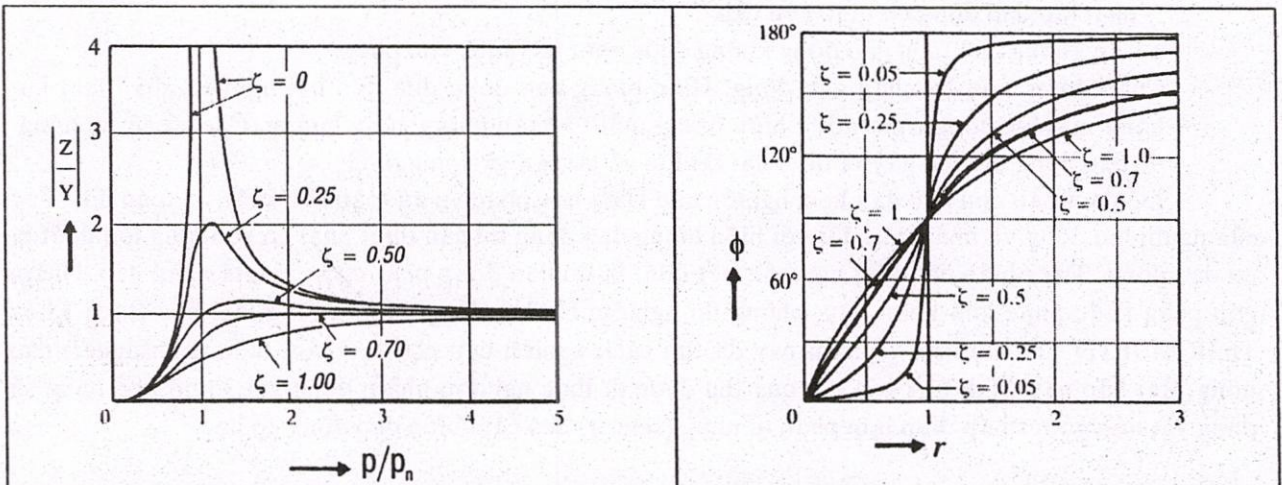
Biểu thức tính Z và Y như sau [1]:

$$Z = \frac{r^2 Y}{\left[(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2 \right]^{1/2}} \tag{6}$$

$$\phi = \arctg\left(\frac{2\zeta r}{1-r^2} \right) \tag{7}$$

$$\text{với: } r = \frac{p}{p_n}; \zeta = \frac{c}{2mp_n}; p_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{8}$$

Quan hệ của Z và Y theo r và ζ cho trên hình 2.



Hình 2. Đáp ứng của thiết bị đo dao động

Hàm dao động của nền, đại lượng y trong phương trình (3) cần được xác định, sẽ được suy từ đại lượng ghi nhận được của thiết bị, đại lượng z trong phương trình (5), nhờ các quan hệ (6) + (8).

Sau này ta sẽ gọi tín hiệu y là *tín hiệu cần đo* hay *tín hiệu vào*, z - *tín hiệu ghi nhận*.

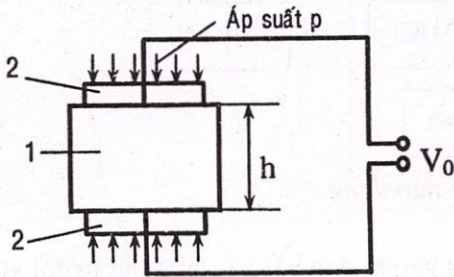
Lưu ý từ (5) + (8) ta có các nhận xét sau:

1. Nếu $c = 0$ thì $\zeta = 0$, khi đó $\phi = 0$ hoặc $\phi = \pi$, tức z biến thiên đồng pha hoặc nghịch pha với y .
2. Từ (7) ta thấy độ lệch pha giữa tín hiệu ghi nhận, $z(t)$, và tín hiệu cần đo, $y(t)$, phụ thuộc không những vào giá trị ζ mà còn phụ thuộc vào giá trị r . Do vậy nên khi tín hiệu cần đo là tổ hợp từ 2 hài trở lên thì để ghi nhận chính xác dạng tín hiệu cần đo cần phải lưu ý đến sự sai pha giữa các hài tương ứng của tín hiệu ghi nhận.

2.2 - Vật liệu áp điện

Vật liệu có khả năng sản ra điện tích khi bị biến dạng dưới tác dụng của lực thì gọi là vật liệu áp điện (piezoelectric material). Một số loại vật liệu tự nhiên và vật liệu nhân tạo có đặc tính này: thạch anh đơn tinh thể *tithium sulfate*, *tourmaline*, gốm sứ *barium titanate* $BaTiO_3$, PZT.....

Sơ đồ thí nghiệm về quan hệ giữa hiệu ứng cơ học và hiệu ứng điện có thể được biểu diễn như trên hình 3. Khi tác dụng lực với áp suất p lên bề mặt vật thể làm từ vật liệu áp điện thì bên trong vật thể sẽ xảy ra hiện tượng phân cực điện. Nếu trên hai bề mặt ta gắn hai tấm kim loại thì tại hai tấm kim loại này sẽ tập trung các điện tích trái dấu nhau giữa 2 tấm.



Hình 3. Sơ đồ hệ thống thử nghiệm hiệu ứng cơ - điện của vật liệu áp điện
1 - Miếng gốm sứ áp điện
2 - Tấm kim loại

Quan hệ giữa điện tích q trên bề mặt với áp suất tác dụng lên bề mặt có thể biểu diễn như sau:

$$q = S_q A p \quad (9)$$

Trong đó: A - Diện tích bề mặt chịu lực

S_q - Hệ số điện tích, hay hằng số áp điện, (piezoelectric constant) của vật liệu áp điện.

Áp ra sinh ra được nhờ sự phân cực, ký hiệu V_0 , có thể được biểu thị như hàm của áp suất p :

$$V_0 = S_v h p \quad (10)$$

Trong đó: h - Bề dày của vật thể áp điện

S_v - Độ nhạy áp (voltage sensitivity)

Nhờ hiệu ứng qua lại giữa hiện tượng cơ với hiện tượng điện mà các vật liệu áp điện có một vị trí quan trọng trong kỹ thuật đo lường, chúng được sử dụng để làm phần tử nhạy (sensor). Điện tích do sự phân cực, thể hiện trong công thức (9), sẽ suy giảm theo thời gian nếu lực tác dụng là tĩnh. Vì vậy vật liệu áp điện được dùng làm phần tử nhạy để đo đại lượng động. Trong số các vật liệu áp điện thì các loại vật liệu nhân tạo ở dạng gốm sứ được chuộng hơn vì các ưu điểm:

- Các tính chất cơ lý ổn định,
- Giá thành rẻ,
- Có thể thay đổi kích thước, hình dạng khi chế tạo theo yêu cầu.

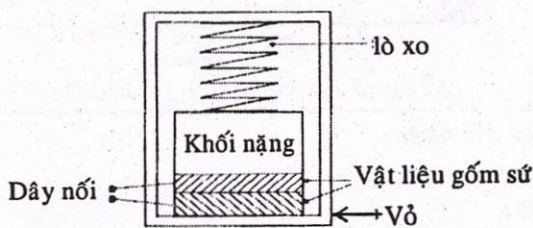
Tại Việt Nam, vật liệu gốm sứ áp điện PZT đã được Viện nghiên cứu điện tử sản xuất với số lượng lớn. Tuy nhiên các hệ số S_q , S_v của chúng rất thấp so với vật liệu áp điện của nước ngoài sản xuất dùng trong thiết bị đo lường hay trong thiết bị điều khiển. Với chất lượng hiện có, chúng tôi tiến hành khảo sát khả năng sử dụng chúng để chế tạo cảm biến đo dao động.

III - Nội dung và kết quả thử nghiệm

3.1 - Hệ thống thử nghiệm

a. Chế tạo cảm biến đo dao động

Sơ đồ nguyên lý cấu tạo cảm biến trong đó sử dụng vật liệu áp điện làm phần tử nhạy cho trên hình 4a. Hình dạng của cảm biến do chúng tôi chế tạo cho trên hình 4b.



a Sơ đồ cấu tạo

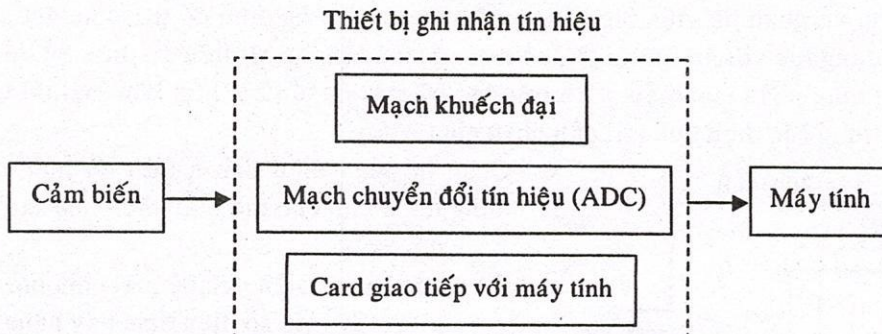


b Cảm biến chế tạo

Hình 4

b. Chế tạo hệ thống đo sử dụng kỹ thuật số:

Cùng với cảm biến, để ghi nhận và thuận tiện trong việc ghi nhận, xử lý số liệu và nghiên cứu sau này, chúng tôi cũng đã chế tạo một thiết bị đo, sơ đồ như trên hình 5.



Hình 5. Sơ đồ cấu tạo thiết bị đo dao động

3.2 - Thử nghiệm

Các bước thử nghiệm gồm thử nghiệm đối với tín hiệu dao động vào là đơn hài và thử nghiệm đối với tín hiệu vào là tổ hợp đa hài.

a. Thử nghiệm đối với tín hiệu đơn hài:

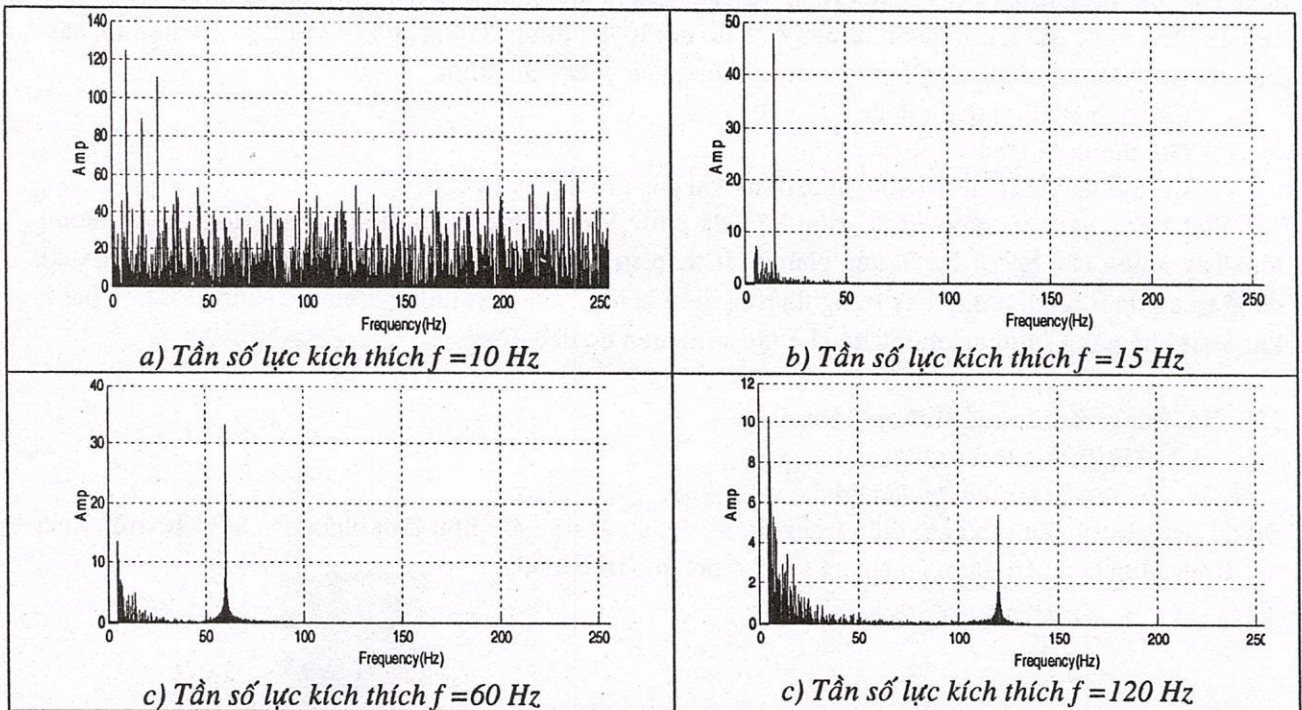
- **Mục tiêu thí nghiệm:**

Xác định miền tần số của tín hiệu vào mà thiết bị đo có khả năng tái hiện khi tín hiệu vào là đơn hài.

- **Kết quả thí nghiệm và các nhận xét:**

1. Quan hệ giữa tín hiệu ghi nhận và tín hiệu vào

Một vài số liệu của tín hiệu ghi nhận và phổ của chúng được phân tích cho trên hình 6.



Hình 6: Phổ của tín hiệu ghi nhận

Ký hiệu:

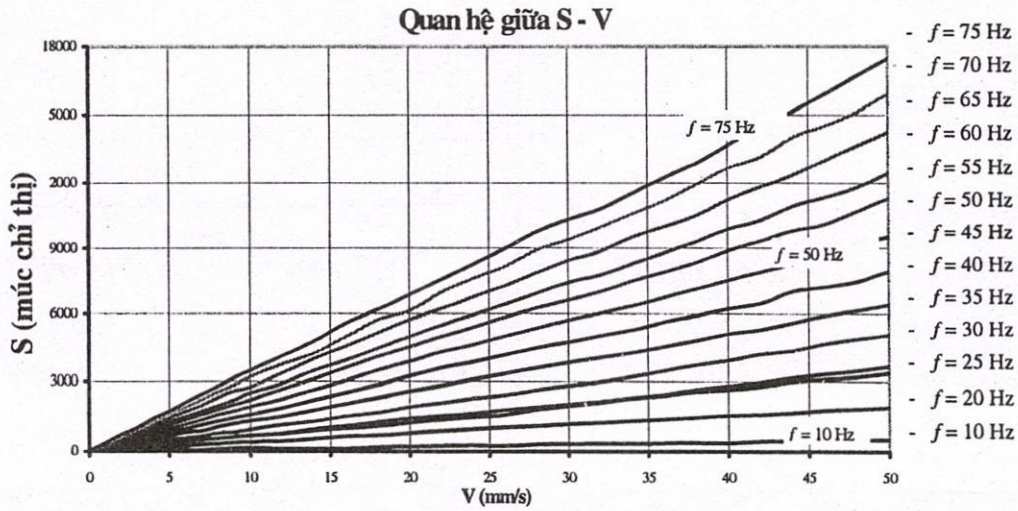
S : Mức chỉ thị biên độ của tín hiệu ghi nhận

V: Biên độ tín hiệu vào thể hiện biên độ vận tốc dao động (mm/s)

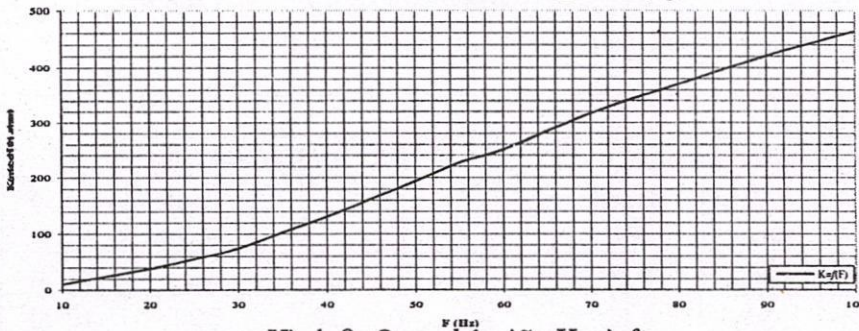
$K = S/V$ [(mức chỉ thị).s/mm]

f: Tần số tín hiệu vào (Hz)

Từ các kết quả thu được, ta vẽ được quan hệ giữa S và V như được biểu diễn trên hình 7.



Hình 7. Quan hệ giữa S và V



Hình 8. Quan hệ giữa K và f

K – Hệ số góc các đường thẳng thực nghiệm trên hình 7

Từ đồ thị trên hình 7 ta thấy rằng trong vùng khảo sát, quan hệ giữa biên độ tín hiệu ghi nhận và vận tốc tại mỗi giá trị của tần số là quan hệ gần tuyến tính. Biểu diễn quan hệ giữa hệ số góc K các đường quan hệ trên hình 7 theo tần số f ta được đồ thị như hình 8.

2. Miền tần số hoạt động của cảm biến từ các kết quả thu được [2].

- Khi tần số của tín hiệu vào nhỏ hơn 15 Hz, thì biên độ hài của tín hiệu ghi nhận tại tần số của tín hiệu vào không trội hơn hẳn so với các hài lân cận.
- Khi tần số tín hiệu vào lớn hơn 15Hz, hài của tín hiệu ghi nhận tại tần số tín hiệu vào trội hơn hẳn các hài lân cận. Các tín hiệu này sau khi hiệu chỉnh lại theo thiết bị đo vận tốc chuẩn thì chúng khớp với tín hiệu vào ở mức khá cao, tức sai số giữa tín hiệu ghi nhận so với tín hiệu vào thấp. Tuy nhiên khi tần số của tín hiệu vào tăng lên từ 120Hz trở lên thì trong phổ của tín hiệu ghi nhận xuất hiện các hài ở vùng tần số thấp với biên độ rất lớn.

b. Thử nghiệm đối với tín hiệu đa hài:

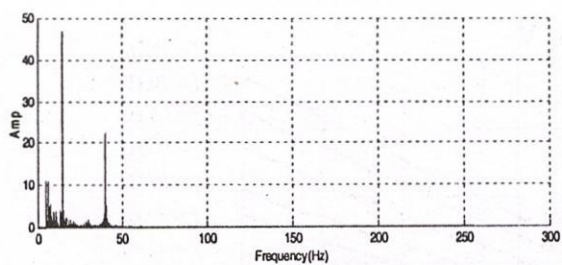
• **Mục tiêu thí nghiệm:**

Đại lượng chủ yếu để chẩn đoán các khuyết tật của cơ hệ là mức độ phát triển biên độ của các hài theo thời gian. Do đó khi tín hiệu dao động là tổ hợp của nhiều thành phần đơn hài thì việc xác định biên độ của các hài thành phần trong tổ hợp là hết sức cần thiết. Vì vậy việc nghiên cứu khả năng ghi nhận biên độ của các hài thành phần bởi cảm biến có mục đích khẳng định khả năng sử dụng thiết bị đo được chế tạo trong bài toán chẩn đoán dựa trên số liệu đo dao động.

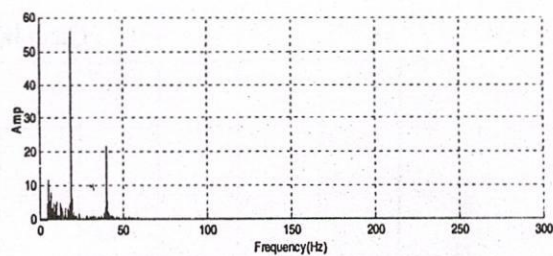
Với mục đích nêu trên, chúng tôi tạo ra các dao động kích thích là tổ hợp của hai hài với tần số và biên độ của từng hài thành phần đều được biết trước. Sau đó thu nhận các tín hiệu này bằng hệ thống đo và phân tích chúng.

• **Kết quả và nhận xét:**

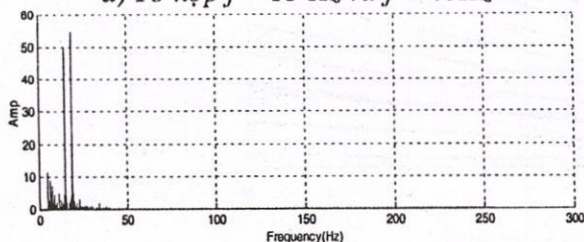
Phổ phân tích tín hiệu ghi nhận của một vài tổ hợp thí nghiệm tạo tín hiệu vào được trình bày trên hình 9. Các kết quả được tổng kết và trình bày trong Bảng 1.



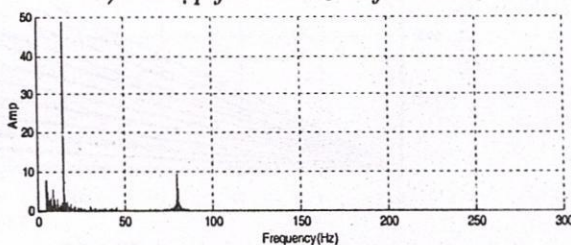
a) Tổ hợp $f = 15 \text{ Hz}$ và $f = 40 \text{ Hz}$



b) Tổ hợp $f = 19 \text{ Hz}$ và $f = 40 \text{ Hz}$



c) Tổ hợp $f = 15 \text{ Hz}$ và $f = 19 \text{ Hz}$



d) Tổ hợp $f = 15 \text{ Hz}$ và $f = 80 \text{ Hz}$

Hình 9. Phổ phân tích tín hiệu ghi nhận của tổ hợp các hài tín hiệu vào

Bảng 1

Hài Tổ hợp	Hài 1				Hài 2			
	Tần số (Hz)	Biên độ tín hiệu (mm/s)			Tần số (Hz)	Biên độ tín hiệu (mm/s)		
		Vào	Ghi nhận	Sai số (%)		Vào	Ghi nhận	Sai số (%)
1	15	50	46	8.00	40	20	22.5	12.50
2	19	55	56	1.82	40	20	22	10.00
3	15	50	50	0.00	19	55	55	0.00
4	15	50	49	2.00	80	10	9.8	2.00
5	20	62	60	3.23	120	4.25	5	17.65
6	15	50	48	4.00	120	4.25	5.25	23.53
7	60	35	37.5	7.14	110	12.5	17	36.00

Kết quả khảo sát hình 9 và Bảng 1 cho thấy trong miền tần số hoạt động của cảm biến thì:

- Trong phổ phân tích tín hiệu ghi nhận chứa không những các hài tại các tần số của tín hiệu vào mà còn chứa các hài khác lân cận chúng. Tuy nhiên biên độ của các hài có tần số của tín hiệu vào trội hơn hẳn so với các hài khác. Điều này được lý giải như sau: thiết bị kích thích dao động không có khả năng tạo tín hiệu vào là các tổ hợp 2 hài duy nhất mà vẫn chứa các nhiễu với biên độ bé và tần số lân cận tần số tín hiệu vào. Do vậy trên phổ phân tích tín hiệu ghi nhận ngoài 2 hài chính còn có các hài phụ có biên độ bé hơn đáng kể tập trung quanh các tần số các hài mong muốn của tín hiệu vào.
- Biên độ của các hài sau khi phân tích có thể đạt được độ chính xác khá cao (sai số xấp xỉ 0%, như tổ hợp 3), song cũng có thể có sai số rất lớn (36%, như tổ hợp 7). Sai số được gây ra bởi nhiều nguyên nhân, ngoài nguyên nhân do kết cấu của thiết bị kích thích dao động, còn có sai số do nội suy, do tuyến tính hóa quan hệ S – V trong hình 7, kết cấu của cảm biến, ...
- Tuy rằng thiết bị kích thích không tạo ra được các tín hiệu vào chỉ là tổ hợp của các hài cho trước, song các kết quả thu được cho thấy tín hiệu ghi nhận đã thể hiện được các đặc trưng của tín hiệu vào.

3.3 - Kết luận

a. Về chất lượng vật liệu gốm sứ áp điện đang được chế tạo tại Việt Nam

- Nhược điểm:
 - + Mô đun áp điện và độ nhạy tương đối yếu

+ Hình dạng và kích thước của tấm áp điện bị hạn chế bởi qui trình công nghệ chế tạo hiện có.

• Ưu điểm:

- + Độ bền cơ học cao
- + Các thông số kỹ thuật ổn định theo thời gian
- + Giá thành thấp, điều kiện cung cấp đơn giản

b. Phạm vi và điều kiện ứng dụng cảm biến: Với cảm biến được chế tạo và thử nghiệm nêu ra trong bài báo này thì:

- + Khả năng sử dụng chúng giới hạn đối với tín hiệu dao động là tổ hợp các hài có tần số trong miền 15Hz và dưới 120Hz.
- + Kích thước của cảm biến (trọng lượng khoảng 300g), cho nên chỉ sử dụng được với các kết cấu lớn.

c. Hướng khắc phục:

- + Đa dạng hóa chủng loại cảm biến về kết cấu, kích thước để có thể phủ được vùng tần số rộng hơn.
- + Sử dụng vật liệu áp điện có hằng số áp điện và độ nhạy áp cao hơn.

MANUFACTURE AND EXPERIMENT VIBRATION TRANSDUCER'S CHARACTERISTICS USING PIEZOELECTRIC MATERIALS MADE IN VIET NAM

Ngo Kieu Nhi

ABSTRACT: This paper introduces the experimental result of vibration transducer. The transducer's sensor is made of piezoelectric material made in Vietnam. The relationships between amplitude and frequency, amplitude of measurement and signal, difference between them are verified.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Singiresu S. Rao, "Mechanical vibrations", Addison-Wesley Publishing Company, second edition, 1990.
- [2] Ngô Kiều Nhi, "Nghiên cứu khả năng ứng dụng vật liệu gốm sứ áp điện của Việt Nam sản xuất để chế tạo cảm biến", Đề tài nghiên cứu khoa học cấp bộ, mã số B2001 – 20 – 13, 2003.