

## Cải tiến và mô phỏng vi động cơ quay kiểu điện nhiệt

### *Improvement and simulation of the electro-thermal micro motor*

Nguyễn Tiến Dũng<sup>1,2</sup>, Phạm Hồng Phúc<sup>2</sup>, Nguyễn Quang Địch<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

<sup>2</sup>Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

e-Mail: [dungnguyentien@tnut.edu.vn](mailto:dungnguyentien@tnut.edu.vn)

#### Tóm tắt

Bài báo trình bày thiết kế cải tiến, tính toán, mô phỏng vi động cơ quay kiểu điện nhiệt gồm bốn bộ kích hoạt nhiệt dầm chữ V, cơ cấu truyền động một chiều kiểu răng cóc, xen kẽ là bốn cơ cấu chống đảo. Hoạt động của vi động cơ dựa trên chuyển động lắc quanh điểm đàn hồi của các bộ kích hoạt và nguyên lý giãn nở nhiệt của các dầm mảnh hình chữ V. Ưu điểm của vi động cơ này là cải tiến cơ cấu dẫn động, tăng được chiều dài dầm giúp giảm điện áp dẫn. Các tính toán lý thuyết và mô phỏng kiểm chứng cho thấy vi động cơ, với kích thước 2,5mm, điện áp dẫn tối thiểu là 16V. Trong tương lai vi động cơ này có thể ứng dụng để dẫn động các khớp của vi robot hoặc trong các máy kích thước micro/milimet.

**Từ khóa:** Vi động cơ quay, bộ kích hoạt nhiệt, công nghệ vi cơ khối

**Abstract:** This paper presents the improvement, calculation and simulation of micro electro-thermal motor, consists of four V-shaped actuators, one-directional driving ratchet mechanism and four anti-reversed mechanisms. Working principle of the motor is based on shaking movement around an elastic point of the V-shaped actuator and thermal expansion of V-shaped beams. Improvement of driving mechanism and lower driving voltage are advantages of this motor.

Calculation and simulation shows that micro motor has only cover diameter of 2.5mm and minimum driving voltage of 16V. Micro motor can be applied in joints of micro-robot or in micro/milimet-scale machines in the future.

**Keywords:** Micro motor, Electro – thermal actuator, Bulk – micromachining technology

#### Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
$i$		Số răng cóc dịch chuyển được trong 1 chu kỳ điện áp dẫn
$h$	$\mu\text{m}$	Chiều cao răng cóc
$p$	$\mu\text{m}$	Bước răng cóc
$a, b$	$\mu\text{m}$	Chiều cao và chiều rộng dầm chữ V
$n$		Số cặp dầm
$L$	$\mu\text{m}$	Chiều dài dầm đơn
$r, r_1, r_2, r_3$	$\mu\text{m}$	Các bán kính hình học

$\alpha, \beta$	Độ	Góc nghiêng hệ dầm chữ V, và góc nghiêng của răng cóc
$f$	Hz	Tần số điện áp dẫn
$U$	V	Điện áp dẫn
$E$	MPa	Mô đun đàn hồi của Silic
$\alpha_l$	$\text{K}^{-1}$	Hệ số giãn nở dài
$\alpha_p$	$\text{K}^{-1}$	Hệ số nhiệt của điện trở suất
$\rho_0$	$\Omega\text{m}$	Điện trở suất tại nhiệt độ $T_s$
$k_T$	$\frac{W}{\mu\text{m.K}}$	Hệ số dẫn nhiệt
$\nu$		Hệ số Poisson
$k, k_p, k_{rc}$	$\mu\text{N}/\mu\text{m}$	Lần lượt là độ cứng của 1 cặp dầm chữ v, dầm quay, cổ đàn hồi thanh răng cóc
$f_{ms}$		Hệ số ma sát giữa silic-silic
$m_2, m_3, m_4$	g	Lần lượt là khối lượng của thanh răng cóc, bánh răng dẫn và bánh răng bị dẫn
$g$	$\text{m/s}^2$	Gia tốc trọng trường
$I_a$		Momen quán tính mặt cắt ngang của cơ cấu chống đảo

#### Chữ viết tắt

MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
SOI	Silicon On Insulator
SEM	Scanning Electron Microscope

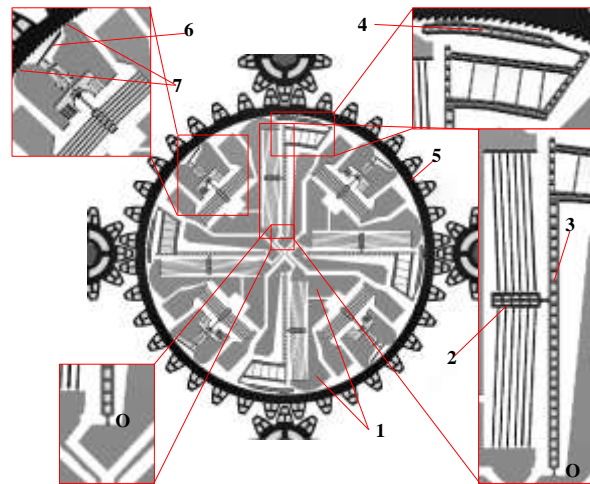
### 1. Giới thiệu

Vi động cơ là loại động cơ có kích thước cỡ micro mét chuyển đổi tín hiệu vật lý (nhiệt, điện, từ...) thành chuyển động cơ học (thẳng hoặc quay) dùng trong vi dẫn động các hệ thống. Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ vi cơ điện tử (MEMS), vi động cơ đã và đang được nghiên cứu với nhiều tiềm năng ứng dụng trong vi vận chuyển, y sinh, robot sinh học, thiết bị y tế, máy quét chất lượng cao, thiết bị chuyển mạch quang học cho mạng cáp quang... Có nhiều tiêu chí để phân loại vi động cơ như: Theo hiệu ứng dẫn động (tĩnh điện, áp điện, điện từ, giãn nở nhiệt, sử dụng hợp kim nhớ hình...), theo tính chất chuyển động (quay, lắc, hoặc tịnh tiến) và theo hình thức tiếp xúc giữa bộ phận dẫn động và bộ phận công tác (trực tiếp hoặc gián tiếp). Cách phân loại phổ biến nhất là dựa vào hiệu ứng dẫn động. Trong [1-3], các tác giả công bố vi động cơ sử dụng hiệu ứng tĩnh điện. Các loại động cơ này thường

có công nghệ chế tạo phức tạp, điện áp dẫn lớn, dễ gây chập điện và hiệu suất thấp. Một vài loại vi động cơ sử dụng hiệu ứng điện từ được trình bày trong [4-6], nhược điểm của hiệu ứng này là hiệu suất thấp, kích thước lớn (do phải tuân thủ kết cấu của một động cơ điện). Các vi động cơ ứng dụng hiệu ứng điện nhiệt có thể đạt được tỷ trọng công suất cao hơn nhiều so với các hiệu ứng dẫn động khác và có điện áp dẫn thấp hơn, momen và lực sinh ra lớn. Một số mẫu động cơ quay sử dụng hiệu ứng này cũng đã được công bố [7, 8]. Tuy nhiên kết cấu và công nghệ chế tạo tương đối phức tạp. Trong [9], nhóm tác giả đã công bố mẫu vi động cơ quay 1 chiều được chế tạo bằng công nghệ vi cơ khối với 1 mặt nạ tương đối đơn giản. Tuy nhiên mẫu vi động cơ này có cơ cấu dẫn động phức tạp, các lò xo đàn hồi làm tăng khe hở và giảm vận tốc thực của động cơ. Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất thiết kế cải tiến cơ cấu dẫn động, giảm số khe hở, lực dẫn động sẽ được truyền trực tiếp từ bộ kích hoạt đến vành răng bên ngoài qua thanh răng cóc giúp giảm độ trễ do khe hở và lò xo, tức là giảm trượt vận tốc góc thực tế của vi động cơ.

## 2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Cấu tạo của vi động cơ được chỉ ra như H. 1. Vi động cơ được thiết kế gồm bốn hệ thống dẫn động đối xứng và xen kẽ là các hệ thống chống đảo. Nguyên lý làm việc tương tự như mẫu vi động cơ [9], điện áp cấp cho các điện cực có dạng xung vuông hoặc nửa chu kỳ sin. Ở kỳ dẫn động (nửa chu kỳ đầu) điện áp được đặt vào các điện cực cố định (1) của hệ thống dẫn chữ V (2), dòng điện chạy qua hệ dẫn và sinh nhiệt làm cho hệ dẫn giãn nở đẩy dầm đàn hồi (3) quay một góc  $\varphi$  quanh cổ đàn hồi O. Thanh răng cóc (4) ăn khớp và kéo vành răng (5) quay thuận chiều kim đồng hồ. Ở nửa chu kỳ tiếp theo (kỳ hồi vị), điện áp dẫn bằng 0, hệ thống dẫn chữ V ngụy đi. Nhờ lực đàn hồi của hệ dẫn chữ V và cổ đàn hồi của dầm (3), hệ thống trở về vị trí ban đầu, nhưng vành răng (5) không quay ngược lại do hệ thống chống đảo (6). Để định vị vành răng (5) không bị lệch tâm, ta sử dụng các vấu tỷ đối xứng (7). So với [9], ở thiết kế này thanh răng cóc (4) được nối trực tiếp với khung dầm (3) làm cho kết cấu trở nên chắc chắn hơn, giảm dao động và trượt trong quá trình dẫn động, đồng thời cho phép ta tăng chiều dài các dầm chữ V (từ 300 lên 450 $\mu$ m), giúp tăng chuyển vị của đỉnh hệ dẫn chữ V, tức là có thể giảm điện áp dẫn, tiết kiệm năng lượng cho vi động cơ. Do kết cấu này đơn giản nên tỷ lệ chế tạo thành công cao hơn. Tương tự mẫu vi động cơ [9], để vành răng (5) quay được thì ở nửa chu kỳ dẫn, chuyển vị của thanh răng cóc (4) phải lớn hơn hoặc bằng một bước răng cóc. Sau mỗi chu kỳ, vành răng ngoài sẽ dịch chuyển một đoạn  $i \times p$ : với  $i$  là số răng cóc dịch chuyển được sau 1 chu kỳ.



H. 1 Cấu tạo của vi động cơ

## 3. Tính toán động học và động lực học

### 3.1 Tính toán vận tốc trung bình

Thời gian để vành răng quay được 1 vòng là

$$t = \frac{Z}{60 \cdot i \cdot f} = \frac{720}{60 \cdot i \cdot f} = \frac{12}{i \cdot f} \text{ (Phút)} \quad (1)$$

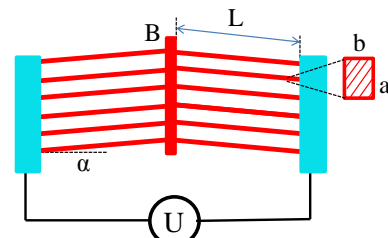
Với:  $Z=720$  (răng) là số răng trên vành răng rotor  
 Như vậy, tốc độ trung bình của rotor là

$$n_{tb} = \frac{1}{t} = \frac{i \cdot f}{12} \text{ (vòng/phút)} \quad (2)$$

Từ đó ta nhận thấy, tốc độ góc của vi động cơ phụ thuộc vào tần số  $f$  và biên độ của điện áp dẫn (chính là số răng dịch chuyển được  $i$  sau một chu kỳ).

### 3.2 Tính toán chuyển vị

Mô hình mỗi hệ dẫn chữ V có dạng như H. 2



H. 2 Kết cấu hệ dẫn chữ V

Từ kết quả tính toán trong [9-10], độ giãn nở của dầm đơn được xác định theo công thức sau:

$$\begin{aligned} \Delta L &= \int_0^L a(T) [T(x) - T_s] dx \\ &= a_l \int_0^L \frac{B}{A^2} L + \frac{C_1}{A} (e^{AL} - 1) - \frac{C_2}{A} (e^{-AL} - 1) dx \end{aligned} \quad (3)$$

Với:  $B = \frac{U^2}{l^2 r_0 k_T}$ ,  $l = 2L$ ,  $A^2 = Ba_r$ ;

$$C_1 = -\frac{1}{a_r} \frac{(-e^{-2AL} + 1)}{(e^{2AL} - e^{-2AL})}, \quad C_2 = -\frac{1}{a_r} \frac{(e^{2AL} - 1)}{(e^{2AL} - e^{-2AL})} \quad (4)$$

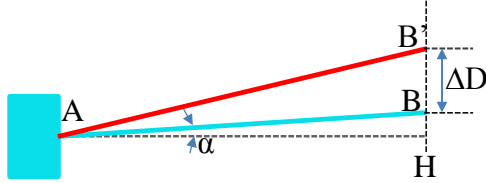
Trong đó  $r_0 = 1200$  ( $\Omega$ m),  $T_s = 20^\circ\text{C}$ ,  $L = 450$  ( $\mu$ m),  $a_r = 1,25 \cdot 10^{-3}$  ( $\text{K}^{-1}$ ),  $\alpha_l$  ( $\text{K}^{-1}$ ) và  $k_T$  ( $\text{W}/\mu\text{m.K}$ ) được tra theo thông số kỹ thuật của vật liệu silic tinh thể đơn.

Lực đẩy do giãn nở nhiệt sinh ra tại đỉnh B của dầm theo phương dịch chuyển là:

$$\mathring{a} F_n = 2nSE \frac{DL}{L} \sin \alpha \quad (5)$$

Trong đó:  $n=6$ ,  $S=ab=30 \times 4,5 (\mu m^2)$  là tiết diện mặt cắt ngang của dầm đơn;  $E=169.10^3 (MPa)$

Chuyển vị  $DD$  của đỉnh hệ dầm B được xác định theo sơ đồ H. 3



H. 3 Sơ đồ tính toán chuyển vị đỉnh dầm chữ V

$$DD = B'H - BH = \sqrt{AB'^2 - AH^2} - BH$$

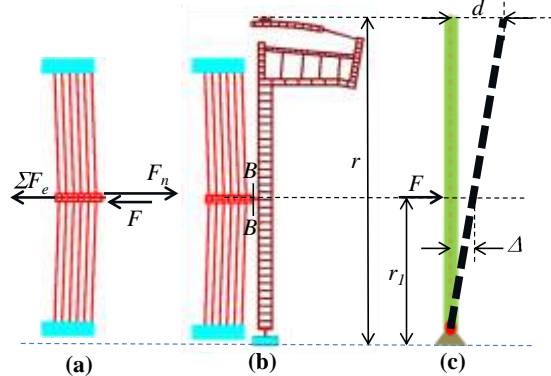
$$= \sqrt{(L + DL)^2 - (L \cos \alpha)^2} - L \sin \alpha$$

### 3.3 Xác định điện áp dẫn tối thiểu

Để xác định được điện áp dẫn tối thiểu, về mặt lý thuyết vi động cơ cần thỏa mãn 2 điều kiện: Thứ nhất là chuyển vị của thanh răng cóc dẫn lớn hơn hoặc bằng bước răng cóc  $p$ . Thứ hai là momen dẫn động sinh ra bởi lực nhiệt phải lớn hơn tổng các momen cản.

Quá trình dẫn

Vi động cơ được dẫn động bằng bốn bộ kích hoạt dầm chữ V đối xứng, hoàn toàn giống nhau, do đó ta chỉ cần phân tích lực trong 1 bộ như H. 4. Ở đó H. 4b là sơ đồ phân tích lực tại mặt cắt B-B, từ đó ta có:



H. 4 Sơ đồ tính toán chuyển vị đỉnh dầm chữ V

$$SF_n - F - SF_e = 0 \Rightarrow F = SF_n - SF_e \quad (7a)$$

Với:  $F$  là nội lực xuất hiện tại mặt cắt B-B,  $\Sigma F_n$ ,  $\Sigma F_e$ ,  $k$  lần lượt là tổng lực giãn nở nhiệt, tổng lực đàn hồi.

Để thuận tiện cho việc tính toán, ta đơn giản hóa dầm quay đàn hồi H. 4b như H. 4c. Gọi  $\Delta$  là chuyển vị thực tế của đỉnh hệ dầm chữ V ( $\Delta \leq DD$ ), khi đó:

$$F = \mathring{a} F_n - n.k.D = \mathring{a} F_n - n.k.d \cdot \frac{r_1}{r} \quad (7b)$$

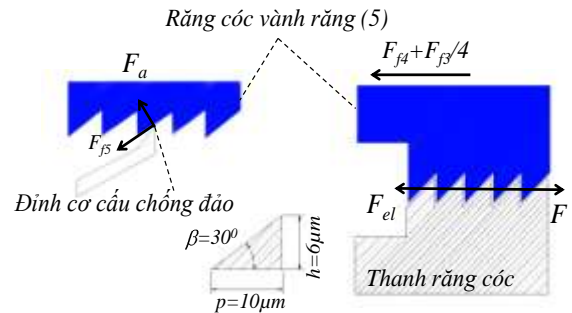
Trong đó chuyển vị của hệ thống dẫn động:

$$d = \frac{r}{r_1} D \quad (8)$$

Với:  $r = 1040 (\mu m)$ ,  $r_1 = 540 (\mu m)$ ,  $k = 127,6 (\mu N/\mu m)$ ,

Mômen dẫn động của vi động cơ được xác định:

$$M_d = M_F - M_{f_2} - \frac{M_{f_3}}{4} - M_{f_4} - M_{f_5} - M_{el} \quad (9)$$



H. 5 Sơ đồ phân tích lực trong quá trình dẫn

Trong đó:  $M_d$  là mô men của lực dẫn động  $F$ ;  $M_{f_i}$  ( $i=2,3,4$ ) là mô men của các lực ma sát kể trên (tính quanh điểm đàn hồi). Các mô men được tính theo các biểu thức sau:

$$M_F = F.r_1, M_{f_2} = f_{ms}.m_2.g.r, M_{f_3} = f_{ms}.m_3.g.r_2,$$

$$M_{f_4} = f_{ms}.m_4.g.r_3, F_a = \frac{3EI_a h}{l_a^3}, M_{f_5} = f_{ms}.F_a.r.\cos \beta$$

$$M_{el} = k_p.d.r = k_p.i.p.r \quad (10)$$

Với  $f_{ms}=0,3$ ;  $l_a=220 (\mu m)$   $m_2=0,18.10^{-6} (g)$ ,  $m_3=15,5.10^{-6} (g)$ ,  $m_4=4,27.10^{-6} (g)$ ,  $k_p=2,88 (\mu N/\mu m)$ ,  $r_3=1220 (\mu m)$

Điều kiện dẫn động của vi động cơ là  $M_d \geq 0$ , Dựa vào (9) và (10) ta có điều kiện cho lực nhiệt, để đảm bảo vi động cơ chuyển động là:

$$\mathring{a} F_n \geq \frac{1}{r_1} \left( \frac{M_{f_2}}{r} + \frac{M_{f_3}}{4} + M_{f_4} + M_{f_5} + k_p.i.p.r \right) \quad (11)$$

$$+ n.k.i.p \cdot \frac{r_1}{r}$$

Để vi động cơ hoạt động được thì ngoài điều kiện (11), cần phải đảm bảo mỗi chu kỳ điện áp dẫn vành răng phải dịch chuyển được ít nhất 1 bước răng, tức là chuyển vị  $d$  ở đỉnh dầm quay phải lớn hơn 1 bước răng:  $d \geq ip = 10i (mm)$

$$\hat{U} \frac{r}{r_1} DD \geq p \Rightarrow DD \geq \frac{r_1}{r} ip \quad (12)$$

$$+ \text{Với } i=1 \Rightarrow DD \geq ip \cdot \frac{r_1}{r} = 1.10 \cdot \frac{540}{1040} = 5,19 mm \quad (13)$$

Từ công thức (6), (13) xác định được giá trị điện áp tối thiểu là  $U_{min}=15,97 \approx 16 (V)$

Từ điều kiện (11), ta tính được:

$$\mathring{a} F_n \geq 4033,6 mN$$

Ứng với  $U_{min}=16 (V)$ , từ công thức (5) ta xác định được:  $\mathring{a} F_n = 4558,6 mN > 4033,6 mN$ . Do đó ứng với điện áp  $U_{min}$  thỏa mãn điều kiện chuyển vị thì luôn thỏa mãn điều kiện về lực và momen.

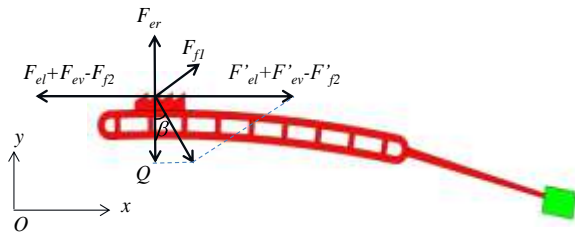
+ Với  $i=2$ , ta tính toán tương tự và xác định được:

$$U_{min} = 21,35 V$$

Quá trình hồi vị

Sơ đồ phân tích lực quá trình hồi vị như hình vẽ 6. Trong quá trình hồi vị (khi điện áp dẫn bằng 0), do

ảnh hưởng của lực đàn hồi của các dầm, thanh răng cóc hồi về vị trí ban đầu và tác dụng một lực lên vành răng.



H. 6 Sơ đồ phân tích lực trong quá trình hồi vị

Trong đó:  $F_{ev} = n \cdot k \cdot \Delta$  là lực đàn hồi của hệ dầm chữ V; ( $F'_{ev}$ : phản lực đàn hồi:  $\vec{F}'_{ev} = -\vec{F}_{ev}$ );  $F_{el}$  là lực đàn hồi của cổ dầm O ( $F'_{el}$ : phản lực đàn hồi:  $\vec{F}'_{el} = -\vec{F}_{el}$ );  $F_n$  là phản lực đàn hồi theo phương vuông góc với bề mặt răng của thanh răng cóc dẫn;  $F_{f1}$  là lực ma sát trượt giữa răng của thanh răng cóc dẫn và vành răng;  $F_{er} = k_{rc} \cdot D_r$  là lực đàn hồi của cổ thanh răng cóc dẫn; với  $D_r = 2,5mm$  là độ nén lớn nhất của thanh răng cóc dẫn khi trượt hai dây răng cóc,  $k_{rc} = 4,88mN / mm$ .

Khi điện áp dẫn bằng không ( $U=0$ ), các thành phần  $F_{ev}$ ,  $F_{el}$  trở thành lực dẫn, và để hệ thống có thể hồi vị được thì tổng các thành phần này phải thắng các lực ma sát  $F_{f1}$ ,  $F_{f2}$ .

$$F_{el} + F_{ev} > F_{f1} \cos b + F_{f2} \quad (14)$$

$$\text{Với } F_{f1} = f_{ms} F_n = f_{ms} (F'_{el} + F'_{ev} - F_{f2}) \sin b$$

Vì:  $f_{ms} \sin b = 0,3 \cdot 0,5 = 0,15 < 1$  vậy từ (14) ta có:

$$F_{f1} + F_{f2} < F'_{ev} + F'_{el} = F_{ev} + F_{el}$$

Điều này luôn thỏa mãn.

Thành phần lực Q theo phương y sẽ làm nén thanh răng cóc và tạo ra sự trượt của hai dây răng cóc:

$$Q = F_n \cos b = (F'_{el} + F'_{ev} - F_{f2}) \sin b \cos b \quad (15)$$

$$= \frac{1}{2} (F'_{el} + F'_{ev} - F_{f2}) \sin 2b$$

Điều kiện để răng cóc có thể hồi về vị trí ban đầu là:

$$Q^3 F_{er} + F_{f1} \sin b = F_{er} + f_{ms} (F'_{el} + F'_{el} - F_{f2}) \sin^2 b \quad (16)$$

Các điều kiện (15), (16) dễ dàng thỏa mãn vì các thành phần lực ma sát nhỏ hơn nhiều so với lực đàn hồi của hệ dầm chữ V và cổ đàn hồi O.

## 4. Mô phỏng và chế tạo

### 4.1 Mô phỏng

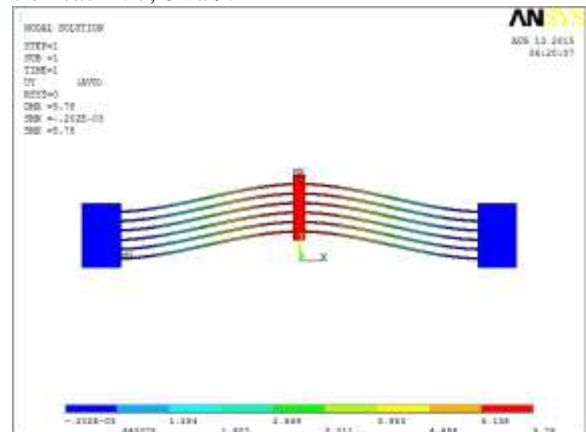
Nhằm kiểm nghiệm các kết quả tính toán, kiểm tra nhiệt độ lớn nhất tại đỉnh dầm, chuyển vị của hệ thống và ứng suất tại các vị trí nguy hiểm, nhóm tác giả đã tiến hành mô phỏng trên phần mềm chuyên dụng Ansys.

Việc giải một bài toán bằng phương pháp phần tử hữu hạn gồm ba bước cơ bản sau:

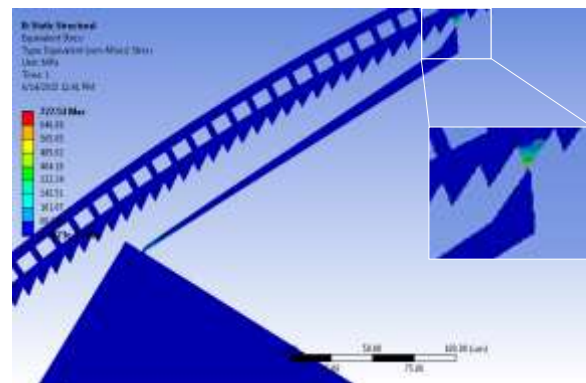
**Bước 1- Tiền xử lý, xác định các vấn đề:** Xác định các điểm khóa, các đường, khu vực và khối, xác định kiểu yếu tố và vật liệu, đặc tính hình học, chia lưới theo đường, khu vực hay khối theo yêu cầu.

**Bước 2- Giải pháp:** Ở đây, ta cần đặt các điều kiện biên, các ràng buộc, các ngoại lực/điện áp và cuối cùng là chạy chương trình.

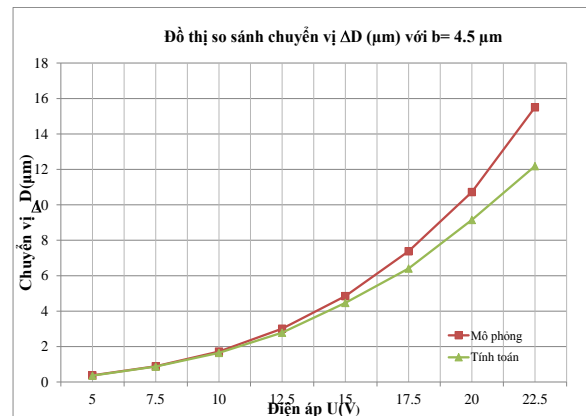
**Bước 3- Hậu xử lý:** Tiếp tục xử lý, phân tích và xem kết quả như là: Chuyển vị, ứng suất, nhiệt độ và các biểu đồ, đồ thị. Các kết quả mô phỏng được chỉ ra trên các H. 7, 8 và 9.



H. 7 Kết quả mô phỏng xác định chuyển vị của hệ dầm chữ V, ứng với  $U=16V$



H. 8 Kết quả mô phỏng ứng suất tại răng cóc và cổ cơ cấu chống đảo



H. 9 Đồ thị so sánh kết quả mô phỏng và tính toán chuyển vị của hệ dầm chữ V

Dựa vào kết quả mô phỏng, các tác giả có một số nhận xét như sau:

Chuyển vị lớn nhất của đỉnh dầm chữ V ( $\Delta D=5,78\mu\text{m}$  ứng với  $U=16\text{V}$  và  $\Delta D=13,02\mu\text{m}$  ứng với  $U=21,35\text{V}$ ), kết quả này phù hợp với kết quả tính toán theo giải tích. (Sai số giữa mô phỏng và tính toán là khoảng 10% có thể chấp nhận được).

Ứng suất lớn nhất xuất hiện trên mặt răng cóc khi chuẩn bị “bật răng” là 727,5 MPa, vẫn đảm bảo điều kiện bền với vật liệu silic. Dựa vào ứng suất này ta có thể tính được lực ma sát trên mặt răng theo công thức sau:

$$F'_{ms} = f_{ms} F'_n = f_{ms} s_{\max} S_{th} = 6,55 \mu\text{N} \quad (17)$$

Với  $F'_{ms}$ ,  $F'_n$  Lực ma sát và áp lực pháp tuyến tính toán được từ ứng suất lớn nhất  $\sigma_{\max}$ ,  $S_{th} = 30 \cdot 1 (\mu\text{m}^2)$  là diện tích tiếp xúc tối hạn giữa hai răng cóc khi “bật răng”.

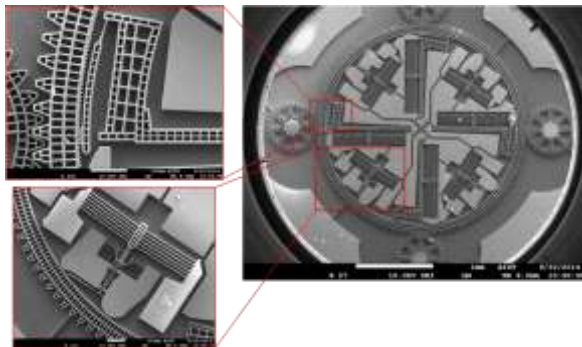
Theo công thức (10), ta có:  $F_{ms}=1,71 \mu\text{N}$ . Như vậy lực ma sát xác định qua kết quả mô phỏng có giá trị gấp khoảng 3,8 lần so với lực ma sát tính theo công thức giải tích (10). Điều này cho phép ta xác định lực ma sát chính xác hơn, tức là xác định giá trị mô men cản chính xác hơn.

Giữa kết quả mô phỏng và tính toán về lực ma sát và chuyển vị có sự sai khác là do trong quá trình tính toán ta coi hệ dẫn nhiệt, điện trở suất... là hằng số, trong khi thực tế các hệ số phụ thuộc nhiệt độ. Hơn nữa khối lượng các chi tiết và hệ số ma sát giữa các bộ phận chuyển động với nền silic được xác định trung bình theo kích thước hình học của chi tiết, trong khi mô phỏng, phần mềm sẽ phân tích và đưa ra các thông số chính xác từ cơ sở dữ liệu khai báo.

#### 4.2 Kết quả chế tạo bước đầu

Vi động cơ được chế tạo từ phiến silic kép (SOI), bằng phương pháp gia công vi cơ khối (Bulk – micromachining), sử dụng 1 mặt nạ (single mask). Các quy trình gia công chính như, chế tạo mặt nạ, quang khắc và hiện hình, ăn mòn ion hoạt hóa sâu... được thực hiện tại phòng thí nghiệm của trường đại học Ritsumeikan – Nhật Bản.

Các chip sau khi chế tạo sẽ được chụp ảnh và khảo sát qua kính hiển vi điện tử quét (SEM). H. 10 là ảnh chụp SEM của vi động cơ và các bộ phận chính.



H. 10 Hình ảnh chụp SEM của vi động cơ cải tiến

Thông qua hình ảnh SEM của vi động cơ, có thể kết luận sơ bộ: Các kích thước hình học và hình dáng của vi động cơ phù hợp với thiết kế. Tỷ lệ các vi động cơ thành phẩm cao. Việc đánh giá đo đặc hoạt động của vi động cơ sẽ tiếp tục được thực hiện trong thời gian tới.

### 5. Kết luận

Bài báo đã trình bày thiết kế cải tiến phần dẫn động của vi động cơ điện nhiệt có đường kính ngoài 2,5 mm, mô phỏng kiểm chứng và chế tạo bước đầu vi động cơ này. Các kết quả mô phỏng chuyển vị của hệ thống trên phần mềm ANSYS là phù hợp với kết quả tính toán, cho phép lựa chọn các kích thước hình học hợp lý của hệ thống, đồng thời khẳng định độ bền, độ tin cậy của các phần tử đàn hồi trong vi động cơ. Đối với lực ma sát khi mô phỏng gấp khoảng 3,8 lần so với tính toán, qua đó khẳng định độ tin cậy của kết quả mô phỏng. Các tính toán lực, động học, giúp tìm ra điện áp dẫn tối thiểu của vi động cơ cải tiến (16V ứng với  $i=1$  và 21,35 V ứng với  $i=2$ ), đồng thời khẳng định các ưu điểm so với vi động cơ kiểu cũ [9].

Vi động cơ này sẽ được đo đặc, đánh giá hoạt động và các đặc tính kỹ thuật. Các kết quả sẽ được công bố trong các công trình khoa học tiếp theo.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Sarajlic E. *et al.* (2010). Three-Phase Electrostatic Rotary Stepper Micromotor With a Flexural Pivot Bearing. *Journal of MicroElectroMechanical System*. Vol 19, No 2, pp. 338-349.
- [2] Stranczl M. *et al.* (2011). Modal Analysis and Modeling of a Frictionless Electrostatic Rotary Stepper Micromotor. *Proceedings of IEEE MEMS 2011*, Cancun, MEXICO, pp. 1257-60.
- [3] Phuc Hong Pham, Dzung Viet Dao, Lam Bao Dang, Susumu Sugiyama, “Single mask, simple structure micro rotational motor driven by electrostatic comb-drive actuators”, *J. Micromech. Microeng.*, 22 (2012)
- [4] Ki Hoon Kim, Hyeun Joong Yoon, Ok Chan Jeong, Sang Sik Yang, “Fabrication and test of a micro electromagnetic actuator”, *Sensors and Actuators A* 117 (2005), pp. 8–16
- [5] Mei Lin Chan *et al.* (2011). Low friction liquid bearing mems micromotor. *IEEE 24th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems*, pp. 1237-40.
- [6] Đặng Phước Vinh, Ngô Thanh Nghị, Võ Như Thành..., “Thiết kế và chế tạo vi động cơ từ trở tích hợp cảm biến dòng điện Eddy”, Hội nghị toàn quốc lần thứ 2 về Điều khiển và Tự động hoá - VCCA-2013
- [7] Ho Nam Kwon *et al.* (2001); *A micromachined thermoelastic inchworm actuator*; Proc. of American Society for Precision Engineering, 2001 Annual meeting, pp. 127-130.

- [8] Mathew Stevenson *et al.* (2007); *Development of a bidirectional ring thermal actuator*; Journal of Micromech. Microeng. Vol. 17, pp. 2049–2054.
- [9] Nguyễn Tiến Dũng, Trần Văn Quân, Phạm Hồng Phúc, Nguyễn Quang Địch (2014); “Phát triển vi động cơ quay dẫn động bằng bộ kích hoạt nhiệt dựa trên công nghệ MEMS”; Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc Kỷ niệm 35 năm thành lập Viện Cơ học Hà Nội, 09/04/2014, trang 3-8
- [10] Qing Ji and Karen L. Scott, “*First Order Modeling of Thermal Actuators in SUGAR*”, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California.



**Nguyễn Tiến Dũng** sinh năm 1982. Anh nhận bằng Kỹ sư *Điện khí hóa xí nghiệp* năm 2005 và bằng thạc sỹ *Tự động hóa* năm 2009 của trường ĐH Kỹ thuật công nghiệp Thái Nguyên (TNUT). Hiện tại là giảng viên trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp

Thái Nguyên, đồng thời là nghiên cứu sinh tại Viện Kỹ thuật Điều khiển và Tự động hóa, ĐH Bách khoa Hà Nội (HUST). Các lĩnh vực nghiên cứu: Máy điện, thiết bị điện, tự động hóa, vi cơ điện tử.



**Phạm Hồng Phúc** received the B.S. and M.S. degrees in mechanical engineering from Hanoi University of Science and Technology (HUST), Hanoi, Vietnam, in 1991 and 2002, respectively, and the Ph.D degree in science and engineering from Ritsumeikan University, Japan, in 2007. He

has been an author and Co-author of over 60 publications (both of international and domestic journals/papers)

He is currently an Associate Professor at the School of Mechanical Engineering – Hanoi University of Science and Technology (HUST). His present research interests are development of micro robot systems, micro motors, and micro mechanisms in MEMS field using micro electrostatic/electro-thermal actuators.



**Nguyễn Quang Địch** sinh năm 1975 tại Bắc Ninh, nhận bằng Kỹ sư *Tự động hóa XNCN* của trường Đại học Bách Khoa Hà Nội năm 1997, bằng Thạc sỹ *Kỹ thuật điện* của trường Đại học Bách khoa Dresden, CHLB Đức năm 2003 và bằng Tiến sỹ *khoa học và kỹ thuật* của trường Đại học Ritsumeikan, Nhật Bản năm 2010.

Từ năm 2000 đến nay là giảng viên của Bộ môn Tự động hóa XNCN trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Hướng nghiên cứu đang quan tâm và triển khai là các hệ truyền động các ứng dụng của chúng.