

# SỬ DỤNG HỆ CƠ ĐIỆN ĐỂ KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA HIỆN TƯỢNG MỎI LÊN TỔN THẤT NĂNG LƯỢNG DO TỪ TRỄ

Văn Hữu Thịnh<sup>1</sup>, Nguyễn Xuân Hùng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM, <sup>2</sup>Viện Cơ Học Ứng Dụng TP. HCM.

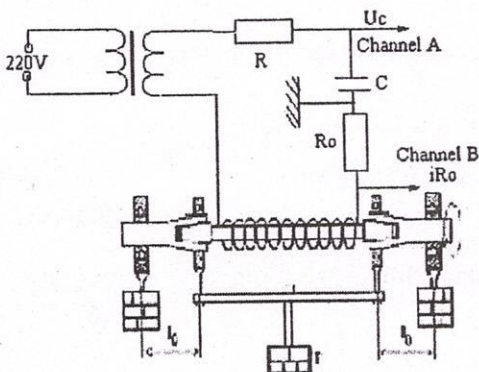
(Bài nhận ngày 23 tháng 3 năm 2004, hoàn chỉnh và sửa chữa ngày 10 tháng 6 năm 2004)

**TÓM TẮT:** Tổn hao năng lượng trong một chu kỳ do từ trễ được xác định theo các đại lượng từ  $B$  và  $H$ , là một chỉ tiêu đánh giá điều kiện làm việc của hệ cơ điện. Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu thực nghiệm về qui luật thay đổi của tổn hao năng lượng trong một chu kỳ do từ trễ của một hệ cơ điện thuộc lĩnh vực thí nghiệm mỗi kim loại.

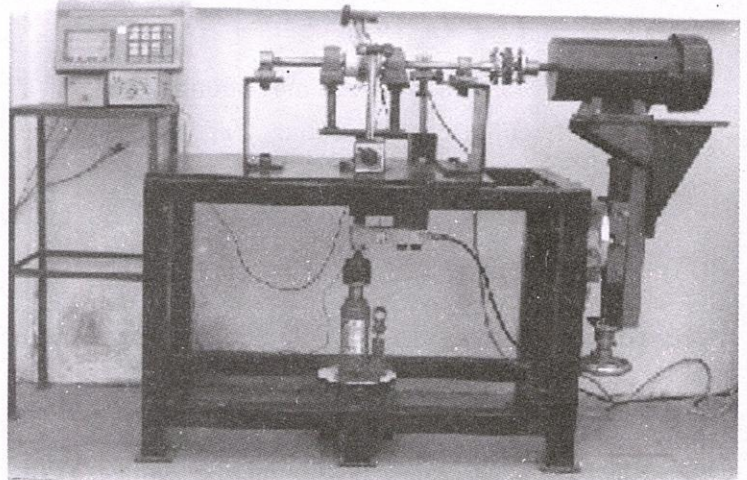
## 1. Mở Đầu

Trên thực tế có nhiều hệ cơ điện đã ứng dụng lý thuyết điện từ, chẳng hạn như động cơ điện, máy phát điện ...

Trong bài báo này ta xét một hệ cơ điện gồm phần cơ là mẫu bằng thép AISI 1045, chuyển động quay và chịu uốn trên thiết bị thí nghiệm mỗi, phần điện là cuộn dây Solenoid với 10000 vòng dây là mạch điện. Mẫu thép thí nghiệm đóng vai trò là lõi của cuộn dây Solenoid. Trong hệ cơ điện này, mẫu thép thí nghiệm đóng vai trò là mạch từ, cuộn dây Solenoid là mạch điện, được trình bày ở hình 1 và 2.



Hình 1: Sơ đồ hệ cơ điện



Hình 2: Thiết bị thí nghiệm

Theo [1] ta đã biết ảnh hưởng quan trọng của hiện tượng mỏi trong kim loại làm thay đổi cơ tính của kim loại. Từ nhiều công trình nghiên cứu ta cũng biết rằng từ tính của kim loại liên quan đến thành phần hoá học và cơ tính của kim loại. Như vậy do ảnh hưởng của hiện tượng mỏi làm thay đổi một số cơ tính của mẫu kim loại thì từ tính của mẫu thí nghiệm cũng thay đổi theo.

Dưới tác dụng của nguồn điện xoay chiều sẽ có sự tương tác giữa mạch điện và mạch từ của hệ cơ điện. Bằng cách thí nghiệm theo phương pháp phân tích từ ta sẽ xác lập qui luật thay đổi các đại lượng về từ của mẫu. Trên thực tế có nhiều phương pháp phân tích từ, trong đó phương pháp dòng điện xoay chiều đặc biệt có nhiều ưu điểm và phù hợp với mẫu thí nghiệm có mặt cắt ngang không đổi. Khi cơ tính và từ tính của lõi thay đổi sẽ tạo ra sự lệch pha giữa dòng điện cảm ứng và sức điện động cảm ứng trong cuộn dây Solenoid, tạo ra đường cong từ trễ và tổn hao năng lượng trong một chu kỳ. Bằng cách đo tổn hao năng lượng trong một chu kỳ do từ trễ, chúng ta có thể đánh giá sự thay đổi về tính chất từ của lõi (mẫu thí nghiệm) và đưa ra sự dự báo tuổi thọ của mẫu thí nghiệm.

Trên cơ sở lý thuyết về hệ phương trình Maxwell, định lý Umop – Poynting đối với trường điện từ biến thiên điều hoà và tổn hao năng lượng do từ trễ của cuộn dây Solenoid có lõi bằng vật liệu sắt từ, chúng tôi đã tiến hành nhiều thí nghiệm với hệ cơ điện như ở hình 2. Các kết quả thí nghiệm cho thấy rằng hiện tượng mỏi làm thay đổi tổn hao năng lượng trong một chu kỳ do hiện tượng từ trễ trong mẫu thí nghiệm.

## 2. Cơ Sở Lý Thuyết

### 2.1 Các phương trình Maxwell

#### 2.1.1 Phương trình Maxwell thứ nhất

Theo định luật Ampere về dòng điện toàn phần:

$$\oint H dl = \sum_{k=1}^n i_k = \int_s J ds \quad (1)$$

Trong đó:  $H$ : cường độ từ trường,  $A m^{-1}$

$dl$ : vi phân chiều dài của đường cong kín  $l$

$i_k$ : cường độ dòng điện thứ  $k$

$J$ : mật độ dòng điện dẫn,  $J = \gamma E$ ,  $A / m^2$  (2)

$\gamma$ : độ dẫn điện riêng của môi trường vật chất,  $1 / \Omega m$

$ds$ : vi phân diện tích  $S$  bao bởi đường cong kín  $l$

Bằng cách bổ sung thành phần dòng điện dịch vào vế phải của (1), Maxwell đã xây dựng phương trình thứ nhất:

$$\oint_l H dl = \int_s (J + J_D) ds = \int_s (\gamma E + \epsilon \frac{\partial E}{\partial t}) ds = \int_s (J + \frac{\partial D}{\partial t}) ds \quad (3)$$

Trong đó:  $J_D$ : mật độ dòng điện dịch,  $A / m^2$

$$J_D = \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\partial D}{\partial t} \quad (4)$$

$\epsilon$ : độ điện thẩm của môi trường, Farads/m,  $F m^{-1}$

$E$ : cường độ điện trường,  $V m^{-1}$

$D$ : cảm ứng điện,  $C m^{-2}$

Áp dụng định lý Green-Stoke, phương trình (3) được viết lại:

$$rot H = \nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} = \gamma E + \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (5)$$

Trường hợp có nguồn ngoài thì mật độ dòng điện  $J$  trong phương trình (5) sẽ bằng:

$$J = \gamma E + J_s \quad (6)$$

với  $J_s$ : mật độ dòng điện ngoài,  $A / m^2$ .

Khi đó phương trình Maxwell thứ nhất dạng vi phân (5) trở thành:

$$rot H = \nabla \times H = \gamma E + \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} + J_s \quad (7)$$

#### 2.1.2 Phương trình Maxwell thứ hai

Theo định luật cảm ứng điện từ của Faraday, sức điện động cảm ứng xuất hiện trong vòng dây:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\Lambda}{dt} \quad (8)$$

Trong đó:  $\phi$ : từ thông qua mặt  $S$ , Wb

$\Lambda$ : tổng từ thông móc vòng,  $\Lambda = N\phi$ , Wb

$N$ : số vòng dây

Với:  $\phi = \int_s B ds$  và  $e = \oint_l E dl$ , ta được:

$$\oint_l E dl = - \int_s \frac{\partial B}{\partial t} ds \quad (9)$$

Áp dụng định lý Green-Stoke ta được phương trình Maxwell thứ hai dạng vi phân:

$$rot E = \nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad (10)$$

**2.1.3 Phương trình Maxwell thứ ba và thứ tư**

Maxwell coi định luật Gauss và nguyên lý liên tục của từ thông áp dụng cho cả trường hợp điện trường và từ trường là tĩnh, không đổi và biến thiên. Phương trình Maxwell thứ ba và thứ tư dạng tích phân:

$$\oint_s Dds = \int_V \rho dV = Q \tag{11}$$

$$\int Bds = 0 \tag{12}$$

Và dạng vi phân:

$$\text{div}D = \nabla \cdot D = \rho \tag{13}$$

$$\text{div}B = \nabla \cdot B = 0$$

Trong đó Q: tổng điện lượng của các điện tích trong thể tích V được bao bởi mặt kín S, đơn vị C(Coulomb).

$\rho$ : mật độ điện tích khối,  $C/m^3$

**2.2 Các phương trình Maxwell đối với trường điện từ biến thiên điều hoà**

Một trạng thái rất quan trọng của trường điện từ là trạng thái khi các đại lượng cơ bản của trường và nguồn biến thiên điều hoà theo thời gian, với tần số vòng  $\omega$  nào đó. Ta biểu diễn các đại lượng cơ bản của trường điện từ dưới dạng vectơ biên độ phức:

$$\begin{aligned} E &= \hat{E}e^{j\omega t} & B &= \hat{B}e^{j\omega t} \\ D &= \hat{D}e^{j\omega t} & J_s &= \hat{J}_se^{j\omega t} \\ H &= \hat{H}e^{j\omega t} & \rho &= \hat{\rho}e^{j\omega t} \end{aligned} \tag{14}$$

Ở đây: E,D,H,B,  $J_s$ ,  $\rho$  là các vectơ biên độ phức

$\hat{E}, \hat{D}, \hat{H}, \hat{B}, \hat{J}_s, \hat{\rho}$  là các biên độ phức, là hàm theo các toạ độ không gian, không phụ thuộc vào thời gian t.

Từ (14) ta viết các phương trình Maxwell dạng vi phân (7), (10) và (13) dưới dạng biên độ phức:

$$\nabla \times H = j\omega \hat{E} + \hat{J}_s \tag{15}$$

$$\nabla \times E = -j\omega \mu \hat{H} \tag{16}$$

$$\nabla \cdot D = \hat{\rho} \tag{17}$$

$$\nabla \cdot B = 0 \tag{18}$$

Trong đó:  $\tilde{\epsilon} = \epsilon - j\frac{\gamma}{\omega}$  là độ điện thẩm phức (19)

Từ (15), lấy rot 2 vế, áp dụng hằng đẳng thức vectơ:

$$\text{rot}(\text{rot}A) = \text{graddiv}A - \Delta A \tag{20}$$

Sau khi biến đổi, ta được phương trình:

$$\Delta \hat{H} + k^2 \hat{H} = -\nabla \times \hat{J}_s \tag{21}$$

với:  $k^2 = \mu\omega^2 \tilde{\epsilon}$

Tương tự từ (16), ta được phương trình:

$$\Delta \hat{E} + k^2 \hat{E} = j\omega \mu \hat{J}_s - \nabla \frac{\hat{\rho}}{\epsilon} \tag{22}$$

Các phương trình Maxwell thể hiện rõ mối liên hệ chặt chẽ giữa trường điện và trường từ. Các phương trình (21) và (22) được sử dụng để tính trường điện từ theo phương pháp trực tiếp.

**2.3 Năng lượng trường điện từ – Định lý Umop-Poynting**

Năng lượng của trường điện từ kí hiệu là W bao gồm năng lượng điện và năng lượng từ trong không gian thể tích V:

$$W = W_e + W_m = \int_V \left( \frac{\epsilon E^2}{2} + \frac{\mu H^2}{2} \right) dV \quad (23)$$

Trong đó: năng lượng điện:  $W_e = \frac{1}{2} \int_V \epsilon E^2 dV \quad (24)$

Năng lượng từ:  $W_m = \frac{1}{2} \int_V \mu H^2 dV \quad (25)$

Năng lượng của trường điện từ có thể biến từ dạng điện sang dạng từ và ngược lại hoặc biến sang các dạng năng lượng khác và dịch chuyển trong không gian. Hệ thức toán học mô tả sự cân bằng năng lượng của trường điện từ trong một vùng không gian gọi là định lý Umop-Poynting.

Biên độ phức của vectơ Poynting phức:

$$\hat{P} = \hat{E} \times \hat{H}^* \quad (26)$$

Trong đó:  $\hat{H}^*$  là liên hợp của  $\hat{H}$ .

Theo (15), ta có:  $rot \hat{H}^* = \nabla \times \hat{H}^* = -j\omega \tilde{\epsilon} \hat{E} + \hat{J}_s^*$

Theo hằng đẳng thức của vectơ:

$$\nabla \cdot (A \times B) = B \cdot \nabla A - A \cdot \nabla B$$

Lấy div 2 vế của (26), ta được:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \hat{P} &= \nabla \cdot (\hat{E} \times \hat{H}^*) = \hat{H}^* \cdot \nabla \times \hat{E} - \hat{E} \cdot \nabla \times \hat{H}^* \\ -\nabla \cdot \hat{P} &= \hat{H}^* \cdot j\omega \mu \hat{H} + \hat{E} \cdot (-j\omega \tilde{\epsilon} \hat{E} + \hat{J}_s^*) \\ -\int_S (\hat{E} \times \hat{H}^*) \cdot \vec{n} d\vec{s} &= j\omega \int_V (\hat{H}^* \mu \hat{H} - \hat{E} \tilde{\epsilon} \hat{E}^*) dV + \int_V \hat{E} \hat{J}_s^* dV \end{aligned}$$

Thay  $\tilde{\epsilon} = \epsilon - j \frac{\gamma}{\omega}$ , ta được:

$$-\int_S (\hat{E} \times \hat{H}^*) \cdot \vec{n} d\vec{s} = j\omega \int_V (\hat{H}^* \mu \hat{H} - \hat{E} \epsilon \hat{E}^*) dV - \int_V \gamma \hat{E} \hat{E}^* dV + \int_V \hat{J}_s^* \hat{E} dV \quad (27)$$

Biểu thức (27) là định lý Umop-Poynting đối với trường điện từ biến thiên điều hoà.

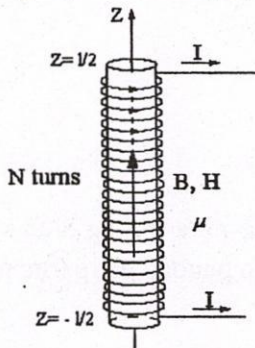
Ta xét các số hạng ở vế phải của (27):

- > Số hạng thứ nhất biểu diễn tốc độ biến đổi năng lượng điện và năng lượng từ trong thể tích V.
- > Số hạng thứ hai là công suất tiêu hao do hiệu ứng joule của dòng điện Foucault gây ra trong thể tích V.
- > Số hạng thứ ba là công suất của nguồn ngoài trong thể tích V.

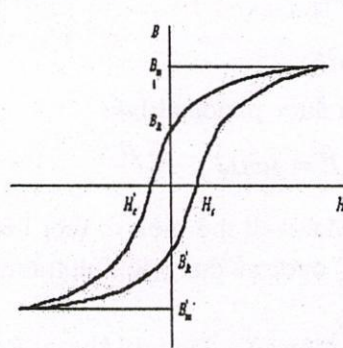
### 2.4 Tổn hao năng lượng do từ trễ

Theo [8], ta có quan hệ về biến đổi năng lượng điện từ trong cuộn dây Solenoid:

Đối với cuộn dây Solenoid có lõi bằng vật liệu không sắt từ, thì năng lượng điện biến thành năng lượng từ trường trong suốt quá trình cường độ dòng điện tăng và năng lượng từ biến đổi hoàn toàn thành năng lượng điện khi cường độ dòng điện giảm về 0.



Hình 3: Cuộn dây và lõi sắt từ



Hình 4: Đường cong từ trễ

Tuy nhiên, nếu lõi làm bằng vật liệu sắt từ thì một phần năng lượng từ biến thành nhiệt do kết quả của hiện tượng trễ. Như vậy tổn hao năng lượng do từ trễ là lượng năng lượng điện biến thành năng lượng từ nhưng không biến đổi ngược trở lại thành năng lượng điện.

Bây giờ, ta hãy tính lượng năng lượng điện này. Ta xét một cuộn dây Solenoid có lõi là vật liệu sắt từ như hình 3. Gọi  $e$  là sức điện động tức thời của cuộn dây Solenoid do dòng điện tức thời  $i$  chạy qua cuộn dây. Gọi  $dW$  là phần tử năng lượng truyền từ mạch điện đến mạch từ của cuộn dây Solenoid trong khoảng thời gian  $dt$ . Khi  $i$  tăng thì  $e$  có chiều chống lại sự tăng của  $i$ , và năng lượng điện biến đổi thành năng lượng từ, do đó  $dW$  có trị số dương. Khi  $i$  giảm thì  $e$  có chiều chống lại sự giảm của  $i$  và năng lượng từ biến đổi thành năng lượng điện, do đó  $dW$  có trị số âm. Trong khoảng thời gian  $dt$ , ta có:

$$dW = iedt \tag{28}$$

Theo định luật cảm ứng điện từ Faraday (8), ta được:

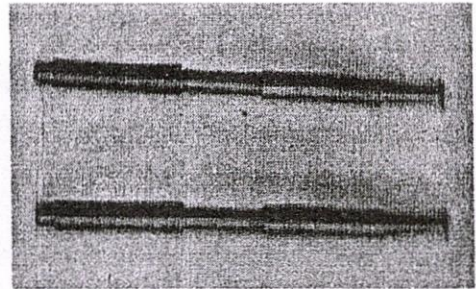
$$e = -N \frac{d\phi}{dt} = -NA \frac{dB}{dt}$$

Trong đó  $\phi$  : trị số tức thời của tổng từ thông qua lõi.

$B$  : cảm ứng từ tức thời.

$A$  : diện tích mặt cắt ngang của lõi.

Bỏ qua dấu âm của công thức Faraday ở trên và thay vào (28), ta được:



Hình 5: Mẫu thí nghiệm

$$dW = NAidB = AIlHdB = V HdB$$

Với  $l$ : chiều dài của lõi

$$V = Al = \text{thể tích của lõi}$$

Gọi  $W$  là năng lượng cung cấp cho mạch từ trong 1 chu kỳ,  $W$  không biến đổi ngược lại thành năng lượng điện. Khi đó:

$$W = \oint HdB \tag{29}$$

Chia tích phân  $\oint HdB$  của (29) thành các phần sau để tính:

$$\oint HdB = \int_{B_m}^{B_r} HdB + \int_{B_r}^{B'_m} HdB + \int_{B'_m}^{B'_r} HdB + \int_{B'_r}^{B_m} HdB \tag{30}$$

Diện tích của đường cong từ trễ được tính theo (30), biểu diễn ở hình 4, là năng lượng cung cấp từ mạch điện vào mạch từ, nhưng không biến đổi ngược lại. Như vậy (29) trở thành:

$$W = V \cdot (\text{diện tích của đường cong từ trễ}) \tag{31}$$

Gọi  $f$  là tần số của dòng điện chạy qua cuộn dây, như vậy tổn hao công suất do từ trễ:

$$P = Vf (\text{diện tích của đường cong từ trễ}) \tag{32}$$

Để nghiên cứu ảnh hưởng của hiện tượng trễ đến tổn hao năng lượng trong một chu kỳ của mẫu thí nghiệm trong hệ cơ điện, chúng tôi đã thực hiện nhiều thí nghiệm

### 3. Phương pháp thí nghiệm

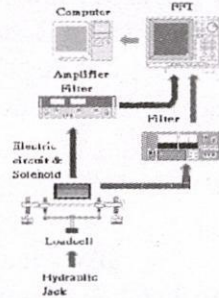
#### 3.1 Tiến hành thí nghiệm

Mục đích của thí nghiệm nhằm phát hiện sự thay đổi về tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ do từ trễ của mẫu sắt từ trong thí nghiệm mỗi uôn quay.

Mẫu thí nghiệm được chế tạo bằng thép AISI 1045, với thành phần (%): C = 0.45, Si = 0.30, Mn = 0.70, S = 0.04. Độ bền kéo của thép =  $650 \text{ N/mm}^2$ . Hình dạng và kích thước của mẫu được biểu diễn ở hình 5. Máy thí nghiệm mỗi được biểu diễn ở hình 2. Trong quá trình thí nghiệm mẫu chịu tác dụng của từ trường có tần số  $f = 50 \text{ Hz}$ , điện thế 6 -> 24 volt được tạo ra bởi nguồn điện AC và 1 biến áp cách ly như ở hình 1.

Điều kiện thí nghiệm đối với từng mẫu là không thay đổi, chẳng hạn như: lực tác dụng, tốc độ quay của mẫu, tần số và điện thế của nguồn điện AC và chế độ đo. Chu kỳ lấy mẫu là  $10^5$  vòng quay của mẫu. Sơ đồ hệ thống thiết bị đo được biểu diễn ở hình 6. Bao gồm các thiết bị đo:

- Cảm biến đo lực load cell + đồng hồ hiển thị
- Bộ gia tải: kích thủy lực 0 -> 2 tấn.
- Một cuộn dây có 10000 vòng dây.
- Một mạch điện
- Bộ đếm số vòng quay của mẫu thí nghiệm.
- Bộ khuếch đại và bộ lọc tín hiệu.
- FFT ( Fast Fourier Transformer ).
- Máy tính và bộ giao tiếp với máy đo FFT.



Hình 6: Sơ đồ hệ thống thiết bị đo

3.2 Phương pháp đo

Dữ liệu đo thể hiện trên máy đo FFT:

- Kênh A: Tín hiệu sức điện động cảm ứng  $u_c(t)$ , biểu diễn ở hình 7a. Sức điện động cảm ứng:

$$u_c(t) = \frac{1}{RC} \int e dt = \frac{NA}{RC} B(t). \text{ Như vậy, } u_c(t) \text{ tỉ lệ thuận với cảm ứng từ } B(t).$$

- Kênh B: Tín hiệu điện áp  $iR_0$  được biểu diễn ở hình 7b. Đây là điện áp giữa 2 đầu của điện trở  $R_0$ . Điện áp này tỉ lệ thuận với dòng điện cảm ứng. Như vậy nó cũng tỉ lệ với cường độ từ trường  $H(t)$ .
- Kết hợp 2 tín hiệu trên, ta được đường cong từ trễ trên máy đo FFT như ở hình 7c
- Chuyển số liệu đo đạc đến máy tính.
- Sử dụng phần mềm như ở hình 7d, ta xác định diện tích của đường cong từ trễ.

Lưu ý rằng: diện tích của đường cong từ trễ = tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ của mẫu thí nghiệm.

3.3 Kết quả thí nghiệm

Để đánh giá sự thay đổi của tổn hao năng lượng trong một chu kỳ của mẫu thí nghiệm theo độ tích lũy mỗi, ta xây dựng đồ thị biểu diễn tổn hao năng lượng tương đối  $\Delta D$  theo

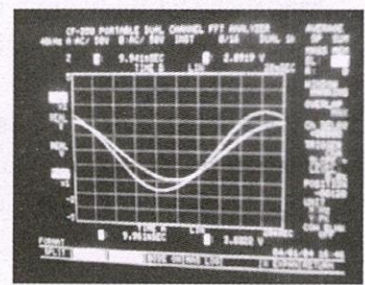
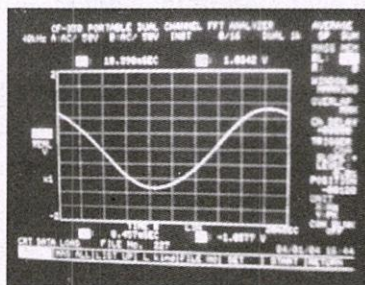
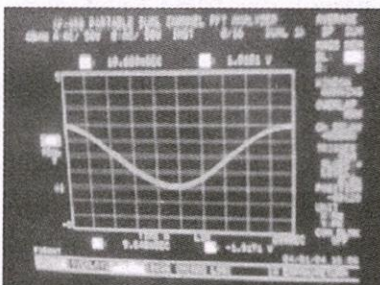
$$\text{độ tích lũy mỗi} = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i}.$$

Trong đó:  $\Delta D = D_1 - D_0$

- $D_1$ : tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ tại chu kỳ lấy mẫu  $n_1$ .
- $D_0$ : tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ tại thời điểm ban đầu  $n_0 = 0$ .

Để xác định qui luật thay đổi tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ theo độ tích lũy mỗi. Chúng tôi đã tiến hành nhiều thí nghiệm với nhiều mẫu ở điều kiện lực tác dụng, tốc độ quay khác nhau đối với từng mẫu.

Để minh họa, chúng tôi trình bày một trong các kết quả thí nghiệm ở hình 8. Mẫu thí nghiệm được tiến hành ở điều kiện: lực tác dụng = 20 KG, tốc độ quay = 1500 vòng / phút, tín hiệu trên 2 kênh được đo ở chế độ kênh A: ac/5v, kênh B: ac/2v, mẫu bị phá huỷ khi đạt được 3,5 triệu vòng quay. Hình 9 cho thấy sự thay đổi về hình dạng và diện tích của đường cong từ trễ ứng với số chu kỳ phá huỷ mỗi.

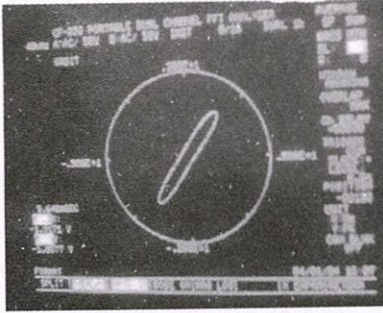


Hình 7a: Tín hiệu emf cảm ứng

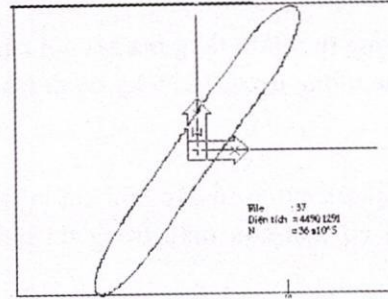
Hình 7b: Tín hiệu điện áp  $iR_0$

Hình 7c: Sự lệch pha

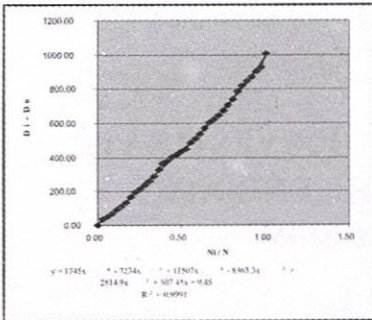
Hình 7d: Đường cong từ trễ



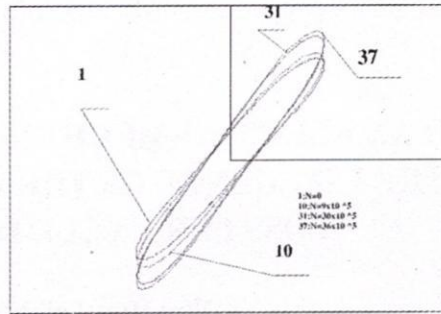
Hình 7e: Phần mềm tính diện tích đường cong từ trễ



Hình 8: Độ tăng tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ theo độ tích lũy mỗi



Hình 9: Sự thay đổi hình dạng và diện tích của đường cong từ trễ theo số chu kỳ thí nghiệm



Kết quả thí nghiệm chứng tỏ rằng: ảnh hưởng của hiện tượng mỏi làm tăng tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ do từ trễ của mẫu thí nghiệm bằng thép AISI 1045.

Áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu, ta có thể ngoại suy theo hàm số mũ hoặc hàm lũy thừa đối với các số liệu thực nghiệm về tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ do từ trễ theo số chu kỳ thí nghiệm mỗi. Ngoại suy theo hàm số mũ ta được:

$$y = 3481,3e^{0,006749x} \quad (33)$$

Ngoại suy theo hàm lũy thừa ta được:

$$y = 3233,3x^{0,0748} \quad (34)$$

Trong đó: y là tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ do từ trễ, ứng với số chu kỳ ứng suất đã thí nghiệm.

x là số chu kỳ ứng suất đã thí nghiệm.

Các phương trình (33) và (34) là cơ sở để xác định tuổi thọ còn lại của mẫu thí nghiệm theo số chu kỳ ứng suất. Chúng tôi đã xây dựng phần mềm tính tuổi thọ còn lại của mẫu thí nghiệm. Tuy nhiên, do khuôn khổ của bài báo nên chúng tôi không giới thiệu ở đây.

Chúng tôi trình bày một cách tóm tắt về cơ chế liên quan giữa hiện tượng mỏi của mẫu thí nghiệm và tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ do từ trễ:

Theo [8], độ tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ do từ trễ chính là công để thực hiện sự bố trí các dòng Ampere và domain trong lõi (mẫu thí nghiệm) của cuộn dây Solenoid. Tuy nhiên, trong lõi có ma sát nội cản lại sự bố trí này, nên gây ra tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ.

Về mặt cơ học, theo [5] có nhiều thuyết giải thích cơ chế của sự phá hủy mỏi. Một trong số những lý thuyết đó là lý thuyết dịch chuyển mạng tinh thể. Sự dịch chuyển mạng tinh thể của mẫu thí nghiệm gây ra sự lệch mạng và sự tập trung ứng suất cục bộ trong mạng tinh thể. Sự tính toán cho thấy rằng ứng lực cần thiết để làm cho mặt phẳng phân tử này trượt tương đối so với mặt phẳng phân tử khác tại nơi có lệch mạng giảm đi nhiều lần so với trường hợp mạng tinh thể lý tưởng. Điều này làm thay đổi một số cơ tính của mẫu thí nghiệm mỏi. Theo kết quả nghiên cứu thực nghiệm [1]: ảnh hưởng hiện tượng mỏi làm giảm môđun đàn hồi E của mẫu thí nghiệm và làm tăng tổn hao năng lượng trong một chu kỳ do ma sát nội của vật liệu. Vì môđun đàn hồi E giảm nên độ cứng EJ của mẫu thí nghiệm giảm theo số chu kỳ thí nghiệm mỏi. Vì tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ do ma sát nội của vật liệu tăng

theo số chu kỳ thí nghiệm, ta được kết quả là hệ số cản nội của mẫu thí nghiệm sẽ tăng theo số chu kỳ thí nghiệm mỗi.

Như vậy, hiện tượng mỗi làm tăng ma sát nội của mẫu thí nghiệm cho nên theo [8] hiện tượng mỗi làm tăng tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ do từ trễ.

#### 4. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu trên dẫn đến kết luận:

- Sự thay đổi cơ tính của mẫu trong thí nghiệm mỗi có liên quan đến từ tính của mẫu thí nghiệm đó.
- Sự tăng tổn hao năng lượng trong 1 chu kỳ do từ trễ phụ thuộc vào số chu kỳ phá huỷ mỗi của mẫu thí nghiệm.
- Kết quả thí nghiệm này dùng để đánh giá trạng thái mỗi và chẩn đoán điều kiện làm việc của mẫu thí nghiệm chịu uốn và có chuyển động quay, như trục máy trong hệ cơ điện.

## USING AN ELECTRO-MECHANICAL SYSTEM TO INVESTIGATE THE INFLUENCE OF THE FATIGUE ON THE ENERGY LOSS PER CYCLE DUE TO HYSTERESIS

Van Huu Thinh<sup>1</sup>, Nguyen Xuan Hung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Technical Education HCMC, <sup>2</sup>Institute of Applied Mechanics HCMC

**ABSTRACT:** *The energy loss per cycle due to hysteresis is one of the criteria for evaluation the working state of an electro-mechanical system. To investigate the influence of the fatigue on the energy loss per cycle due to hysteresis, we manufactured and performed many experiments on the electro-mechanical system. The experimental results reveal that the energy loss per cycle increase versus the fatigue cycles of the steel specimen AISI 1045. This is used for evaluation the working life, diagnosing the fatigue state of the specimen or rotating shaft.*

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Xuân Hùng, Văn Hữu Thịnh. *The effect of the fatigue on ... the rotating beam fatigue testing*. ISDC, Hanoi. 2003
- [2] Nguyễn Xuân Hùng. *Dynamics of structures and compliant mechanisms*. 2003
- [3] Nguyễn Xuân Hùng, Nguyễn Xuân Hoàng, Nguyễn Chiến Thắng. *Advance of the simulation of the mechanical, electromagnetic wave propagation. Proceedings of the National conference on Engineering Mechanics*. Hà Nội. 2001
- [4] Kiều Khắc Lâu. *Lý Thuyết Trường Điện Từ*. Nhà Xuất Bản Giáo Dục. 2001
- [5] Ngô Văn Quyết. *Cơ Sở Lý Thuyết Mỗi*. Nhà Xuất Bản Giáo Dục. 2000
- [6] Văn Hữu Thịnh, Trần Quang Quới, Lê Duy Minh. *Numerical Simulation of Some Problems in Mechanical, Electromagnetic System*. Proceedings of ASAEM'2001
- [7] John D. Kraus. *Electromagnetics*. Mc. Graw-Hill international Editions. 1992
- [8] Ralph P. Winch. *Electricity and Magnetism*. Prentice Hall, Inc. 1957
- [9] S. Chifan, R. Grimberg .... *Evaluation of fatigue state of ferromagnetic steels by Magnetic method*. Roma 2000 15<sup>th</sup> WCNDT
- [10] Jean. Marie Brebec, Philippe Deneve, .... *Điện từ học*. Người dịch: Lê Băng Sương. Education Publishing House. 2001