

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

-----

PHAN VĂN MINH

**ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ  
NAM CHÂM VĨNH CỬU  
SỬ DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ THÍCH NGHI**

**Chuyên ngành: Tự động hóa  
Mã số: 60.52.60**

**TÓM TẮT LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**Đà Nẵng – Năm 2012**

Công trình hoàn thành tại

**ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

Người hướng dẫn khoa học: TS. Nguyễn Quốc Định

**Phản biện 1: TS Nguyễn Đức Thành**

**Phản biện 2: TS. Phan Văn Hiến**

Luận văn sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm Luận văn tốt nghiệp thạc sĩ Tự động hóa họp tại Đại Học Đà Nẵng vào ngày 9 tháng 6 năm 2012

Có thể tìm hiểu luận văn tại:

- Trung tâm Học liệu, Đại Học Đà Nẵng

## MỞ ĐẦU

### 1. Lý do chọn đề tài

Đất nước ta đang trong giai đoạn công nghiệp hóa hiện đại hóa, trong một tương lai không xa một số lĩnh vực hoạt động phải được trang bị lại để tiến kịp các nước trong khu vực và thế giới, tiếp cận các công nghệ hiện đại để đẩy nhanh quá trình phát triển của đất nước.

Nguyên tắt truyền động điều chỉnh bằng những động cơ đồng bộ đã được biết đến từ thập niên 30. Tuy nhiên những ứng dụng của nó bắt đầu từ thập kỷ 60 nhờ các phát minh mới, cho phép thực hiện những truyền động điều chỉnh dòng điện, tốc độ, vị trí ở mức độ khá hoàn chỉnh. Trong những năm gần đây với sự phát triển mạnh mẽ của ngành điện tử công suất, các bộ biến đổi công suất ngày càng nhanh hơn, mạnh mẽ hơn. Mặt khác cùng với sự phát triển của các ngành điều khiển học, tin học đã tạo điều kiện dễ dàng cho việc ứng dụng chương trình số và toàn bộ hệ thống.

Máy điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu rất hợp với loại hình truyền động này. Loại máy này dần được ứng dụng vào hệ thống tự động, đòi hỏi sự đồng bộ tuyệt đối, nhất là những ứng dụng trong các máy công cụ, tàu điện hay các truyền động trực tiếp trong lĩnh vực tự động hóa.

Năm 1965 L.A.Zadeh đã sáng tạo ra lý thuyết tập mờ và đặt nền móng cho việc xây dựng một loạt các lý thuyết quan trọng dựa trên cơ sở lý thuyết tập mờ. Kể từ đây một trào lưu khoa học lấy tính không chắc chắn, không chính xác làm triết lý để nghiên cứu sáng tạo đã phát triển mạnh mẽ, và người ta đánh giá rằng công trình của Zadeh như là một trong những phát minh quan trọng có tính chất bùng nổ và đang hứa hẹn giải quyết được nhiều vấn đề phức tạp và to lớn của thực tiễn. Lý do chính dẫn tới suy nghĩ áp dụng logic mờ để điều khiển nằm ở chỗ trong rất nhiều trường hợp, con người chỉ

cần dựa vào kinh nghiệm (hoặc ý kiến chuyên gia) vẫn có thể điều khiển được đối tượng cho dù đối tượng có thông số kỹ thuật không đúng hoặc thường xuyên bị thay đổi ngẫu nhiên. Việc điều khiển theo kinh nghiệm như vậy có thể bị đánh giá là không chính xác như các yêu cầu kỹ thuật đề ra, song đã giải quyết được vấn đề trước mắt là vẫn đảm bảo được về mặt định tính các chỉ tiêu chất lượng định trước.

Với ý nghĩa đó, tôi đã chọn đề tài **ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU SỬ DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ THÍCH NGH** để làm đề tài nghiên cứu.

## **2. Mục tiêu và nhiệm vụ nghiên cứu**

Tìm hiểu về động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu, phương pháp điều khiển vị trí động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu.

Tìm hiểu về điều khiển PI.

Tìm hiểu về điều khiển mờ; điều khiển mờ thích nghi.

Nghiên cứu kết hợp lý thuyết mờ thích nghi để điều khiển vị trí động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu.

Mô phỏng hệ thống trên phần mềm Matlab;

Đánh giá kết quả.

## **3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

Nghiên cứu xây dựng bộ điều khiển mờ thích nghi để điều khiển động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu.

## **4. Phương pháp nghiên cứu**

*Nghiên cứu lý thuyết:*

Nghiên cứu xây dựng mô hình động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu.

Nghiên cứu bộ điều khiển mờ điều khiển vị trí động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu.

Nghiên cứu bộ điều khiển mờ thích nghi điều khiển vị trí động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu.

*Phương pháp thực nghiệm:*

Sử dụng phần mềm Matlab – Simulink làm công cụ xây dựng mô hình và mô phỏng hệ thống.

### **5. Kết quả thực tiễn của đề tài:**

Lý do chính dẫn tới suy nghĩ áp dụng logic mờ để điều khiển nằm ở chỗ trong rất nhiều trường hợp, con người chỉ cần dựa vào kinh nghiệm (hoặc ý kiến chuyên gia) vẫn có thể điều khiển được đối tượng cho dù đối tượng có thông số kỹ thuật không đúng hoặc thường xuyên bị thay đổi ngẫu nhiên. Việc điều khiển theo kinh nghiệm như vậy có thể bị đánh giá là không chính xác như các yêu cầu kỹ thuật đề ra, song đã giải quyết được vấn đề trước mắt là vẫn đảm bảo được về mặt định tính các chỉ tiêu chất lượng định trước.

Nâng cao chất lượng điều khiển động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu. Góp phần giúp cho việc ứng dụng đối tượng này trong các dây chuyền sản xuất công nghiệp.

### **6. Cấu trúc của luận văn**

Ngoài phần mở đầu, kết luận, tài liệu tham khảo, nội dung của luận văn được chia thành 5 chương:

Chương 1 - TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU

Chương 2 - HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ XOAY CHIỀU BA PHA NAM CHÂM VĨNH CỬU ĐIỀU KHIỂN TỰA THEO TỪ THÔNG ROTOR

Chương 3 - LÝ THUYẾT BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ THÍCH NGHI

Chương 4 - BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ THÍCH NGHI ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU

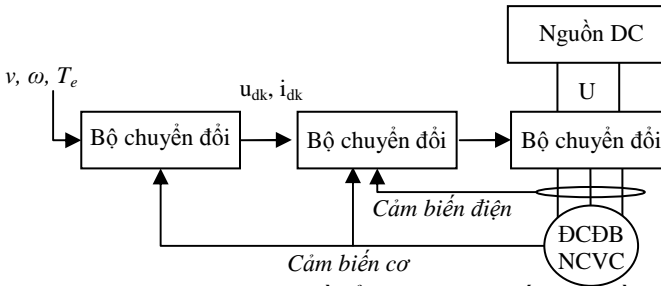
Chương 5 - KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

## Chương 1 - TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU

### 1.1. Khái quát

### 1.2. Cấu trúc hệ thống truyền động động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu

Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu có thành phần chính là stator ba pha và rotor nam châm vĩnh cửu. Cấu tạo phổ biến của rotor thường gặp là rotor cực lõi với các thanh nam châm gắn trên bề mặt; hay rotor cực ẩn với các thanh nam châm được chôn vùi trong lõi thép.



Hình 1.2 – Sơ đồ tổng quát hệ thống truyền

### 1.3. Mô hình hóa động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu

Phương trình điện áp trên hệ tọa độ  $dq$ :

$$\begin{aligned} v_q &= r i_q + \omega_r \lambda_d + \frac{d}{dt} \lambda_q \\ v_d &= r i_d + \omega_r \lambda_q + \frac{d}{dt} \lambda_d \end{aligned} \quad (1.15)$$

$$\begin{aligned} v_0 &= r i_0 + \frac{d}{dt} \lambda_0 \\ \lambda_q &= L_q i_q \\ \lambda_d &= L_d i_d + \lambda_m \end{aligned} \quad (1.16)$$

$$\lambda_0 = L_0 i_0$$

$$F_e = \frac{3p}{4} [\lambda_m i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (1.17)$$

Trong đó  $L_q$ ,  $L_d$  và  $L_0$  là các hằng số điện cảm trên hệ trục rotor. Phương trình động học [10] viết theo vị trí  $x_p$ :

$$F_e - F_L = B \frac{2\pi dx_p}{r dt} + M \frac{2\pi d^2 x_p}{r dt^2}$$

Trong đó  $B$  là hệ số cản dộ,  $M$  là tổng khối lượng thành phần quay,  $r$  bước của trục vít-me. Nguyên lý cơ bản của việc điều khiển động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu dựa trên nguyên lý tựa từ thông rotor. Khi xây dựng hệ thống điều khiển dựa trên nguyên lý tựa từ thông rotor ta sẽ phải điều khiển vector dòng stator  $i_s$  sao cho vector dòng đứng vuông góc với từ thông cực, và do đó không có thành phần dòng từ hóa mà chỉ có thành phần dòng tạo mômen quay. Vậy là  $i_d=0$ .

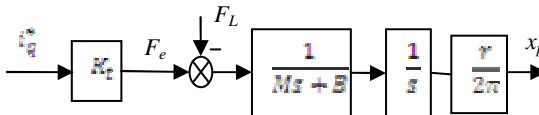
Sơ đồ khối hệ thống điều khiển đơn giản hóa được cho trên hình 1.4

$$F_e = K_t i_q^* \quad (1.18)$$

$$\text{Với: } K_t = \frac{3p}{4} \lambda_m \quad (1.19)$$

-Ta có:

$$F_e - F_L = B \frac{2\pi dx_p}{r dt} + M \frac{2\pi d^2 x_p}{r dt^2} \quad (1.20)$$



Hình 1.4 - Mô hình hóa động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu

## Chương 2 – HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ XOAY CHIỀU BA PHA NAM CHÂM VĨNH CỬU ĐIỀU KHIỂN TỰA THEO TỪ THÔNG ROTOR

### 2.1. Nguyên lý điều khiển tựa theo từ thông rotor

Ta có thể biểu diễn dòng điện  $i_{su}$ ,  $i_{sv}$ ,  $i_{sw}$ , từ thông stator và rotor dưới dạng vector  $u_s$ ,  $\psi_s$  và  $\psi_r$ . Tất cả các vector đều quay xung quanh gốc tọa độ với tốc độ góc  $\omega_s$

Bây giờ ta hình dung ra một hệ tọa độ với hai trục d và q, quay đồng bộ với vector trên:

$$\begin{cases} u_s = u_{sd} + j u_{sq} \\ i_s = i_{sd} + j i_{sq} \\ \psi_r = \psi_{rd} + j \psi_{rq} \\ \psi_s = \psi_{sd} + j \psi_{sq} \end{cases} \quad (2.3)$$

Nếu trục d (trục thực) của hệ tọa độ mới trùng với trục của vector từ thông cực từ  $\psi_p$ , khi ấy thành phần trục q của từ thông rotor sẽ mất đi và ta thu được quan hệ vật lý giữa mômen quay, từ thông rotor và các thành phần dòng như sau:

1. Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu:

$$m_M = \frac{3}{2} z_p \psi_p i_{sq} \quad (2.5)$$

Trong đó: -  $m_M$ : mômen quay;  $z_p$ : số đôi cực;

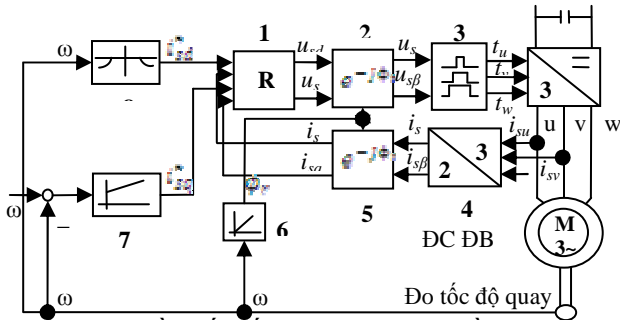
$\psi_p$  : từ thông rotor, từ thông cực từ

-  $i_{sd}$   $i_{sq}$ : thành phần vector dòng stator

### 2.2. Cấu trúc của hệ điều khiển động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu tựa theo từ thông rotor

Từ công thức(2.5) cho ta thấy: vì từ thông cực là hằng (vĩnh cửu), mômen quay tỷ lệ thuận trực tiếp với thành phần dòng  $i_{sq}$ . Dòng stator chỉ có nhiệm vụ tạo mômen chứ không có nhiệm vụ tạo từ thông và vì vậy chỉ chứa thành phần dòng  $i_{sq}$





Hình 2.5 – Sơ đồ khối cấu trúc của hệ truyền động xoay chiều ba pha điều khiển kiểu tựa theo từ thông rotor trên hệ tọa độ dq của động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu

Các khối chính của sơ đồ cấu trúc như sau:

- Khối 1: Khâu điều chỉnh dòng hai chiều  $R_I$
- Khối 2: Khối chuyển đổi thành phần điện áp  $u_{sd}$ ,  $u_{sq}$  sang hệ tọa độ stator
- Khối 3: Khối điều chế vector không gian cho phép tạo ra điện áp với biên độ, góc pha và tần số mà khâu điều chỉnh dòng đòi hỏi.
- Khối 6: Khối tính giá trị  $\Phi_r^*$
- Khối 7: Khâu điều chỉnh tốc độ quay
- Khối 8: Khối tính giá trị  $i_{sd}^*$  dựa và trạng thái từ hóa của động cơ.

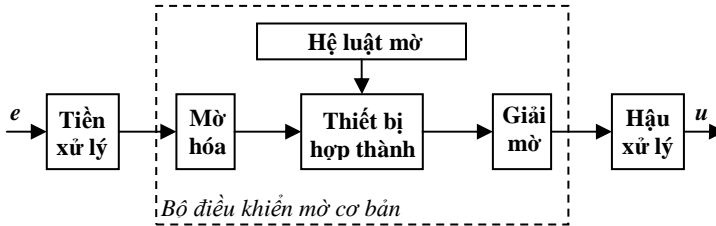
## Chương 3 – LÝ THUYẾT BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ THÍCH NGHI

### 3.1. Giới thiệu chung về điều khiển mờ

#### 3.1.1. Lịch sử phát triển Logic mờ

#### 3.1.2. Bộ điều khiển mờ lý tưởng

### 3.2. Cấu trúc cơ bản



Hình 3.2 – Cấu trúc bộ điều khiển mờ

#### 3.2.1. Không gian vào/ra

Biến ngôn ngữ đầu vào  $x$  sẽ gồm các biến ngôn ngữ  $x_i$  xác định trên không gian trạng nền  $U_i$  và tương tự với biến đầu ra  $y$  gồm các biến ngôn ngữ  $y_j$  trên không gian nền  $(U_j)$ . Khi đó:

$$y = \{(y_j, V_{y_j}), \{A_{y_j}(1), \dots, A_{y_j}(k_{y_j})\}, \{u_{y_j}(1), \dots, u_{y_j}(k_{y_j})\}; j = 1, 2, \dots, m\}$$

ở đây  $x_i$  là biến ngôn ngữ xác định trên không gian nền  $U_i$ , nhận từ giá trị  $A_{x_i}$  với hàm thuộc  $\mu_{x_i}(k)$  với  $k = 1, 2, \dots, k_i$ . Tương tự cho các biến đầu ra  $y_j$ .

#### 3.2.2. Khâu mờ hóa

Có thể định nghĩa: mờ hóa là một ánh xạ từ không gian các giá trị quan sát được vào không gian của các tập mờ trên không gian nền của các biến ngôn ngữ.

#### 3.2.3. Hệ luật mờ

Cho  $x_1, x_1, \dots, x_m$  là các biến của hệ thống,  $y$  là biến ra (thường là các biến ngôn ngữ). Các tập  $A_{ij}, B_{ij}$ , với  $i=1, \dots, m; j=1, \dots, n$  là các tập mờ trong các không gian nền tương ứng của các biến vào và biến ra đang sử dụng của hệ thống. Các  $R_j$  là các suy diễn mờ (các luật mờ) dạng ‘Nếu ... thì’

### 3.2.4. Hệ luật hợp thành

Bảng sau đây giới thiệu một số phép kéo theo thường được sử dụng trong diễn đạt các luật mờ.

**Bảng 3.1** - Phép kéo theo sử dụng trong diễn đạt các luật mờ

Phép kéo theo	Công thức
Toán tử min (Mandani)	$a \Rightarrow b = \min(a, b)$
Toán tử tích (Larsen)	$a \Rightarrow b = a \cdot b$
Tích bị chặn	$a \Rightarrow b = \max(0, a + b - 1)$
Quy tắc số học (Zadeh)	$a \Rightarrow b = \min(1, 1 - a + b)$
Quy tắc max-min (Zadeh)	$a \Rightarrow b = \max(1 - a, \min(a, b))$
Suy diễn bình thường	$a \Rightarrow b = \begin{cases} 1 & \text{nếu } a \leq b \\ 0 & \text{nếu } a > b \end{cases}$
Logic Boole	$a \Rightarrow b = \max(1 - a, b)$
Logic Godel	$a \Rightarrow b = \begin{cases} 1 & \text{nếu } a \leq b \\ b & \text{nếu } a > b \end{cases}$
Phép kéo theo Gugen	$a \Rightarrow b = \begin{cases} 1 & \text{nếu } a \leq b \\ b/a & \text{nếu } a > b \end{cases}$

### 3.2.5. Khâu giải mờ

Đây là khâu thực hiện quá trình xác định một giá trị rõ có thể chấp nhận được làm đầu ra từ hàm thuộc của giá trị mờ đầu ra.

#### 3.2.5.1. Phương pháp cực đại

#### 3.2.5.2. Phương pháp trọng tâm:

#### 3.2.5.3. Phương pháp lấy trung bình tâm

### **3.3. Hệ điều khiển mờ thích nghi**

#### **3.3.1. *Khái niệm***

#### **3.3.2. *Các phương pháp điều khiển mờ thích nghi***

Hệ mờ thích nghi có thể phân thành 2 loại. Một là bộ điều khiển mờ tự thay đổi cấu trúc – là bộ điều khiển mờ có khả năng chỉnh định các tham số của tập mờ (các hàm liên thuộc). Hai là bộ điều khiển mờ thay đổi cấu trúc – là bộ điều khiển mờ có thể bắt đầu làm việc với một vài luật điều khiển đã được chỉnh định trước hoặc chưa đủ các luật.

### **3.4. Tính ổn định của hệ điều khiển mờ**

#### **3.4.1. *Những điểm cần lưu ý***

#### **3.4.2. *Khảo sát tính ổn định của hệ mờ***

- Phương pháp mặt phẳng pha
- Phương pháp Lyapunov
- Phương pháp cân bằng điều hòa

### **3.5. Tối ưu**

### **3.6. Kết luận về điều khiển mờ**

#### **3.6.1. *Ưu điểm***

#### **3.6.2. *Khuyết điểm***

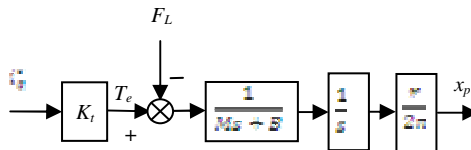
## Chương 4 – BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ THÍCH NGHI ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU

### 4.1. Tổng hợp mạch vòng điều khiển vị trí động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu

Tổng hợp theo ba vòng điều khiển sau:

- Vòng trong cùng điều khiển dòng điện.
- Vòng thứ hai điều khiển tốc độ động cơ.
- Vòng ngoài cùng điều khiển vị trí.

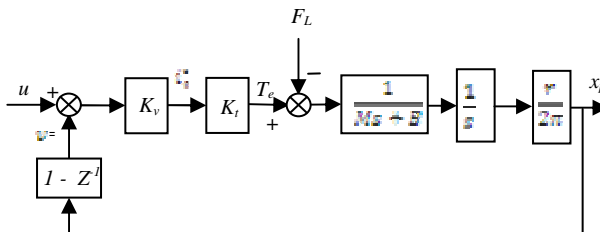
#### 4.1.1. Mạch vòng điều khiển dòng điện



Hình 4.1 - Mạch điều khiển dòng điện động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu

#### 4.1.2. Mạch vòng điều khiển tốc độ

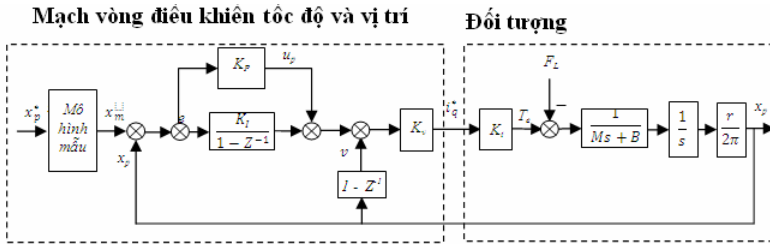
Sử dụng khâu P trong mạch điều khiển tốc độ.



Hình 4.2 - Mạch điều khiển vận tốc động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu sử dụng khâu P

#### 4.1.3. Mạch vòng điều khiển vị trí sử dụng bộ điều khiển PI

Sử dụng khâu PI

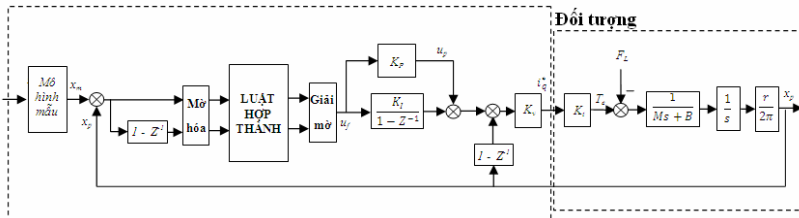


Hình 4.3: Mạch vòng điều khiển vị trí động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu sử dụng bộ điều khiển PI

**4.1.4. Mạch vòng điều khiển vị trí sử dụng bộ điều khiển mờ - mờ thích nghi**

-Sử dụng bộ mờ thông thường

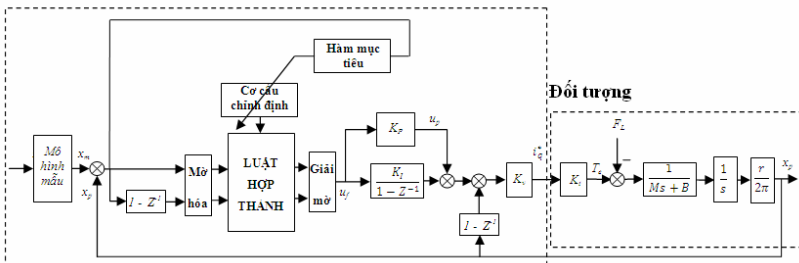
Mạch vòng điều khiển vị trí và vận tốc



Hình 4.4 - Tổng hợp mạch vòng điều khiển vị trí động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu sử dụng bộ điều khiển mờ

-Thêm khâu thích nghi

Mạch vòng điều khiển vị trí và vận tốc



Hình 4.5 - Tổng hợp mạch vòng điều khiển vị trí động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu sử dụng bộ điều khiển mờ thích nghi

## 4.2. Nhắc lại mô hình toán học của đối tượng

## 4.3. Thiết kế bộ điều khiển mờ (Fuzzy controller)

Các đầu vào này được định nghĩa như sau:

$$e(k) = x_m(k) - x_p(k) \quad (4.1)$$

$$de(k) = e(k) - e(k-1) \quad (4.2)$$

Đầu ra bộ điều khiển mờ là điện áp  $u_f$

Cấu trúc bộ điều khiển mờ :

(a) Chọn  $e$ ,  $de$  là biến đầu vào của bộ điều khiển mờ. Giá trị ngôn ngữ của  $E$  và  $dE$  tương ứng là  $\{A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6\}$  và  $\{B_0, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6\}$ .. Miền giá trị trong khoảng  $[-6,6]$

(b) Tính toán độ phụ thuộc của  $e$  và  $de$ .

(c) Chọn luật mờ theo nguyên tắc: NẾU  $e$  là  $A_i$  và  $de$  là  $B_j$  THÌ  $u_f$  là  $c_{j,i}$ . Trong đó  $i$  và  $j = 0 \rightarrow 6$ .  $A_i, B_j$  là thừa số ngôn ngữ,  $c_{j,i}$  là giá trị thực của thừa số ngôn ngữ.

(d) Sử dụng phương thức mờ hóa theo mô hình Singleton, chọn thiết bị hợp thành theo quy tắc hợp thành Prod, giải mờ theo phương pháp trung bình điểm trọng tâm. Đầu ra của bộ điều khiển mờ có thể được thực hiện như sau:

$$u_f(e, de) = \frac{\sum_{n=i}^{i+1} \sum_{m=j}^{j+1} c_{m,n} [\mu_{A_n}(e) * \mu_{B_m}(de)]}{\sum_{n=i}^{i+1} \sum_{m=j}^{j+1} \mu_{A_n}(e) * \mu_{B_m}(de)} \\ \cong \sum_{n=i}^{i+1} \sum_{m=j}^{j+1} c_{m,n} * d_{n,m} \quad (4.4)$$

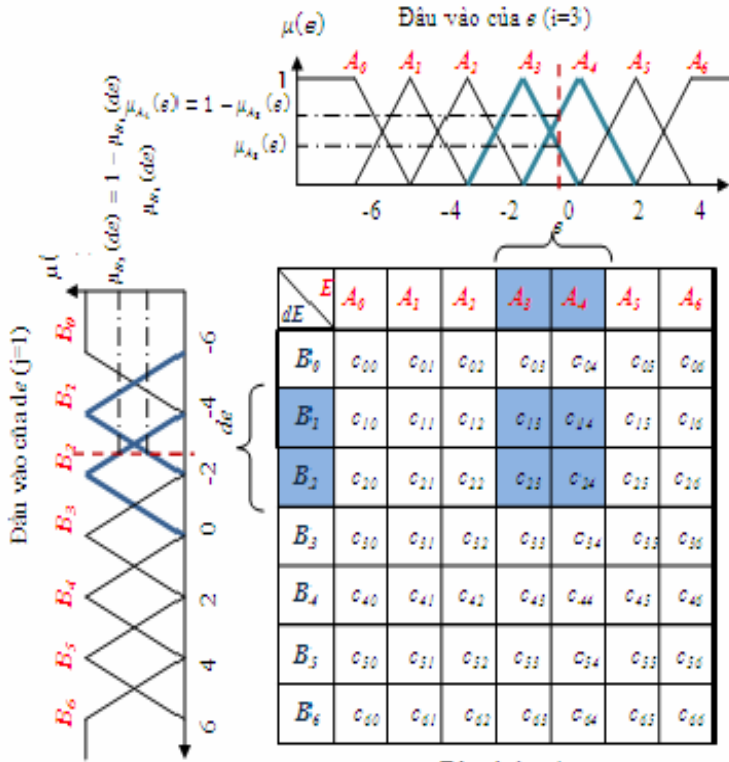
Trong đó  $d_{n,m} \cong \mu_{A_n}(e) * \mu_{B_m}(de)$ .  $c_{m,n}$  là những thông số chỉnh định.

$$\sum_{n=i}^{i+1} \sum_{m=j}^{j+1} d_{n,m} = 1 \quad (4.5)$$

Đầu ra của bộ điều khiển mờ là:

$$u(k) = u_i(k-1) + (k_p + k_i) * u_f(k) \quad (4.6)$$

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) \quad (4.7)$$



Bảng luật mờ

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Luật 1: } \varepsilon \text{ là } A_3 \text{ và } d\varepsilon \text{ là } B_1 \text{ thì } u_f \text{ là } c_{31} \\ \text{Luật 2: } \varepsilon \text{ là } A_3 \text{ và } d\varepsilon \text{ là } B_2 \text{ thì } u_f \text{ là } c_{32} \\ \text{Luật 3: } \varepsilon \text{ là } A_4 \text{ và } d\varepsilon \text{ là } B_1 \text{ thì } u_f \text{ là } c_{41} \end{array} \right. \Rightarrow u_f = \frac{c_{31} * a_{21} + c_{32} * a_{22} + c_{41} * a_{11} + c_{23} * a_{12}}{a_{21} + a_{22} + a_{11} + a_{12}} = c_{31} * a_{21} + c_{32} * a_{22} + c_{41} * a_{11} + c_{23} * a_{12}$

Với:  $a_{21} = \mu_{A_3}(\varepsilon) * \mu_{B_1}(d\varepsilon)$   
 $a_{22} = \mu_{A_3}(\varepsilon) * \mu_{B_2}(d\varepsilon) = \mu_{A_3}(\varepsilon) * (1 - \mu_{B_1}(d\varepsilon))$   
 $a_{11} = \mu_{A_4}(\varepsilon) * \mu_{B_1}(d\varepsilon) = (1 - \mu_{A_3}(\varepsilon)) * \mu_{B_1}(d\varepsilon)$   
 $a_{12} = \mu_{A_4}(\varepsilon) * \mu_{B_2}(d\varepsilon) = (1 - \mu_{A_3}(\varepsilon)) * (1 - \mu_{B_1}(d\varepsilon))$

Hình 4.6 - Khâu mờ hóa và bảng luật mờ



#### 4.4. Mô hình mẫu (Reference Model)

Hàm bậc hai được sử dụng làm mô hình mẫu trong bộ điều khiển mờ.

$$\frac{x_m(s)}{x_p^*(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (4.8)$$

#### 4.5. Thiết kế bộ điều khiển mờ thích nghi

Sử dụng phương pháp giảm theo độ dốc (Gradient Descent). Điều này được thực hiện bằng cách lấy đạo hàm của hàm chi phí theo các tham số của hệ thống và thay đổi các tham số đó theo một hướng được tính toán theo độ dốc để tiến dần tới cực tiểu địa phương của hàm chi phí.

Trước tiên, ta có hàm chi phí được định nghĩa:

$$J(k+1) = \frac{1}{2} e(k+1)^2 = \frac{1}{2} [x_m(k+1) - x_p(k+1)]^2 \quad (4.12)$$

Như vậy ta có thông số  $c_{m,n}$ :

$$\Delta c_{m,n}(k+1) \propto \frac{\partial J(k+1)}{\partial c_{m,n}(k)} = -\alpha \frac{\partial J(k+1)}{\partial c_{m,n}(k)} \quad (4.13)$$

Trong đó,  $m=j$ ,  $j+1$  và  $n=i$ ,  $i+1$ . Và  $\alpha$  là hệ số (học) thích nghi (learning rate).

Giả sử  $F_L$  bằng không. Thực hiện biến đổi Laplace phương trình (1.17) và (1.20):

$$\frac{x_p(k)}{i_q^*(k)} = \left(\frac{K_r}{B}\right) \left(\frac{r}{2\pi}\right) \frac{\left(1 - e^{-\frac{BT}{M}}\right) z^{-1}}{\left(1 - e^{-\frac{BT}{M}} z^{-1}\right) (1 - z^{-1})} \\ \stackrel{\Delta}{=} \frac{r}{2\pi} \frac{\Psi z^{-1}}{(1 - \phi z^{-1})(1 - z^{-1})} \quad (4.14)$$

Trong đó,  $z^{-1}$  là toán tử ngược,  $T$  là chu kỳ lấy mẫu và  $\phi = \exp\left(-\frac{BT}{M}\right)$ ,  $\Psi = K_r(1 - \phi)/B$ .

Ngoài ra, ở hình 4.5 ta thấy dòng điện đặt vào động cơ  $i_q^*$  được xây dựng từ giá trị đầu ra của bộ điều khiển mờ là  $u_f$

$$i_q^*(k) = k_v(u_i(k-1) + (k_p + k_i)u_f(k) - x_p(k) + x_p(k-1)) \quad (4.15)$$

Trong đó  $k_p, k_i$  là hệ số bộ điều khiển PI,  $u_i$  là đầu ra của khâu I. Từ (4.14) và (4.15) ta có:

$$x_p(k) = \left(\phi + 1 - \frac{r}{2\pi} \Psi k_v\right) x_p(k-1) + \left(\frac{r}{2\pi} \Psi k_v - \phi\right) x_p(k-2) + \frac{r}{2\pi} \Psi k_v u_i(k-2) + \frac{r}{2\pi} \Psi k_v (k_p + k_i) u_f(k-1) \quad (4.16)$$

Áp dụng quy tắc dây chuyền, phương trình  $J(k+1)$  có thể được viết lại như sau:

$$\begin{aligned} \frac{\partial J(k+1)}{\partial c_{m,n}(k)} &= \frac{\partial J(k+1)}{\partial e(k)} * \frac{\partial e(k)}{\partial x_p(k+1)} * \frac{\partial x_p(k+1)}{\partial u_f(k)} \\ &\quad * \frac{\partial u_f(k)}{\partial c_{m,n}(k)} \\ &= -e(k+1) \frac{\partial x_p(k+1)}{\partial u_f(k)} * \frac{\partial u_f(k)}{\partial c_{m,n}(k)} \end{aligned} \quad (4.17)$$

Từ (4.4) và (4.16) ta có:

$$\frac{\partial u_f(k)}{\partial c_{m,n}(k)} = d_{n,m} \quad \text{và} \quad \frac{\partial x_p(k+1)}{\partial u_f(k)} = \frac{r}{2\pi} (K_p + K_i) K_v \Psi$$

Thay vào (4.17) và (4.13). Như vậy thông số  $c_{m,n}$  của bộ điều khiển mờ mô tả ở (4.4) có thể được điều chỉnh như sau:

$$\begin{aligned} \partial c_{m,n}(k) &= \alpha \frac{r}{2\pi} \Psi k_v (k_p + k_i) e(k) d_{n,m} \\ &\approx \alpha_1 \text{Sign}(\Psi) k_v (k_p + k_i) e(k) d_{n,m} \end{aligned} \quad (4.18)$$

Với  $m=j, j+1$  và  $n=i, i+1$ . Và  $\alpha_1 = \alpha \frac{r}{2\pi}$ . Vì không dễ để xác định được giá trị hệ số  $\Psi$  nên hàm  $\text{sign}(\Psi)$  được sử dụng trong (4.18).

## Chương 5 – KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Xét mô phỏng của ba bộ điều khiển sau:

1. Bộ điều khiển PI.
2. Bộ điều khiển mờ thuần túy.
3. Bộ điều khiển vị mờ thích nghi

Có 3 trường hợp sau:

1. Trường hợp 1 tải nhẹ: chọn  $K_t=64$  -  $M=1$ ,  $B=0.1$
2. Trường hợp 1 tải vừa: chọn  $K_t=64$  -  $M=4$ ,  $B=0.4$
3. Trường hợp 1 tải nặng: chọn  $K_t=64$  -  $M=7$ ,  $B=0.7$

Xây dựng mô hình mẫu (Reference Model)

$$\frac{x_m(z^{-1})}{x_d^*(z^{-1})} = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}$$

Chọn tần số riêng  $\omega_n = 40 \text{ rad/s}$ , hệ số suy giảm  $\zeta = 1$ . Ta tính được như sau:  $a_0 = 0,000098$ ,  $a_1 = 0,000196$ ,  $a_2 = 0,000098$ ,  $b_1 = -1,960396$ ,  $b_2 = 0,960788$ .

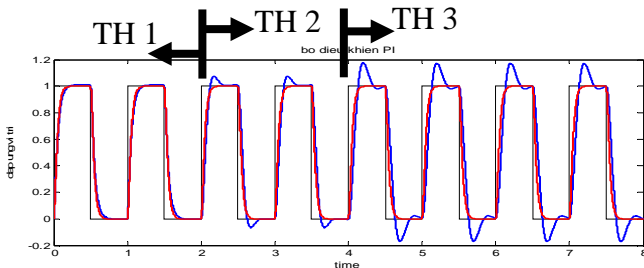
### 5.1. Bộ điều khiển vị trí động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu sử dụng bộ điều khiển PI.

#### 5.1.1. Thiết kế mô phỏng

Khâu PI: Chọn  $K_p=18$ ;  $K_i=0.002$ ;  $K_v=2$ ;  $K_t=64$  [9]

#### 5.1.2. Kết quả mô phỏng

##### 1. Đáp ứng vị trí

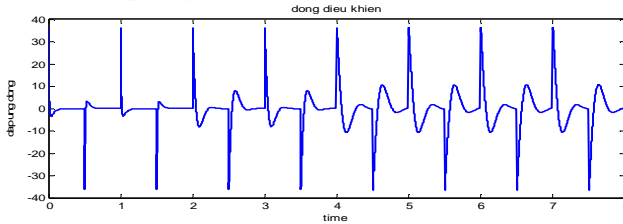


Ghi chú:

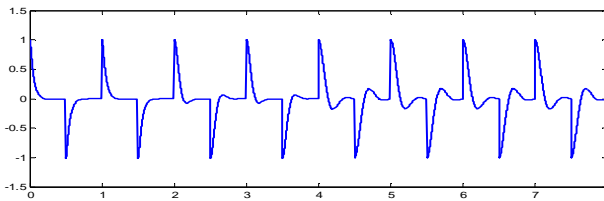
- đường màu đen: tín hiệu đặt  $x_d^*$ .

- đường màu đỏ: tín hiệu đã qua mô hình mẫu  $x_m$
- đường màu xanh: tín hiệu ra  $x_p$ .

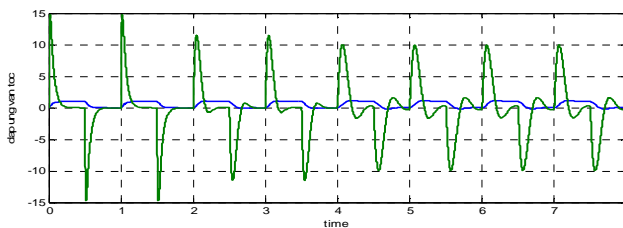
## 2. Đáp ứng dòng



## 3. Đáp ứng sai số



## 4. Đáp ứng vận tốc



**Kết luận:** Sử dụng bộ điều khiển PI cho đáp ứng tốt với trường hợp 1 là trường hợp tải nhẹ. Đáp ứng vị trí bám sát với tín hiệu đặt. Độ vọt ló không đáng kể. Tuy nhiên trong hai trường hợp tiếp theo khi tăng tải lên gấp 4 lần (sau 4 step đầu) và 7 lần (sau 8 step đầu) đặc tính điều khiển không còn tốt nữa. Đáp ứng vị trí

không còn bám sát tín hiệu đặt mà xuất hiện hiện tượng vọt lố (overshoot) từ 7% đến 18%.

## 5.2. Bộ điều khiển vị trí động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu sử dụng bộ điều khiển mờ.

### 5.2.1. Thiết kế mô phỏng

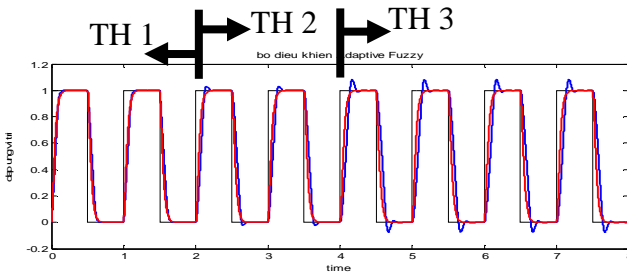
Thông số bảng mờ:

ou =						
-6	-6	-4	-4	-2	-2	0
-6	-4	-4	-2	-2	0	2
-4	-4	-2	-2	0	2	2
-4	-2	-2	0	2	2	4
-2	-2	0	2	2	4	2
-2	0	2	2	4	4	6
0	2	2	4	4	6	6

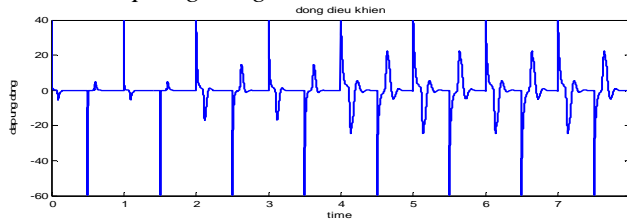
Khâu PI: Chọn  $K_p=5$ ;  $K_i=0.001$ ;  $K_v=2$ ;  $K_f=64$  [9]

### 5.2.2. Kết quả mô phỏng

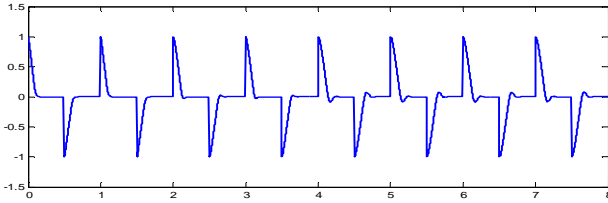
#### 1. Đáp ứng vị trí



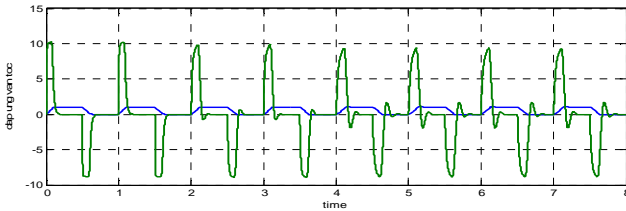
#### 2. Đáp ứng dòng



#### 3. Đáp ứng sai số

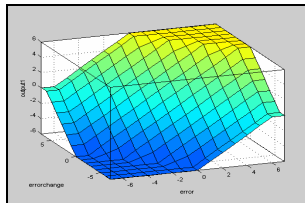


#### 4. Đáp ứng vận tốc



#### 5. Thông số bảng mờ

ou =						
-6	-6	-4	-4	-2	-2	0
-6	-4	-4	-2	-2	0	2
-4	-4	-2	-2	0	2	2
-4	-2	-2	0	2	2	4
-2	-2	0	2	2	4	2
-2	0	2	2	4	4	6
0	2	2	4	4	6	6



Surface thông số bảng mờ

**Kết luận:** So với sử dụng bộ điều khiển PI, bộ điều khiển mờ thông thường cho kết quả tốt hơn trong cả 2 trường hợp tải vừa và tải nặng. Trường hợp tải nhẹ cho đáp ứng vị trí tốt, tín hiệu ra bám khá sát tín

hiệu đặt. Trường hợp tải vừa và tải nặng xuất hiện vọt lố (overshoot) lần lượt khoảng 2% và 9%. Tuy nhiên ta thấy độ vọt lố xuất hiện trong tất cả quá trình làm việc. Khi tải nặng lên gấp 7 lần độ vọt lố là khá lớn ảnh hưởng chất lượng của phương án điều khiển. Như vậy, bộ điều khiển mờ xuất hiện hạn chế trong trường hợp tải nặng.

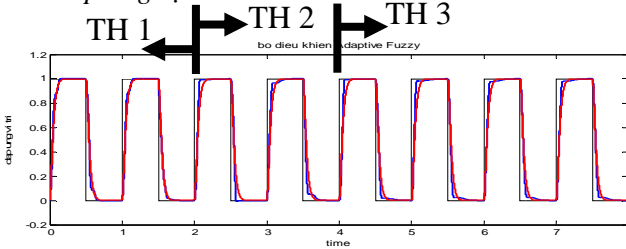
### 5.3. Bộ điều khiển vị trí động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu sử dụng bộ điều khiển mờ thích nghi.

#### 5.3.1. Thiết kế mô phỏng

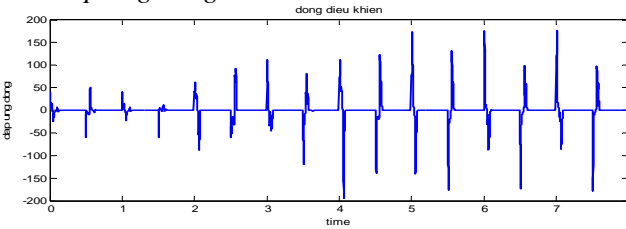
Hệ số  $\alpha$  chọn bằng 0,7. Giới hạn thông số bảng mờ sau khi hiệu chỉnh là  $(-20 \div 20)$ .

#### 5.3.2. Kết quả mô phỏng

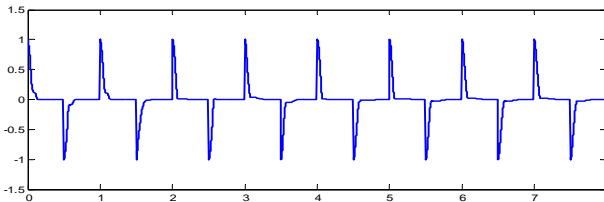
##### 1. Đáp ứng vị trí



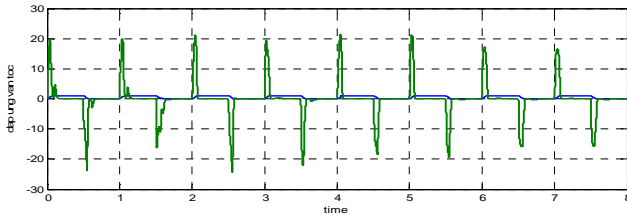
##### 2. Đáp ứng dòng



##### 3. Đáp ứng sai số



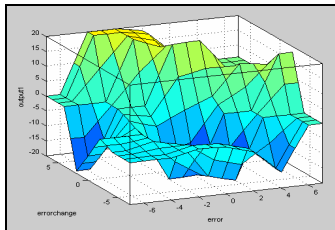
#### 4. Đáp ứng vận tốc



#### 5. Thông số bảng mờ

ou =

-6.0200	-6.0000	-4.0000	-4.3264	-6.9642	-14.7312	0
-6.0000	-4.0000	-5.8488	-17.6531	-20.0000	0	0
-4.0000	-4.0000	-19.9198	-19.6459	0	0	18.1387
-11.8460	-1.7043	-4.6094	0	3.6464	13.5065	12.2608
-19.3118	0	0	19.4700	20.0000	9.4529	2.0000
0	0	20.00	16.4303	10.2902	4.1179	6.0000
0	20.00	20.00	18.4303	10.2902	6.1179	6.0000



*Surface thông số bảng mờ bộ điều khiển mờ thích nghi*

**Kết luận:** So với bộ điều khiển PI và mờ, bộ điều khiển mờ thích nghi cho đáp ứng vị trí tốt hơn trong trường hợp tải nặng. Ta thấy khi nâng tải lên 4 lần và 7 lần bộ điều khiển PI xuất hiện vọt lố lần lượt 7% và 18% và 2% và 9% đối với bộ điều khiển mờ thông thường. Xem xét bộ điều khiển mờ thích nghi tín hiệu ra bám khá sát tín hiệu đặt. Tuy có vọt lố khi tải nặng nhưng nhờ sự thích nghi tín hiệu đã được ‘kéo’ nhanh chóng bám vào giá trị đặt ở ngay step tiếp theo.



## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. Kết luận

Trong một hệ thống đang vận hành, các tải trọng thường xuyên thay đổi đã làm cho các phương pháp điều khiển kinh điển gặp nhiều khó khăn trong việc kiểm soát nó. Nội dung của luận văn này là đưa ra một phương pháp nhằm khắc phục những tình huống phụ tải của hệ thống bị đưa lên cao gấp nhiều lần. Phương pháp được chọn đó là hiệu chỉnh tham số của bảng mờ trong bộ điều khiển mờ thông thường; là phương pháp mờ thích nghi nên khả năng đáp ứng trong nhiều trường hợp thay đổi tải khác nhau là khá tốt, tín hiệu ra luôn được ‘kéo’ về trạng thái ổn định theo tín hiệu đặt.

Bằng việc so sánh ba bộ điều khiển, bộ điều khiển kinh điển PI, bộ điều khiển mờ thông thường, bộ điều khiển mờ thích nghi xây dựng trên nền tảng bộ điều khiển mờ thông thường thêm khâu thích nghi, đã chứng minh được bộ điều khiển mờ thích nghi rõ ràng cho kết quả tốt hơn đặc biệt trong trường hợp tải nặng. Đáp ứng vị trí cho kết quả tốt, giao động chỉ xuất hiện trong một vài step đầu tiên, sau đó đã bám sát vào tín hiệu đặt và hệ thống làm việc ổn định.

Mặc dù mô phỏng chứng minh cho kết quả khá lạc quan, tuy nhiên giới hạn của việc hiệu chỉnh các thông số của bảng mờ phải được kiểm soát (trong luận văn này là  $[-20,20]$ ). Nếu không giới hạn thì việc hiệu chỉnh tham số này sẽ vượt khỏi tầm kiểm soát và bảng mờ sau khi hiệu chỉnh sẽ không còn giữ được các quan hệ điều khiển cần thiết, hệ thống sẽ bị giao động, mất kiểm soát. Bên cạnh đó việc chọn hệ số ‘học thích nghi’  $\alpha_1$  dựa vào thực nghiệm và kinh nghiệm

của người vận hành nên mất nhiều thời gian và phải tiến hành thực nghiệm nhiều lần.

## **2. Kiến nghị**

Hướng phát triển của đề tài là xây dựng thực nghiệm để đánh giá toàn diện hơn về tính khả thi của phương án. Mở rộng sang nghiên cứu bộ điều khiển Nơ-ron mờ để điều khiển vị trí cho động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu; một khớp và hai khớp.