

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

PHAN CUỜNG

**ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU
BẰNG PHƯƠNG PHÁP 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 được hoàn thành tại
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

Người hướng dẫn khoa học: **TS. NGUYỄN ANH DUY**

Phản biện 1: **PGS.TS. BÙI QUỐC KHÁNH**

Phản biện 2: **TS. NGUYỄN ĐỨC THÀNH**

Luận văn được bảo vệ tại Hội đồng chấm Luận văn tốt nghiệp thạc sĩ kỹ thuật họp tại Đại học Đà Nẵng vào ngày 9 tháng 6 năm 2012

Có thể tìm hiểu luận văn tại:

- Trung tâm Thông tin - Học liệu, Đại học Đà Nẵng
- Trung tâm Học liệu, Đại học Đà Nẵng.

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Ngày nay, động cơ điện đồng bộ được sử dụng nhiều trong lĩnh vực điều khiển, trong công nghiệp vì nó có những đặc điểm vượt trội như hiệu suất, $\cos \varphi$ cao, tốc độ ít phụ thuộc vào điện áp. Tuy nhiên, việc điều khiển động cơ đồng bộ còn tương đối khó khăn, do đặc tính phi tuyến mạnh. Những khó khăn trong việc ứng dụng động cơ đồng bộ chính là làm thế nào để có thể dễ dàng điều chỉnh tốc độ như việc điều chỉnh động cơ một chiều. Vì vậy, ý tưởng về việc biến đổi máy điện xoay chiều thành máy điện một chiều trên phương diện điều khiển đã ra đời. Điều khiển vector sẽ cho phép điều khiển từ thông và moment hoàn toàn độc lập với nhau thông qua điều khiển giá trị tức thời của dòng hoặc giá trị tức thời của áp. Điều khiển vector cho phép tạo ra những phản ứng nhanh và chính xác của từ thông và moment trong quá trình quá độ cũng như quá trình xác lập.

Cũng như các hệ thống điều khiển khác, chất lượng các hệ điều khiển truyền động điện phụ thuộc rất nhiều vào chất lượng của các bộ điều khiển, ở đó hệ thống phải tạo ra được khả năng thay đổi tốc độ trơn, mịn với phạm vi điều chỉnh rộng, độ chính xác của đại lượng điều chỉnh ở chế độ tĩnh cao để tạo nên vùng làm việc với sai số nhỏ, hệ làm việc với bất cứ quá trình quá độ nào cũng phải đạt được độ ổn định cao và hệ phải có khả năng đáp ứng nhanh với yêu cầu điều chỉnh. Tất cả những điều này thực sự đã đặt ra những yêu cầu càng ngày càng khắt khe hơn cho các hệ thống truyền động.

Để giải quyết những vấn đề trên, nhiều giải thuật điều khiển động cơ đồng bộ đã được nghiên cứu và ứng dụng trong lĩnh vực truyền động điện như: Phương pháp điều khiển vector (Điều khiển trực tiếp moment (Direct Torque Control- DTC), điều khiển tựa theo từ thông (Field Orientated Control- FOC)), phương pháp điều khiển vô hướng (Điều khiển $V/f = \text{hằng số}$).

Hiện nay, các phương pháp này đang được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực điều khiển hệ truyền động động cơ đồng bộ. Tuy nhiên, bên cạnh những ưu điểm, các phương pháp trên vẫn tồn tại những khuyết điểm như:

- Với điều khiển $V/f = \text{hằng số}$, chỉ dùng cho hệ truyền động có đặc tính thấp.
- Với phương pháp điều khiển trực tiếp moment, thì đáp ứng tốc độ thấp, moment điều chỉnh không trơn.
- Điều khiển tựa theo từ thông thì ở tốc độ trên danh định động cơ bị mất đồng bộ.

Nhằm hạn chế những khuyết điểm trên và nâng cao chất lượng hệ truyền động thì bài toán mờ thích nghi kết hợp với các phương pháp điều khiển thông thường trên đang là một hướng nghiên cứu đầy triển vọng trong lĩnh vực điều khiển truyền động điện xoay chiều.

Với mong muốn tìm hiểu sâu về lĩnh vực truyền động điện xoay chiều, người nghiên cứu chọn đề tài **“điều khiển động cơ đồng bộ mam châm vĩnh cửu bằng phương pháp mờ - thích nghi”** làm đề tài cho luận văn Thạc sĩ.

2. Mục tiêu của đề tài

- Thiết kế các bộ điều khiển PI kinh điển để điều khiển tốc độ của động cơ.

- Ứng dụng phương pháp mờ có thích nghi điều khiển động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

➤ *Đối tượng nghiên cứu:*

Động cơ điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu xoay chiều ba pha

➤ *Phạm vi nghiên cứu:*

- Tìm hiểu các phương pháp điều khiển hệ truyền động động cơ đồng bộ như:

+ Phương pháp điều khiển vô hướng (điều khiển V/f = hằng số)

+ Phương pháp điều khiển vector:

▪ Điều khiển trực tiếp moment (Direct Torque Control - DTC)

▪ Phương pháp điều khiển tựa theo từ thông (Field Orientated Control - FOC)

Trong đó, Người nghiên cứu sử dụng phương pháp điều khiển tựa theo từ thông rotor làm hướng nghiên cứu chính.

- Xây dựng mô hình điều khiển hệ truyền động động cơ đồng bộ bằng phương pháp tựa theo từ thông rotor, sử dụng bộ điều khiển PI để điều khiển tốc độ của động cơ.

- Sử dụng phương pháp mờ thích nghi điều khiển động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu.

4. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu lý thuyết và tìm hiểu cấu trúc của truyền động điện xoay chiều ba pha, qua đó phân tích và thiết kế các bộ điều khiển.

Xây dựng mô hình, mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink để kiểm chứng, đánh giá và rút ra kết luận.

5. Ý nghĩa của đề tài

Đề tài là tài liệu tham khảo hữu ích cho những ai quan tâm đến phương pháp điều khiển động cơ điện đồng bộ xoay chiều ba pha nam châm vĩnh cửu cách thức thiết kế và mô hình hóa các bộ điều khiển mô phỏng trên Matlab/Simulink

Với kết quả nghiên cứu của đề tài có thể sẽ góp phần hoàn thiện một phương pháp điều khiển mới, khắc phục được một số nhược điểm của các phương pháp điều khiển kinh điển, từ đó mở ra một tiềm năng áp dụng cài đặt vào các thiết bị điều khiển trong thương mại, để giải quyết vấn đề cấp bách hiện nay là nâng cao chất lượng điều khiển hệ truyền động động cơ điện đồng bộ.

Ngoài phần mở đầu và kết luận, bản luận văn được chia thành 4 chương:

Chương 1. Tổng quan về động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM)

Chương 2. Một số phương pháp điều khiển trong truyền động động cơ xoay chiều ba pha

Chương 3. Giới thiệu về điều khiển mờ và điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu MRACS

Chương 4. Ứng dụng phương pháp mờ thích nghi điều khiển động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM

CHÂM VĨNH CỬU

1.1. Giới thiệu về động cơ PMSM

1.2. Vector không gian của các đại lượng ba pha

1.2.1. Xây dựng vector không gian

1.2.2. Chuyển hệ tọa độ cho vector không gian

1.2.3. Biểu diễn các vector không gian trên hệ tọa độ từ thông rotor

1.3. Mô hình của động cơ PMSM ba pha

1.3.1. Lý do xây dựng mô hình

1.3.2. Hệ phương trình cơ bản của động cơ

1.3.3. Các tham số của động cơ

1.3.4. Mô hình trạng thái của động cơ trên hệ tọa độ rotor

(dq)

Quan sát động cơ PMSM cực lõi có khe từ ở vị trí giữa phiến (vị trí đỉnh cực, vị trí trục d) bé hơn khe từ ở vị trí tiếp giáp giữa hai phiến (vị trí trục q) nên điện cảm stator trên hai trục d,q khác nhau

- Phương trình từ thông

$$\begin{cases} \Psi_{sd} = L_{sd}i_{sd} + \Psi_p \\ \Psi_{sq} = L_{sq}i_{sq} \end{cases} \quad (1.19)$$

L_{sd} điện cảm Stator đo ở vị trí dọc đỉnh cực

L_{sq} điện cảm Stator đo ở vị trí ngang cực

Thay phương trình từ thông vào phương trình (1.15) và viết lại dưới dạng phương trình các phần tử ta thu được:

$$\begin{cases} u_{sd} = R_s i_{sd} + L_{sd} \frac{di_{sd}}{dt} - \omega_s L_{sq} i_{sq} \\ u_{sq} = R_s i_{sq} + L_{sq} \frac{di_{sq}}{dt} + \omega_s L_{sd} i_{sd} + \omega_s \Psi_p \end{cases} \quad (1.20)$$

Phương trình dòng điện

$$\begin{cases} \frac{di_{sd}}{dt} = -\frac{1}{T_{sd}} i_{sd} + \omega_s \frac{L_{sq}}{L_{sd}} i_{sq} + \frac{1}{L_{sd}} u_{sd} \\ \frac{di_{sq}}{dt} = -\omega_s \frac{L_{sd}}{L_{sq}} i_{sd} - \frac{1}{T_{sq}} i_{sq} + \frac{1}{L_{sq}} u_{sq} - \omega_s \frac{\Psi_p}{L_{sq}} \end{cases} \quad (1.21)$$

-Phương trình momen của động cơ PMSM

$$m_M = \frac{3}{2} p_c (\Psi_{sd} i_{sq} - \Psi_{sq} i_{sd})$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{3}{2} p_c [\psi_p i_{sq} + i_{sd} i_{sq} (L_{sd} - L_{sq})] \\
&= \frac{3}{2} p_c \left[\left(\frac{\psi_p}{L_{sd}} + i_{sd} \right) L_{sd} i_{sq} - L_{sq} i_{sd} i_{sq} \right] \quad (1.22)
\end{aligned}$$

Từ các phương trình (1.21) và (1.22) ta xây dựng mô hình động cơ

CHƯƠNG 2

CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN TRONG TRUYỀN ĐỘNG ĐỘNG CƠ ĐIỆN XOAY CHIỀU BA PHA

2.1. Thiết bị biến tần

2.1.1. Mô tả về cấu trúc bộ biến tần

2.1.2. Mô tả toán học bộ biến tần

2.2. Phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM)

2.3. Phương pháp điều chế vector không gian (SVM)

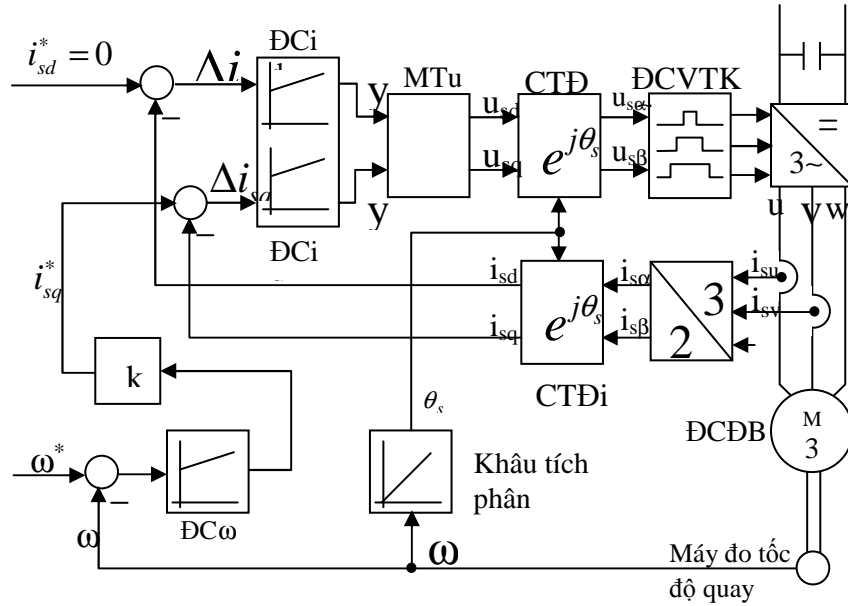
2.4. Điều khiển tựa theo từ thông rotor trong truyền động động cơ PMSM

2.4.1. Điều kiện điều khiển moment tối ưu

2.4.2. Cơ sở của phương pháp tựa theo từ thông rotor

2.4.3. Cấu trúc truyền động động cơ PMSM tựa theo từ thông rotor

2.4.3.1. Sơ đồ nguyên lý điều khiển tựa theo từ thông rotor



Hình 2.20 Cấu trúc truyền động động cơ đồng bộ nuôi bởi biến tần nguồn áp và điều khiển tựa theo từ thông

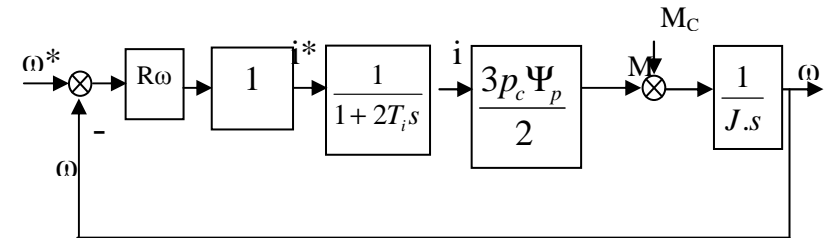
2.4.3.2. Nguyên lý điều khiển tựa theo từ thông rotor

2.4.3.3. Xây dựng thuật toán điều khiển

2.4.3.4. Tổng hợp bộ điều khiển tựa theo từ thông rotor hệ biến tần – động cơ đồng bộ ba pha sử dụng các khâu điều chỉnh tuyến tính theo luật PI

- Tổng hợp bộ điều chỉnh tốc độ

Mạch vòng điều khiển tốc độ:



Hình 2.22 Mạch vòng điều khiển tốc độ

Đặt: $K_1 = 1$; $K_2 = \frac{3p_c \Psi_p}{2}$

Hàm truyền hở : $S_0(s) = \frac{K_1 K_2}{(1 + 2T_i s).J.s}$

Bộ điều khiển tốc độ theo tiêu chuẩn tối ưu đối xứng:

$$R_{\omega} = \frac{1 + 8T_i s}{K_1 K_2 \frac{1}{J} T_i^2 s} = \frac{8 \cdot J \cdot T_i}{K_1 K_2 \cdot T_i^2} + \frac{J}{K_1 K_2 T_i^2 s}$$

$$= K_{pw} + \frac{K_{iw}}{s} = K_{pw} + \frac{K_{pw}}{8 \cdot T_i \cdot s}$$

CHƯƠNG 3

GIỚI THIỆU VỀ ĐIỀU KHIỂN MỜ VÀ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI THEO MÔ HÌNH MẪU MRACS

3.1. Điều khiển mờ

3.1.1. Tổng quan về điều khiển mờ

3.1.2. Định nghĩa tập mờ

3.1.3. Mô hình mờ Mamdani

3.1.4. Một vài dạng hàm liên thuộc thường được sử dụng

3.1.5. Cấu trúc bộ điều khiển mờ

3.1.6. Tổng hợp bộ điều khiển mờ

Đối với bộ điều khiển mờ theo mô hình Mamdani, thực hiện theo các bước sau:

- Định nghĩa tất cả các biến ngôn ngữ vào/ra
- Định nghĩa tập mờ (giá trị ngôn ngữ) cho các biến vào/ra:
- + Xác định miền giá trị vật lý cho các biến ngôn ngữ vào/ra
- + Xác định số lượng tập mờ cần thiết
- + Xác định kiểu hàm liên thuộc

+ Rời rạc hoá các tập mờ

- Xây dựng các luật điều khiển (các mệnh đề hợp thành)
- Chọn thiết bị hợp thành mờ (max-Min hay sum-Min,...)
- Chọn phương pháp giải mờ
- Tối ưu hệ thống

3.2. Điều khiển thích nghi theo mẫu

3.2.1 Giới thiệu chung.

3.2.2. Hệ thống thích nghi theo mô hình mẫu

3.2.3. Luật thích nghi.

3.2.3.1. Phương pháp độ nhạy (luật MIT).

3.2.3.2. Gradient và phương pháp bình phương bé nhất dựa trên tiêu chí đánh giá hàm chi phí sai số.

3.2.3.3. Hàm Lyapunov

CHƯƠNG 4

**ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP MỜ - THÍCH NGHI
ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM
VĨNH CỬU**

4.1. Đặt vấn đề:

4.2. Mô hình cơ bản của bộ điều khiển mờ thích nghi

4.3. Thiết kế bộ điều khiển mờ thích nghi

4.3.1. Thiết kế bộ điều khiển mờ

4.3.2. Đối với khâu chỉnh định mờ của bộ điều chỉnh tốc độ R_{ω}

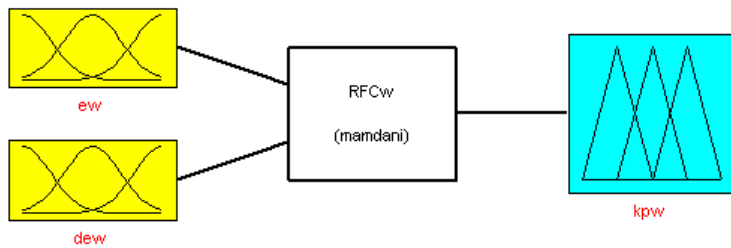
4.3.3. Đối với khâu chỉnh định mờ của bộ điều chỉnh dòng R_{22}

4.4. Xây dựng cấu trúc các bộ điều khiển mờ

4.4.1. Xây dựng cấu trúc cho bộ điều khiển mờ

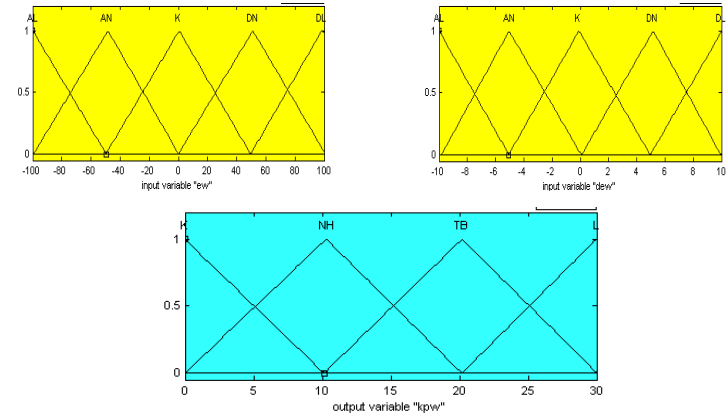
Bộ chỉnh định mờ của R_{ω} có hai đầu vào là e_{ω} và $\frac{de_{\omega}}{dt}$ và một

đầu ra là $K_{P\omega}$ với sơ đồ cấu trúc như hình 4.2.



Hình 4.2 Cấu trúc bộ điều chỉnh mờ chỉnh định $K_{P\omega}$ của R_{ω}

Hàm thuộc tương ứng:

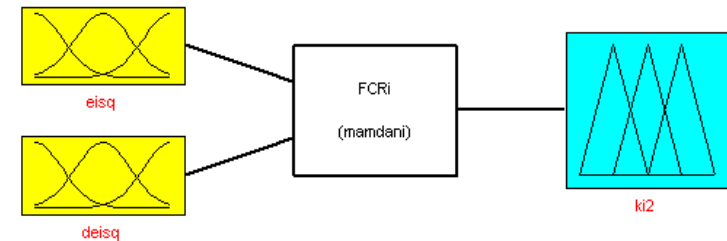


Hình 4.3 Hàm thuộc bộ điều chỉnh mờ chỉnh định $K_{P\omega}$ của R_{ω}

4.4.2. Xây dựng cấu trúc cho bộ điều khiển mờ chỉnh định K_{i2} của R_{22}

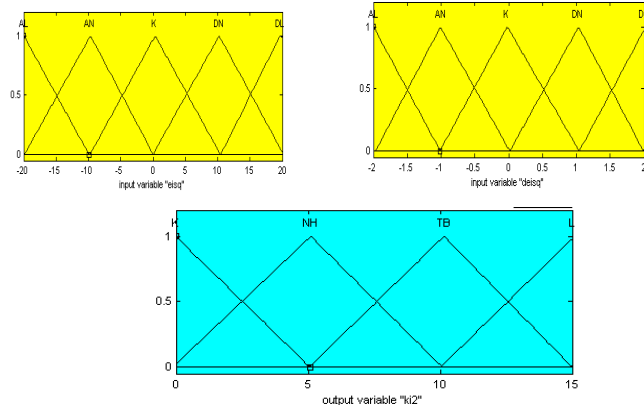
Bộ chỉnh định mờ có hai đầu vào là e_{isq} và $\frac{de_{isq}}{dt}$ và một đầu ra là

K_{i2} với sơ đồ cấu trúc như hình 4.3.



Hình 4.4 Cấu trúc bộ điều chỉnh mờ chỉnh định K_{i2} của R_{ω}

Hàm thuộc tương ứng:



Hình 4.5 Hàm thuộc bộ điều chỉnh mờ chỉnh định K_{i2} của R_{ω}

4.5. Xây dựng luật điều khiển

- Tổng hợp luật chỉnh định K_p .

Bảng 4.2 Luật chỉnh định K_p

		$\frac{de(t)}{dt}$				
		AL	AN	K	DN	DL
e(t)	AL	L	L	L	L	L
	AN	NH	NH	NH	TB	L
	K	NH	TB	K	TB	L
	DN	L	TB	TB	TB	NH
	DL	NH	NH	NH	NH	NH

- Tổng hợp luật chỉnh định K_i .

Bảng 4.3 Luật chỉnh định K_i

		$\frac{de(t)}{dt}$				
		AL	AN	K	DN	DL
e(t)	AL	L	L	K	NH	L
	AN	TB	NH	NH	TB	L
	K	NH	TB	K	L	NH
	DN	TB	L	L	TB	TB
	DL	NH	NH	K	NH	NH

4.6. Tổng hợp các khâu trong bộ điều khiển mờ

4.6.1. Bộ điều khiển mờ của R_{ω}

4.6.2. Bộ điều khiển mờ của R_{22}

4.7. Thiết kế cơ cấu thích nghi

Cơ cấu thích nghi được thiết kế theo luật tiệm cận Gradient [8]

$$\frac{dK}{dt} = \gamma \cdot G_m \frac{e_{rm} \cdot e}{K}$$

Trong đó, K hệ số khuếch đại đầu ra của bộ điều khiển mờ

γ : nói lên tốc độ hội tụ của thuật toán thích nghi, nó

được lựa chọn và kiểm chứng quá kết quả mô phỏng

$e_{rm} = \omega_m - \omega_r$: sai lệch giữa tốc độ của mô hình và

tốc độ ra của động cơ

$e = \omega^* - \omega_r$: sai lệch giữa tốc độ đặt với tốc độ ra

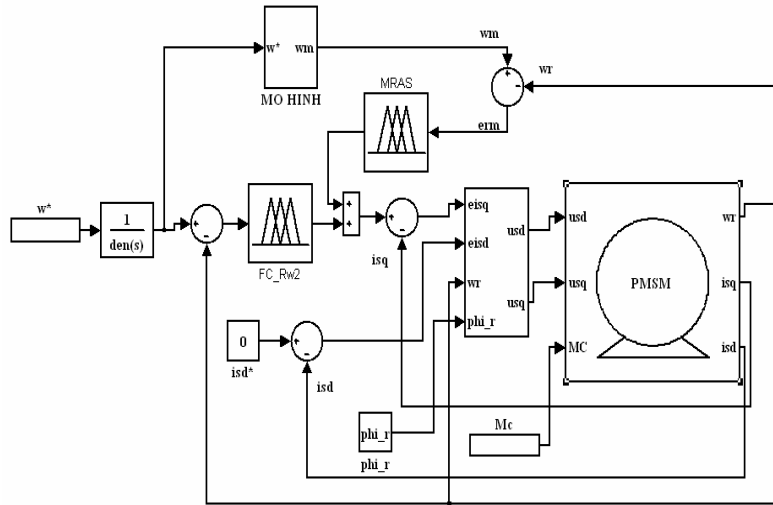
của động cơ

G_m : hàm truyền của mô hình mẫu

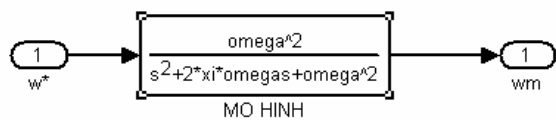
4.8. Kết quả mô phỏng trên Matlab/Simulink

4.8.1. Các sơ đồ mô phỏng

Các sơ đồ mô phỏng như sau:



Hình 4.8 Sơ đồ mô phỏng điều khiển động cơ bằng phương pháp mờ thích nghi

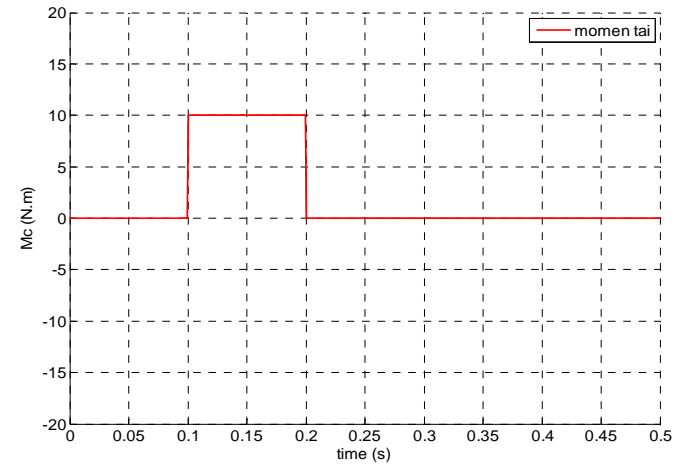


Hình 4.9 Hàm truyền của mô hình mẫu

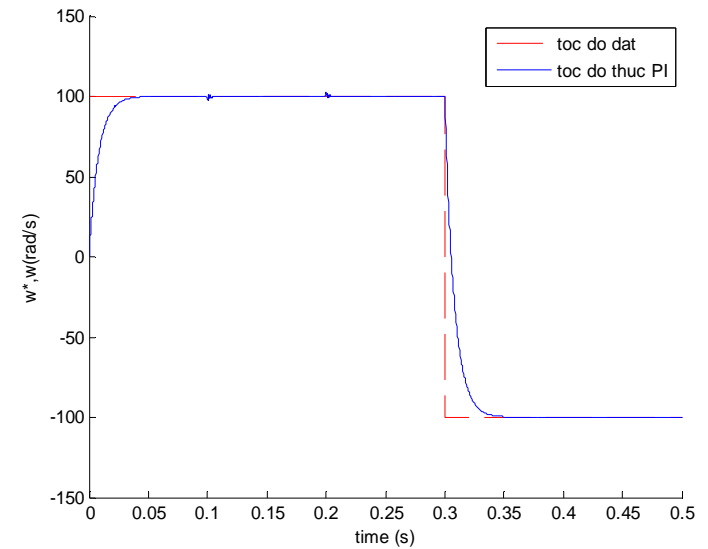
4.8.2. Các kết quả mô phỏng

4.8.2.1. Các kết quả mô phỏng với bộ điều khiển PI

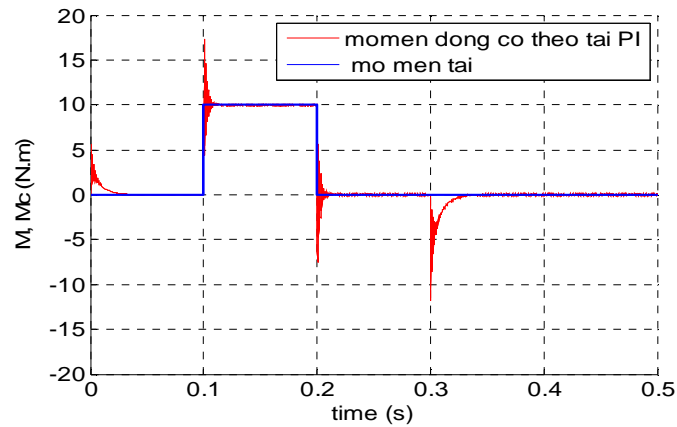
Để có cơ sở cho việc so sánh và thiết kế bộ điều khiển mờ thích nghi, đề tài xây dựng bộ điều khiển PI trên mô hình động cơ tựa theo từ thông rotor. Kết quả mô phỏng như sau:



Hình 4.10 Đáp ứng mô men tải 0.1s đóng tải= M_{dm}, 0.2s cắt tải



Hình 4.11 Đáp ứng tốc độ theo tải bộ điều khiển PI

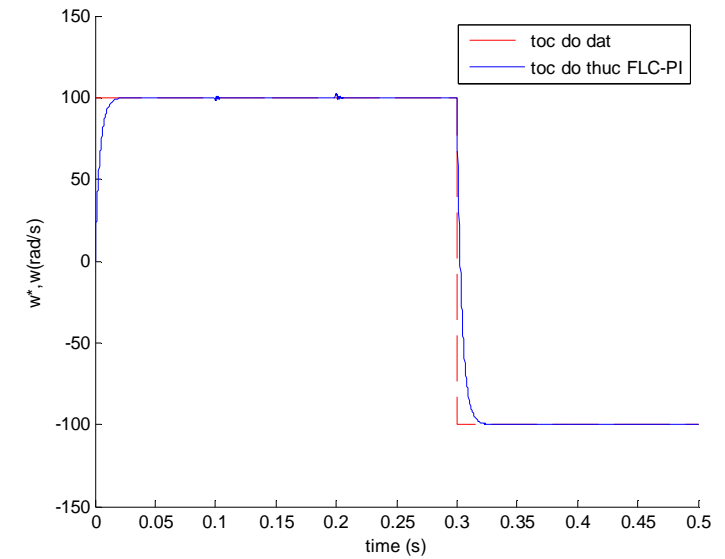


Hình 4.12 Đáp ứng mô men theo tải bộ điều khiển PI

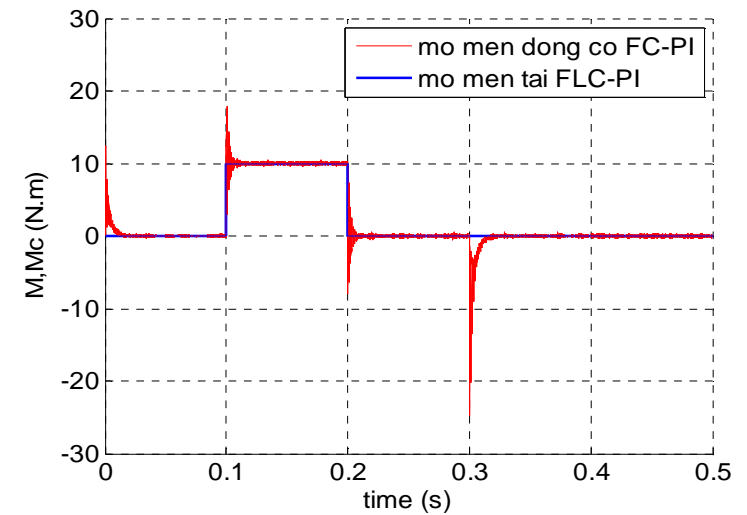
Nhận xét:

- Đáp ứng tốc độ bám theo tốc độ đặt khi mô men tải thay đổi
- Thời gian quá độ 0.05s
- Lượng quá điều chỉnh đáp ứng tốc độ khá lớn (lớn nhất 2.2%) trong quá trình thay đổi mô men tải ($M_c = M_{đm}$).
- Khi đảo chiều động cơ: đáp ứng tốc độ mất 0.05s mới bám sát tốc độ đặt

4.8.2.2. Các kết quả mô phỏng với bộ điều khiển mờ



Hình 4.13 Đáp ứng tốc độ theo tải bộ điều khiển mờ

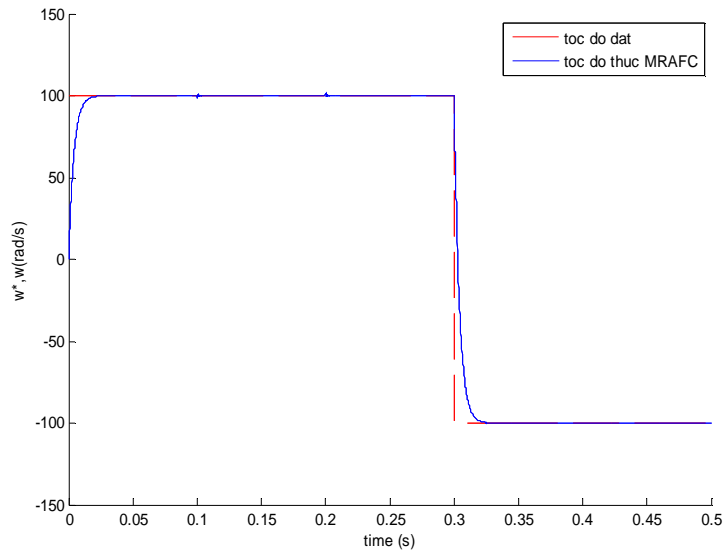


Hình 4.14 Đáp ứng mô men theo tải bộ điều khiển mờ

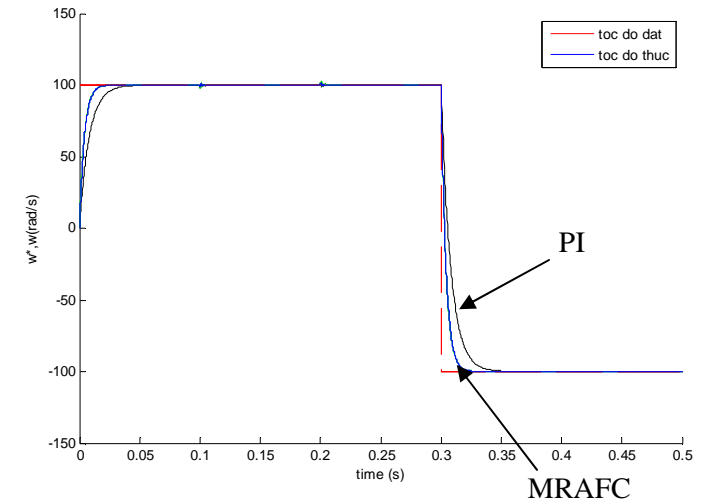
Nhận xét:

- Với thiết kế bộ FC-PI cho đáp ứng tốc độ bám theo tốc độ đặt khi mô mem tải thay đổi
- Thời gian quá độ giảm xuống chỉ còn 0.024s
- Giảm độ dao động lớn nhất khi mô mem tải thay đổi ($M_c = M_{dm}$) xuống còn 2,02% thay vì 2.2% như bộ điều khiển PI .
- Khi đảo chiều động cơ: đáp ứng tốc độ sau 0.024s thì bám tốc độ đặt trong khi bộ đk PI là 0.05s

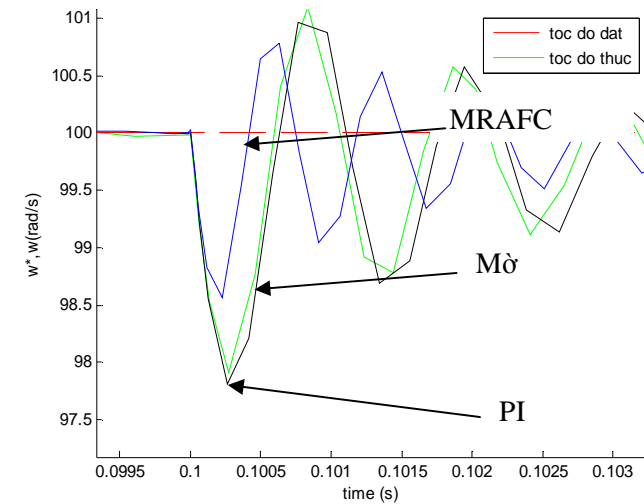
4.8.2.3. Các kết quả mô phỏng với bộ điều khiển mờ thích nghi



Hình 4.15 Đáp ứng tốc độ theo tải bộ điều khiển mờ thích nghi



Hình 4.16 So sánh đáp ứng tốc độ giữa các bộ điều khiển mờ thích nghi, mờ và PI



Hình 4.17 Phóng to khi đóng tải của ba bộ điều khiển

Bảng so sánh giữa ba bộ điều khiển:

Bảng 4.5 So sánh các bộ điều khiển

Bộ điều khiển	T _q (s)	POT(%) khi M _c =M _{dm}	T _{đc} (s)
PI	0.05	2.2%	0.05
Mờ	0.024	2.02%	0.024
Mờ thích nghi	0.024	1.5%	0.024

Các kết quả mô phỏng cho thấy thời gian quá độ của bộ PI lớn hơn của bộ mờ và mờ thích nghi. Hai bộ điều khiển Mờ và mờ thích nghi có thời gian quá độ gần giống nhau. Khi đảo chiều động cơ thì thời gian để tiến tới tốc độ đặt gần giống nhau. Khi có mô men tải tác động ($M_c = M_{dm}$): Bộ điều khiển PI có lượng quá điều chỉnh lớn hơn bộ điều khiển mờ và mờ thích nghi

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

- **Luyện văn đã thực hiện được:**

- Tìm hiểu một số phương pháp điều khiển động cơ điện xoay chiều 3 pha.
- Tìm hiểu mô hình động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu và xây dựng mô hình động cơ trên hệ tọa độ dq.
- Xây dựng bộ điều khiển PI mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink
- Xây dựng phương pháp mờ chỉnh định tham số K_p của bộ PI
- Xây dựng và mô phỏng phương pháp mờ thích nghi điều khiển động cơ đồng bộ kích thích vĩnh cửu cho đáp ứng tốt.

- **Đề xuất hướng phát triển:**

- Đề tài mới chỉ đưa ra cách giải quyết vấn đề trên cơ sở lý thuyết và thử nghiệm bằng mô hình mô phỏng, do vậy khi triển khai trong thực tiễn chắc chắn sẽ còn nhiều vấn đề phải quan tâm.
- Phương pháp mờ thích nghi rất khó trong việc phân tích kết quả điều khiển vì tính phi tuyến và sự thay đổi liên tục theo thời gian của hệ thống. Xây dựng bộ điều khiển mờ nơ ron là một hướng đi khác cho đề tài.