

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP



ĐỖ QUỐC VƯƠNG

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ
ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KHOA HỌC
KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN VÀ TỰ ĐỘNG HÓA**

Thái Nguyên - Năm 2019

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP



ĐỖ QUỐC VƯƠNG

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ
ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU**

Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa

LUẬN VĂN THẠC SĨ KHOA HỌC
KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN VÀ TỰ ĐỘNG HÓA

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

TS. NGUYỄN THỊ MAI HƯƠNG

Thái Nguyên – Năm 2019

LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là: **Đỗ Quốc Vương**

Sinh ngày 09 tháng 03 năm 1979

Học viên lớp cao học khoá 20 chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa - Trường đại học kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên.

Hiện đang công tác tại: Trung tâm kiểm định chất lượng công trình xây dựng Cao Bằng - Sở xây dựng Cao Bằng.

Tôi xin cam đoan luận văn “**Nghiên cứu thiết kế hệ thống điều khiển tốc độ động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu**” do cô giáo TS. **Nguyễn Thị Mai Hương** hướng dẫn là nghiên cứu của tôi với tất cả các tài liệu tham khảo đều có nguồn gốc, xuất xứ rõ ràng.

Thái Nguyên, ngày.....tháng năm 2019

Học viên

Đỗ Quốc Vương

LỜI CẢM ƠN

Sau thời gian nghiên cứu, làm việc khẩn trương và được sự hướng dẫn tận tình giúp đỡ của cô giáo *TS. Nguyễn Thị Mai Hương*, luận văn với đề tài **“Nghiên cứu thiết kế hệ thống điều khiển tốc độ động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu”** đã được hoàn thành.

Tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới:

Cô giáo hướng dẫn *TS. Nguyễn Thị Mai Hương* đã tận tình chỉ dẫn, giúp đỡ tác giả hoàn thành luận văn. Các thầy cô giáo Trường Đại học kỹ thuật công nghiệp Thái Nguyên, và một số đồng nghiệp, đã quan tâm động viên, giúp đỡ tác giả trong suốt quá trình học tập để hoàn thành luận văn này.

Mặc dù đã cố gắng hết sức, tuy nhiên do điều kiện thời gian và kinh nghiệm thực tế của bản thân còn ít, cho nên đề tài không thể tránh khỏi thiếu sót. Vì vậy, tác giả mong nhận được sự đóng góp ý kiến của các thầy giáo, cô giáo và các bạn bè đồng nghiệp cho luận văn của tôi được hoàn thiện hơn.

Tôi xin chân thành cảm ơn!

Thái Nguyên, ngày.....tháng.....năm 2019

Tác giả luận văn

Đỗ Quốc Vương

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
Chương 1: TỔNG QUAN	3
1.1 Giới thiệu về động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu	3
1.1.1. Các loại PMSM	4
1.1.2 Động cơ đồng bộ IPM	9
1.1.3 Một số phương pháp điều khiển PMSM	11
1.2 Phương pháp điều khiển vector PMSM	13
1.2.1 Công thức chuyển đổi Clarke	13
1.2.2 Công thức chuyển đổi Park	15
1.3 Phân tích hoạt động của PMSM	16
1.3.1 Mô hình toán học của PMSM	16
1.3.2 Giới hạn dòng điện và điện áp	17
1.3.3 Các đặc tính của PMSM	19
1.3.4 Đặc tính công suất - tốc độ	21
1.4 Kết luận chương 1	24
Chương 2: ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU	26
2.1 Cấu hình điều khiển cho PMSM	26
2.2 Điều chế độ rộng xung cho bộ nghịch lưu ba pha.	27
2.2.1 Mô hình hóa mạch nghịch lưu nguồn áp ba pha	27
2.2.2 Phương pháp điều chế vector không gian	28
2.3 Thiết kế các bộ điều khiển dòng điện và tốc độ	33
2.3.1 Thiết kế bộ điều khiển dòng điện bằng kỹ thuật hàm chuẩn bậc hai	33
2.3.2 Thiết kế mạch vòng tốc độ theo phương pháp tối ưu đối xứng	38
2.3.3 Mô phỏng và kết quả	39
2.4 Kết luận chương 2	42
Chương 3: THIẾT KẾ MẠCH NGUYÊN LÝ	44
3.1 Mạch công suất	44

3.1.1 Module FSBF10CH60B.....	44
3.1.2 Mạch lái.....	47
3.1.3 Mạch bảo vệ quá dòng	48
3.1.4 Mạch phản hồi điện áp một chiều DC link và các điện áp pha	49
3.1.5 Mạch bảo vệ thấp điện áp	50
3.1.6 Mạch điện trở hãm	51
3.1.7 Mạch nguồn nuôi.....	52
3.1.8 Công suất động cơ.....	53
3.1.9 Tính toán các tổn hao	53
3.2 Mạch điều khiển.....	56
Chương 4: THIẾT KẾ MẠCH IN VÀ PHẦN MỀM	58
4.1 Mô tả hệ thống phần cứng.....	58
4.2 Phần mềm.....	60
4.2.1 Thư viện Firmware ngôn ngữ C viết cho STM32F103ZET6	60
4.2.2 Tổ chức quản lý và nội dung các file thuộc các lớp dùng chung...	60
4.2.3 Tổ chức và nội dung các file nguồn lớp dẫn xuất (derived classes)	68
4.2.4 Thư viện điều khiển động cơ liên quan đến xử lý ngắt.....	76
4.2.5 Danh mục các lớp thư viện Firmware FOC	77
4.3. Kết luận chung:	78
4.4. Kiến nghị:.....	78
TÀI LIỆU THAM KHẢO	79

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Hiện nay động cơ đồng bộ được sử dụng nhiều trong lĩnh vực điều khiển và 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 phức tạp do tính phi tuyến mạnh, do vậy làm cho việc ứng dụng động cơ đồng bộ vào thực tế khó khăn.

2. Đối tượng nghiên cứu

Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu

3. Phạm vi nghiên cứu

- Mô hình hóa và mô phỏng động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu.
- Các phương pháp điều khiển tốc độ động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu.
- Nghiên cứu các phương pháp điều khiển nâng cao cho mạch vòng dòng điện.
- Thiết kế phần cứng và phần mềm nhúng để điều khiển tốc độ động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu theo phương pháp tựa theo từ thông rotor.

4. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài

- Tiếp tục nghiên cứu và hoàn thiện thuật toán điều khiển cho động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu.
- Kiểm nghiệm thuật toán điều khiển thông qua mô phỏng và thực nghiệm.
- Tạo cơ sở khoa học để nghiên cứu cho các thuật toán điều khiển nâng cao hơn.

5. Phương pháp nghiên cứu

Sử dụng các kiến thức cơ bản, cơ sở để xây dựng mô hình toán và thuật toán điều khiển hệ thống.

- Nghiên cứu lý thuyết để xây dựng thuật toán;
- Tiến hành mô phỏng trên mô hình hệ thống. Đánh giá, so sánh các kết quả lý thuyết, kết quả mô phỏng và thực nghiệm.

6. Kết cấu của luận văn:

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

1.1. Giới thiệu về động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu

1.1.1 Các loại PMSM

1.1.2 Động cơ đồng bộ IPM

1.1.3 Một số phương pháp điều khiển PMSM

1.2. Phương pháp điều khiển vector PMSM

1.2.1 Công thức chuyển đổi Clarke

1.2.2 Công thức chuyển đổi Park

1.3. Phân tích hoạt động của PMSM

1.3.1. Mô hình toán học của PMSM

1.3.2. Giới hạn dòng điện và điện áp

1.3.3. Các đặc tính của PMSM

1.3.4 Đặc tính công suất – tốc độ

1.4. Kết luận chương 1

CHƯƠNG 2: ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU

2.1. Cấu hình điều khiển cho PMSM

2.2. Điều chế độ rộng xung cho bộ nghịch lưu ba pha

2.2.1 Mô hình hóa mạch nghịch lưu nguồn áp 3 pha

2.2.2 Phương pháp điều chế vector không gian

2.3. Thiết kế các bộ điều khiển dòng điện và tốc độ

2.3.1 Thiết kế bộ điều khiển dòng điện bằng kỹ thuật hàm chuẩn bậc hai

2.3.2 Thiết kế mạch vòng tốc độ theo phương pháp tối ưu đối xứng

2.3.3 Mô phỏng và kết quả

2.4. Kết luận chương 2

CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ TOÀN BỘ HỆ THỐNG

3.1. Thiết kế mạch lực

3.2. Thiết kế mạch điều khiển

3.3. Xây dựng phần mềm nhúng

CHƯƠNG 4. MÔ PHỎNG VÀ CHẠY THỰC NGHIỆM TRÊN THIẾT BỊ

CHƯƠNG 5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Chương 1: TỔNG QUAN

1.1 Giới thiệu về động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu

Đối với động cơ xoay chiều kích thích bằng nam châm vĩnh cửu, thì nam châm vĩnh cửu thay thế cho cuộn dây kích từ và vành trượt cổ góp dẫn điện như đối với động cơ đồng bộ kích từ bằng cuộn dây (Wound Field Synchronous Machine – WFSM), và động cơ xoay chiều nam châm vĩnh cửu cũng không có cấu tạo lồng sóc như ở rotor của động cơ không đồng bộ (Induction Motor – IM). Nhờ đặc điểm đó, các PMSM có một số ưu điểm nổi bật so với các loại động cơ khác.

Do không có các cuộn dây kích từ bên trong rotor, nên các động cơ xoay chiều nam châm vĩnh cửu có khối lượng nhỏ và mômen quán tính thấp, điều này giúp cho động cơ đáp ứng mômen nhanh hơn. Thêm vào đó, cường độ từ trường của động cơ này vẫn lớn trong khi thể tích của động cơ có thể giảm

xuống. Hơn nữa, vì không cần năng lượng để từ hóa động cơ và không có tổn thất đồng ở rotor, nên PMSM có hiệu suất cao hơn IM và WFSM. Điều này cũng giúp giảm chi phí và kích thước biến tần dùng cho PMSM. Nhờ không có tổn thất đồng ở rotor, nên rotor PMSM hầu như không tự sinh nhiệt mà còn nhận nhiệt từ phía stator, giúp quá trình tản nhiệt trong động cơ tốt hơn. Đặc biệt, một số PMSM có lợi thế vượt trội là được thêm mômen từ trở trong dải điều khiển giảm từ thông, vì vậy, chúng có thể được thiết kế để có một dải công suất không đổi rộng. Các kết quả trên dẫn đến PMSM có mật độ công suất cao hơn bất kỳ loại động cơ nào khác. Nói cách khác, với cùng một công suất yêu cầu thì PMSM cần một không gian hiệu dụng nhỏ so với các loại động cơ khác.

Về nguyên lý hoạt động, khi nối nguồn ba pha vào các cuộn dây stator của PMSM, dòng điện chạy trong hệ thống ba cuộn dây quấn stator sẽ sinh ra một từ trường quay với tốc độ:

$$n = \frac{60 f_e}{P_n} \quad (1.1)$$

với f_e là tần số dòng điện stator, P_n là số đôi cực của động cơ đồng bộ. Từ trường này sẽ tương tác với từ trường rotor tạo ra mômen kéo rotor quay với tốc độ đúng bằng tốc độ của từ trường quay. Như vậy, từ trường trong động cơ gồm hai thành phần là từ trường rotor và từ trường stator. Từ trường stator là do dòng điện stator tạo thành, còn từ trường rotor là do nam châm vĩnh cửu gắn trên rotor tạo thành.

1.1.1. Các loại PMSM