ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

DƯƠNG QUỐC TUẤN

NGHIÊN CỨU ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ TỪ THÔNG DỌC TRỤC KÍCH TỪ NAM CHÂM VĨNH CỬU

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

THÁI NGUYÊN - 2020

Số hóa bởi Trung tâm Học liệu và Công nghệ thông tin – ĐHTN http://lrc.tnu.edu.vn

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

DƯƠNG QUỐC TUẤN

NGHIÊN CỨU ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ TỪ THÔNG DỌC TRỤC KÍCH TỪ NAM CHÂM VĨNH CỬU

Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa

Mã số: 9 52 02 16

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

PGS.TS. Nguyễn Như Hiển

PGS.TS. Trần Xuân Minh

THÁI NGUYÊN - 2020

Số hóa bởi Trung tâm Học liệu và Công nghệ thông tin – ĐHTN http://lrc.tnu.edu.vn

LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là Dương Quốc Tuấn, hiện đang công tác tại Bộ môn Tự động hóa – Khoa Điện – Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – Đại học Thái Nguyên. Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của cá nhân tôi dưới sự hướng dẫn của tập thể các nhà khoa học và các tài liệu tham khảo đã trích dẫn. Kết quả nghiên cứu là trung thực và chưa được công bố trên bất cứ một công trình nào khác.

Thái Nguyên, ngày tháng 06 năm 2020

Tác giả luận án

Dương Quốc Tuấn

Số hóa bởi Trung tâm Học liệu và Công nghệ thông tin – ĐHTN http://lrc.tnu.edu.vn

LỜI CẢM ƠN

Trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và hoàn thiện luận án này, tôi đã nhận được sự hướng dẫn, giúp đỡ quý báu của các thầy cô, các anh chị, các em, các bạn và các tổ chức. Với lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc tôi xin được bày tỏ lời cảm ơn chân thành tới:

Ban Giám hiệu, Phòng Đào tạo, Khoa Điện của trường đại học Kỹ thuật Công nghiệp thuộc Đại học Thái Nguyên, Viện Nghiên cứu Phát triển Công nghệ cao về Kỹ thuật Công nghiệp thuộc Đại học Thái Nguyên và Đại học Thái Nguyên đã tạo mọi điều kiện thuận lợi giúp đỡ tôi trong quá trình học tập, nghiên cứu và hoàn thiện luận án.

PGS.TS. Nguyễn Như Hiển và PGS.TS. Trần Xuân Minh, những người thầy kính mến đã tận tình hướng dẫn, chỉ bảo, động viên và tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tôi.

Tập thể các nhà khoa học của Bộ môn Tự động hóa, Khoa Điện trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Viện Kỹ thuật Điều khiển và Tự động hóa của trường Đại học Bách khoa Hà Nội, đã có những ý kiến đóng góp quý báu để tôi hoàn chỉnh bản luận án này.

Xin chân thành cảm ơn bố mẹ, các em và người vợ yêu quý cùng con trai đã luôn luôn bên tôi, hết lòng thương yêu, quan tâm, sẻ chia, ủng hộ, động viên tinh thần, tình cảm, tạo điều kiện giúp tôi có nghị lực để hoàn thành quyển luận án này.

Thái Nguyên, ngày tháng 06 năm 2020

Tác giả luận án

Dương Quốc Tuấn

Số hóa bởi Trung tâm Học liệu và Công nghệ thông tin – ĐHTN http://lrc.tnu.edu.vn

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN i
LỜI CẢM ƠN iv
MỤC LỤC v
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU vii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT viii
DANH MỤC HÌNH VẼ xii
MỞ ĐẦU 1
1. Tính cấp thiết của đề tài 1
2. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu 2
3. Mục tiêu của luận án 3
4. Những đóng góp mới, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án 3
5. Bố cục của luận án 4
CHƯƠNG 1 : TỔNG QUAN VỀ ĐCĐB TỪ THÔNG DỌC TRỤC CÓ TÍCH HỢP Ổ ĐỠ TỪ 5
1.1 Mở đầu 5
1.2 Sự phát triển của máy điện đồng bộ kích từ nam châm vĩnh cửu từ thông dọc trục 6
1.3 Các kiểu máy điện từ thông dọc trục kích từ nam châm vĩnh cửu 7
1.3.1 Các cấu hình cơ bản của động cơ đồng bộ từ thông dọc trục 9
1.3.2 Lựa chọn cấu hình động cơ đồng bộ từ thông dọc trục 10
1.3.3 Mô hình truyền thống về ổ đỡ trục động cơ 11
1.3.4 Mô hình ĐC thông dụng sử dụng ổ từ đỡ trục ĐC 11
1.3.5 Mô hình tích hợp ổ từ dọc trục vào động cơ đồng bộ từ thông dọc trục . 13
1.4 Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước 14
1.4.1 Tình hình nghiên cứu trong nước 15
1.4.2 Tình hình nghiên cứu ngoài nước 16
1.5 Định hướng nghiên cứu của luận án 28
1.6 Kết luận 29
CHƯƠNG 2 : MÔ HÌNH HÓA ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ TỪ THÔNG DỌC TRỤC KÍCH TỪ NCVC TÍCH HỢP Ổ ĐỠ TỪ DỌC TRỤC 30
2.1 Cấu tạo và nguyên lý làm việc của động cơ đồng bộ từ thông dọc trục kích từ nam châm vĩnh cửu 30

2.1.1 Cấu tạo 30
2.1.2 Nguyên lý làm việc động cơ đồng bộ từ thông dọc trục NCVC 31
2.2 Mô hình toán học của động cơ từ thông dọc trục kích từ NCVC.....32
2.2.1 Đặt vấn đề 32
2.2.2 Mô hình toán học của động cơ đồng bộ từ thông dọc trục tích hợp chức năng ổ từ dọc trục trên hệ tọa độ đồng bộ từ thông 33
2.3 Tính toán lực hút dọc trục.....36
2.3.1 Xác định lực dọc trục của ĐCĐB từ thông dọc trục kích từ nam châm vĩnh cửu 36
2.3.2 Mô hình toán học của ĐC AFPM 47
2.4 Kết luận.....49
CHƯƠNG 3 : ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ TỪ THÔNG DỌC TRỤC51
3.1 Cấu trúc điều khiển vectơ động cơ AFPM 51
3.1.1 Cấu trúc điều khiển tổng quát.....51
3.1.2 Thiết kế điều khiển động cơ AFPM bằng phương pháp kinh điển 52
3.1.3 Thiết kế điều khiển động cơ AFPM bằng phương pháp Backstepping-SMC 57
3.2 Các kết quả mô phỏng 64
3.2.1 Mô phỏng hệ thống với mạch vòng ngoài PID, mạch vòng dòng điện PID 64
3.2.2 Mô phỏng hệ thống với mạch vòng ngoài Backstepping-trượt 71
CHƯƠNG 4 : HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM 80
4.1 Hệ thống thí nghiệm 80
4.2 Kết quả thực nghiệm.....96
4.2.1 Động cơ chạy với tốc độ nhỏ hơn tốc độ định mức n=1500 vòng/phút ..96
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....100
DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN .102
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....104
PHỤ LỤC.....116

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 4.1 Thông số kỹ thuật nguồn DC GW INSTEK PSW 80-40.5 84
Bảng 4.2 Thông số kỹ thuật của Encoder RE30E-500-213-1.....86
Bảng 4.3 Thông số kỹ thuật cảm biến đo khoảng cách SENTEC LS 500D-2A.....86

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Danh mục các ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
B, B_δ	T	Mật độ từ thông, mật độ từ thông ở khe hở không khí
$\mathbf{C_{3/2}}$, $\mathbf{C_{2/3}}$		Ma trận chuyển đổi từ hệ tọa độ ba pha sang hệ tọa độ 2 pha và ngược lại
$\mathbf{C_{3s/2r}}$, $\mathbf{C_{2r/3s}}$		Ma trận chuyển đổi từ hệ tọa độ cố định ba pha sang hệ tọa độ quay 2 pha và ngược lại
$\mathbf{C_{2s/2r}}$, $\mathbf{C_{2r/2s}}$		Ma trận chuyển đổi từ hệ tọa độ cố định 2 pha sang hệ tọa độ quay 2 pha và ngược lại
L		Ma trận điện cảm
F_1, F_2	N	Lực điện từ do động cơ 1, động cơ 2 sinh ra
F_L	N	Lực ngoài tác động vào trục động cơ
F_p, F_s, F_Σ		Sức từ động kích từ, stđ tổng 3 pha stator, stđ tổng
g_o	mm	Khe hở không khí giữa Stator và rotor
i_α, i_β	A	Thành phần trục α,β của dòng điện
i_A, i_B, i_C	A	Các dòng điện pha
i_d, i_q	A	Dòng điện trên trục d,q
I_p, I_f	A	Dòng kích từ một chiều
i_{sd}, i_{sq}	A	Thành phần trục d,q của dòng điện stator
J, j_r	KGm^2	Mô men quán tính
K_{nl}		Hệ số khuếch đại của nghịch lưu
L_{sd}, L_{sq}	H	Thành phần điện cảm dọc trục, ngang trục
M_1, M_2, m_1, m_2	Nm	Mô men điện từ do động cơ 1, động cơ 2 sinh ra
$M_{đt}$	Nm	Mô men điện từ
N		Số vòng dây
n_p		Số đôi cực
R		Ma trận điện trở
R_s, R_r		Điện trở cuộn dây stator, rotor
S	m^2	Diện tích mặt cắt của đường sức từ

S_p	m^2	Diện tích cực từ tại khe hở không khí
T_{sd}, T_{sq}	s	Hằng số thời gian
T_e, T_m	s	Hằng số thời gian điện từ, hằng số thời gian điện cơ
u_α, u_β	V	Điện áp trên trục α,β
u_A, u_B, u_C	V	Các điện áp pha
u_d, u_q	V	Điện áp trên trục d,q
u_{sd}, u_{sq}	V	Thành phần trục d,q của điện áp stator
W_m		Năng lượng điện từ
wl	mm^2	Kích thước mạch từ
z	mm	Độ dịch chuyển của lõi thép, rotor
Ψ, ψ	Wb	Từ thông
Ψ_p	Wb	Từ thông cực từ
φ	rad	Góc lệch giữa trục d và trục α
ϕ	Wb	Từ thông
μ_o	Tm/A	Độ từ thẩm của không khí
ω_s, ω_1	rad/s	Tốc độ góc của từ trường stator
θ, θ_m	rad	Vị trí góc
τ	s	Hằng số thời gian

Các chỉ số bên phải, trên cao:

f đại lượng mô tả trên hệ tọa độ T^4R (hệ tọa độ dq quay đồng bộ với vector từ thông.

s, r đại lượng mô tả trên hệ tọa độ αβ cố định với stator, rotor

Danh mục các chữ viết tắt

Chữ viết tắt	Ý nghĩa
AFPM	Axial Flux Permanent Magnet (từ thông dọc trục kích thích vĩnh cửu)
AGBM	axial gap self- bearing machine (máy điện tự nâng có khe hở dọc trục)
AMB	Active Magnetic Bearing (ổ đỡ từ chủ động)
AMM	amorphous magnetic materials (vật liệu từ vô định hình)
ĐB	Đồng bộ
ĐC	Động cơ
ĐCĐB	Động cơ đồng bộ
ĐH	Đại học
BSCCO	Bismuth strontium calcium copper oxide
CAN	Controller Area Network
CNC	Computer Numeric Control (Điều khiển số dùng máy tính)
CFD	computational fluid dynamic (động học chất lỏng tính toán)
DSP	Digital signal processor (Xử lý tín hiệu số)
DSSR	Double stator single rotor (hai stator một rotor)
EV	electric vehicle (Xe điện)
FEA	Finite Element Analysis (Phân tích phần tử hữu hạn)
FEM	Finite element method (Phương pháp phần tử hữu hạn)
FSCW	Fractional-slot concentrated-winding (dây quấn tập trung rãnh phân số)
FVA	Finite Volume Analysis (phân tích thể tích hữu hạn)
HTC	high-temperature superconducting (siêu dẫn nhiệt độ cao)
LQG	Linear Quadratic Gaussian
LSAFPM	Line start AFPM (AFPM khởi động trực tiếp)
LSPM	Line start permanent magnet (Máy điện kích thích vĩnh cửu khởi động trực tiếp)
MIMO	multiple-input multiple-output (nhiều đầu vào nhiều đầu ra)
NCVC	nam châm vĩnh cửu