ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

NGUYỄN HỒNG QUANG

ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG TUYẾN TÍNH SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ POLYSOLENOID CÓ XÉT ĐẾN HIỆU ỨNG ĐẦU CUỐI

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:

GS.TSKH. Nguyễn Phùng Quang

PGS.TS. Nguyễn Như Hiển

THÁI NGUYÊN - 2019

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

LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là Nguyễn Hồng Quang, 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 12 tháng 6 năm 2019

Tác giả luận án

Nguyễn Hồng Quang

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.

GS.TSKH. Nguyễn Phùng Quang và PGS.TS. Nguyễn Như Hiển, 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 gái 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 12 tháng 6 năm 2019

Tác giả luận án

Nguyễn Hồng Quang

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 iii
MỤC LỤC ii
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU v
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT vi
DANH MỤC HÌNH VẼ ix
MỞ ĐẦU 1
1. Tính cấp thiết của đề tài luận án 1
2. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu 1
3. Mục tiêu của luận án 2
4. Những đóng góp mới, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án 3
5. Bố cục của luận án 3
CHƯƠNG 1 : TỔNG QUAN VỀ ĐỘNG CƠ TUYẾN TÍNH VÀ CÁCPHƯƠNGPHÁP ĐIỀU KHIỂN 5
1.1 Khái quát về động cơ tuyến tính 5
1.1.1 Những đặc điểm của một hệ truyền động thẳng. 5
1.1.2 Lịch sử phát triển và ứng dụng của động cơ tuyến tính 8
1.1.3 Cấu tạo, nguyên lý làm việc và cách phân loại động cơ tuyến tính 10
1.1.4 Hiệu ứng đầu cuối (End effect) 15
1.2 Truyền động tuyến tính và các phương pháp điều khiển truyền động tuyến tính 19
1.2.1 Yêu cầu đặt ra với bài toán điều khiển truyền động tuyến tính 19
1.2.2 Khái quát về tình hình nghiên cứu về động cơ tuyến tính 19
1.3 Truyền động tuyến tính dạng Polysolenoid và các phương pháp điều khiển. 22
1.3.1 Động cơ tuyến tính kích thích vĩnh cửu dạng Polysolenoid 22
1.3.2 Điều khiển truyền động tuyến tính dạng Polysolenoid 23
CHƯƠNG 2 : MÔ HÌNH HÓA ĐỘNG CƠ TUYẾN TÍNH 26
2.1 Mô hình toán học của động cơ tuyến tính đồng bộ kích thích vĩnh cửu 26
2.2 Hiệu ứng đầu cuối của động cơ tuyến tính 33
2.2.1 Giới thiệu về hiệu ứng đầu cuối 33
2.2.2 Hiệu ứng đầu cuối trong động cơ tuyến tính đồng bộ 34

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

2.3 Mô tả toán học động cơ tuyến tính kích thích vĩnh cửu dạng Polysolenoid.....41
2.3.1 Mô hình mạch từ tương đương 41
2.3.2 Hệ phương trình vi phân đề xuất.....45
CHƯƠNG 3 : ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ TUYẾN TÍNH DẠNG POLYSOLENOID... 54
3.1 Khái quát về cấu trúc điều khiển.....54
3.2 Các phương pháp điều khiển lực (điều khiển dòng điện) 55
3.2.1 Điều khiển theo phương pháp deadbeat mới 55
3.2.2 Điều khiển dự báo MPC.....62
3.3 Bộ điều khiển vòng ngoài Min-Max MPC 72
3.4 Thiết kế thích nghi backstepping 77
CHƯƠNG 4 : KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM 86
4.1 Kết quả mô phỏng.....88
4.1.1 Mô phỏng hệ thống với mạch vòng ngoài Min-Max MPC, mạch vòng dòng điện FCS-MPC.....88
4.1.2 Mô phỏng hệ thống với mạch vòng ngoài Min-Max MPC, mạchvòng điềukhiển dòng điện CCS-MPC 101
4.1.3 Mô phỏng hệ thống với mạch vòng ngoài Min-Max MPC, mạch vòng điều khiển dòng điện Dead-beat 115
4.1.4 Mô phỏng hệ thống bộ điều khiển thích nghi Backstepping 131
4.2 Kết quả thực nghiệm hệ thống 146
4.2.1 Kết quả thực nghiệm hệ thống với vòng ngoài Min-Max MPC, vòng dòng điện FCS-MPC.....147
4.2.2 Kết quả thực nghiệm hệ thống với vòng ngoài Min-Max MPC, mạch vòng dòng điện CCS-MPC 151
4.2.3 Kết quả thực nghiệm hệ thống với vòng ngoài Min-Max MPC, mạch vòng dòng điện Dead-beat. 156
4.2.4 Kết quả thực nghiệm hệ thống với bộ điều khiển thích nghi backstepping..... 160
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ 168
DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN 170
TÀI LIỆU THAM KHẢO 172
PHỤ LỤC..... 177

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

Phụ lục 1: Giới thiệu về bàn thí nghiệm.....177
Phụ lục 2: Chương trình lập trình.....191

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

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1 So sánh các hệ chuyển động thẳng sử dụng thiết bị cụ thể (+: Tốt; -: Xấu) (theo [31]).....7
Bảng 1.2 Mật độ lực của ĐCTT làm việc theo các nguyên lý khác nhau.....14
Bảng 2.1 Mô tả quan hệ tương đương của các đại lượng vật lý trong 2 loại động cơ ĐB - KTVC quay và tuyến tính. 27
Bảng 3.1 Các trạng thái đóng cắt của bộ biến đổi.....64
Bảng 4.1 So sánh chất lượng các bộ điều khiển (+:tốt).....165
Bảng 4.2 Bảng tổng hợp kết quả mô phỏng và thực nghiệm 166

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

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Danh mục các ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
L_{sd}, L_{sq}	H	điện cảm dọc trục và ngang trục của stator
m	Kg	khối lượng của bộ phận sơ cấp (stator)
$\mathbf{u}_s, \mathbf{i}_s$	V, A	vectơ điện áp, dòng stator
R_s	W	điện trở stator
v, v_e	m/s	vận tốc cơ, điện
F_m, F_c	N	lực đẩy, lực cản
i_{sd}, i_{sq}	A	dòng điện trục d,q
u_{sd}, u_{sq}	V	điện áp trục d,q
t	mm	bước cực
p		số cặp cực
y_p	Wb	từ thông cực từ
w_e	Rad/s	góc điện
x_p	mm	vị trí của động cơ tuyến tính
c_f		Hệ số ma sát

Danh mục các chữ viết tắt

Chữ viết tắt	Ý nghĩa
ĐCMC	Động cơ một chiều
ĐCXC	Động cơ xoay chiều
ĐCKĐB	Động cơ không đồng bộ
ĐCĐB	Động cơ đồng bộ
KTVC	Kích thích vĩnh cửu
ĐB-KTVC	Đồng bộ - kích thích vĩnh cửu
ĐCTT	Động cơ tuyến tính
ĐCTTKTVC	Động cơ tuyến tính kích thích vĩnh cửu
ĐCTTKĐB	Động cơ tuyến tính không đồng bộ
TKTT	Tách kênh trực tiếp
PHTT	Phản hồi trạng thái
PMLSM	Permanet Magnet Linear Synchronous Motor
PLM	Polysolenoid Linear Motor
BLDC	Brushless DC motor
TLPMSM	Tubular Linear Permanent Magnet Synchronous Machines
CNC	Computerized Numerical Control
MPC	Model predictive control
CCS-MPC	Continuous control set Model predictive control
FCS-MPC	Finite control set Model predictive control
RFO	Rotor Flux Oriented
SFO	Stator Flux Oriented
DTC	Direct Torque Control
FOC	Field Oriented Control
FEM	Finite Element Method
LIM	Linear Induction Motor

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

LPMSM	Linear Permanent Magnet Synchronous Machines
PM	Permanent Magnet
MEC	Magnetic Equivalent Circuit
SVM	Space Vector Modulation
MIMO	Multi input Multi output

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