

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN**

NGUYỄN THỊ THANH BÌNH

**CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG ĐIỀU KHIỂN
CÁC Ổ ĐỖ TỪ**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

THÁI NGUYÊN - 2013

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN

NGUYỄN THỊ THANH BÌNH

CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG ĐIỀU KHIỂN
CÁC Ổ ĐỒ TỪ

Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và tự động hoá
Mã số: 62. 52. 02. 16

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Cán bộ hướng dẫn 1

Cán bộ hướng dẫn 2

GS.TS. Đỗ Khắc Đức

PGS. TS. Nguyễn Như Hiện

THÁI NGUYÊN - 2013

LỜI CAM ĐOAN

Luận án này được tác giả thực hiện dựa trên hướng dẫn của tập thể hướng dẫn khoa học và các tài liệu tham khảo đã được trích dẫn. Kết quả nghiên cứu chưa được bảo vệ và công bố trên bất cứ một công trình nào khác.

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Thị Thanh Bình

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
MỤC LỤC	ii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU	v
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT	viii
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ	ix
LỜI CẢM ƠN	xii
MỞ ĐẦU	1
1 Khái quát chung	1
2 Tính cấp thiết của đề tài	2
3 Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	2
4 Phương pháp nghiên cứu	3
5 Nội dung và phạm vi của vấn đề sẽ đi sâu nghiên cứu, giải quyết và triển vọng về kết quả đạt được	3
6 Ý nghĩa lý luận và thực tiễn của đề tài	3
7 Bố cục của luận án	4
Chương 1. TỔNG QUAN VỀ Ồ ĐỠ TỪ	5
1.1 Khái niệm về ồ trục và ồ đỡ trục	5
1.1.1 Ồ trục	6
1.1.2 Ồ đỡ từ	7
1.2 Luận giải, định hướng nghiên cứu của đề tài	12
1.2.1 Tổng quan về tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước	12
1.2.2 Tình hình nghiên cứu trong nước	13
1.2.3 Tình hình nghiên cứu ngoài nước	14
1.3 Kết luận chương 1	16
Chương 2. MÔ TẢ TOÁN HỌC CỦA Ồ ĐỠ TỪ CHỦ ĐỘNG	17
2.1 Giới thiệu chung	17
2.2 Cơ sở toán học của hệ nâng từ trường	18

2.2.1	Mật độ từ thông của mạch từ	19
2.2.2	Từ trở R và độ tự cảm L trong mạch từ	19
2.2.3	Lực điện từ khi kể đến từ hóa lõi thép	21
2.2.4	Lực điện từ khi không kể đến từ hóa lõi thép	22
2.2.5	Mối quan hệ giữa lực điện từ và dòng điện trong các bộ AMB	22
2.3	Xây dựng mô hình toán học của hệ nâng bằng từ trường dùng ổ đỡ từ 4 cực	23
2.3.1	Các dạng cấu trúc của ổ từ hiện nay và hướng nghiên cứu	23
2.3.2	Cấu trúc của hệ nâng từ trường AMB 4 bậc tự do (DOF)	24
2.3.3	Xây dựng mô hình toán học	26
2.3.4	Các đặc tính động học của ổ đỡ từ bốn bậc tự do	31
2.4	Mô hình tuyến tính hóa xung quanh điểm làm việc	33
2.5	Mô hình tổng quát của hệ AMB 4 DOF dưới dạng Euler – Lagrange	35
2.5.1	Giới thiệu về hệ Euler – Lagrange	35
2.5.2	Mô hình tổng quát của hệ AMB 4 DOF dưới dạng Euler – Lagrange	36
2.6	Kết luận chương 2	42
Chương 3	XÂY DỰNG HỆ ĐIỀU KHIỂN CHO Ổ ĐỖ TỪ CHỦ ĐỘNG 4 BẬC TỰ DO	43
3.1	Đặt vấn đề	43
3.1.1	Hiện tượng trễ	43
3.1.2	Sự lệch trục của lực hướng tâm	43
3.1.3	Sự rung động do tính không cân bằng cơ học trong hệ thống quay	43
3.2	Xây dựng hệ điều khiển sử dụng phương pháp tuyến tính hóa xung quanh điểm làm việc.	44
3.2.1	Xây dựng hệ điều khiển	44
3.2.2	Mô phỏng hệ thống điều khiển trên Matlab-Simulink	51
3.3	Cải thiện chất lượng điều khiển ổ từ tích cực (AMB) bằng PD bù trọng trường	57

3.3.1	Xây dựng hệ điều khiển	59
3.3.2	Mô phỏng hệ thống điều khiển ổ đỡ từ AMB	61
3.4	Đánh giá chất lượng của bộ điều khiển PID và bộ điều khiển PD bù trọng trường theo tiêu chuẩn tích phân bình phương sai lệch	68
3.6	Kết luận Chương 3	69
Chương 4	XÂY DỰNG MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM VÀ CÁC KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM	70
4.1	Giới thiệu cấu hình thí nghiệm	70
4.2	Kết quả thí nghiệm	81
4.3	Kết luận chương 4	89
	KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	90
1	Kết luận	90
2	Kiến nghị	91
	DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ	92
	TÀI LIỆU THAM KHẢO	93

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU

F, f_m	Lực điện từ
m	Trọng lượng rô to
g	Gia tốc trọng trường
S_{fe}	Tiết diện mặt cắt trong khe hở không khí
i	Dòng điện tức thời
x_0	Khe hở không khí
l_c	Chiều dài trung bình của đường đi từ trường qua lõi sắt chữ C
l_i	Chiều dài trung bình của đường đi từ trường qua lõi sắt chữ I
ψ	Từ thông trong mạch vòng khép kín
B	Mật độ từ thông
H	Từ trường mạch từ
L	Độ tự cảm
μ	Độ từ thẩm của vật liệu sắt từ
μ_0	Độ từ thẩm của môi trường chân không
μ_r	Độ từ thẩm tương đối
N	Số vòng dây
W_a	Năng lượng tích trữ
V_a	Thể tích khe hở không khí của Hệ thống
R_{xo}	Từ trở trong khe hở không khí
i_0	Dòng điện phân cực
K_a	Hệ số tỷ lệ với dòng điện
K_n	Hệ số tỷ lệ với độ dịch chuyển
x	Độ dịch chuyển theo phương x
y	Độ dịch chuyển theo phương y
z	Độ dịch chuyển theo phương z
$\theta_x, \theta_y, \theta_z$	Góc quay của trục theo phương x, y
F_x, F_y, F_z	Lực nâng trục theo các phương x, y, z
T_x, T_y, T_z	Mô men quay theo các phương x, y, z
x_1, y_1, z_1	Vị trí dịch chuyển của trục tại các điểm đặt cảm biến theo phương x, y của AMB1
x_2, y_2, z_2	Vị trí dịch chuyển của trục tại các điểm đặt cảm biến theo

	phương x, y của AMB2
$F_{x1}, F_{y1}, F_{x2}, F_{y2}$	Lực nâng hướng trục theo phương x, y của AMB1 và AMB2
h_a	Khoảng cách giữa trọng tâm 2 ổ từ
h_s	Khoảng cách giữa hai cảm biến vị trí
ψ_x	Từ thông tạo bởi các cuộn dây
ψ_{xc1}, ψ_{xc2}	Từ thông tạo bởi cuộn dây của AMB1 và AMB2 theo phương x
$F_{x1+}, F_{x1-},$ $F_{y1+}, F_{y1-},$ $F_{x2+}, F_{x2-},$ F_{y2+}, F_{y2-}	Lực hấp dẫn giữa rô to và stato theo phương x, y của AMB1 và AMB2
$x_{x1+}, x_{x1-},$ x_{x2+}, x_{x2-}	Khe hở không khí theo phương x của AMB1 và AMB2
$i_{x1+}, i_{x1-}, i_{x2+}, i_{x2-}$	Dòng điện chạy trong cuộn dây của AMB1 và AMB2 theo phương x
$R_{1x+}, R_{1x-},$ R_{2x+}, R_{2x-}	Từ trở của khe hở không khí của AMB1 và AMB2
H_p	Sức từ động của nam châm vĩnh cửu
S	Tiết diện mạch từ
i_{x1}, i_{x2}	Dòng điện thành phần theo phương x của AMB1 và AMB2
i_{xs}	Tổng các dòng điện thành phần theo phương x
i_{xd}	Hiệu các dòng điện thành phần theo phương x
$L_{x1+}, L_{x1-},$ L_{x2+}, L_{x2-}	Điện cảm của các cực từ theo phương x của AMB1 và AMB2
K_a	Hệ số tỉ lệ với dòng điện
K_n	Hệ số tỉ lệ với độ dịch chuyển
$J_x = J_y = J_j$	Mô men quán tính của trục rotor theo phương x và y
J_k	Mô men quán tính của trục rotor
ω_{rm}	Vận tốc góc
H_a	Khoảng cách giữa 2 tâm của AMB1 và AMB2
F_{xs}	Lực tịnh tiến của rotor theo phương x
F_{ys}	Lực tịnh tiến của rotor theo phương y
F_{xr}	Lực nghiêng của rotor theo phương x

F_{yr}	Lực nghiêng của rotor theo phương y
$q \in \mathbb{R}^n$	Số các biến khớp
$u \in \mathbb{R}^n$	Véc tơ các tín hiệu điều khiển
$g(q), G(g)$	Gia tốc trọng trường
$M(q), D(q)$	Ma trận quán tính
$d(t, q, \dot{q})$	Véc tơ nhiễu mô men đầu vào
$L(q, \dot{q})$	Hàm Lagrange
$K(q, \dot{q})$	Hàm mô tả động năng
$P(q)$	Hàm thế năng
$R(\dot{q})$	Hàm tiêu tán
$\hat{\theta}$	Véc tơ giá trị xác định
$\hat{\delta}$	Giá trị ước lượng chặn trên
$q(t)$	Quỹ đạo trạng thái
$C(q, \dot{q})$	Ma trận hướng tâm
\underline{u}	Tín hiệu điều khiển
T	Ma trận chuyển vị
e	Sai lệch quỹ đạo bám
\dot{e}	Đạo hàm của sai lệch quỹ đạo bám
η	Tham số hằng bất định
K_P	Hệ số khuếch đại của bộ điều khiển
K_D	Hệ số đạo hàm của bộ điều khiển
K_I	Hệ số tích phân
s	Toán tử Laplace
L_{se}	Điện cảm tản trong cuộn dây
V	Điện áp điều khiển
$k_{x1}, k_{y1}, k_{x2}, k_{y2}$	Hệ số sức điện động cảm ứng trong các cuộn dây
T_b	Hằng số thời gian

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Viết tắt	Biểu diễn	Ghi chú Tiếng Anh
AMB	Ổ đỡ từ chủ động	Active Magnetic Bearing
RMRAC	Điều khiển thích nghi bền vững theo mô hình mẫu	Robust Model Reference Adaptive Control
EL	Euler-Lagrange	Euler-Lagrange
DOF	Bậc tự do	Degree of Freedom
SMB	Ổ đỡ từ siêu dẫn	Superconductive Magnetic Bearing
PMB	Ổ đỡ từ thụ động	Passive Magnetic Bearing
DC	Nguồn một chiều	Direct Current
MMF	Lực từ động	Magnemotive Force
MIMO	Hệ nhiều đầu vào nhiều đầu ra	Multiple Input Multiple Output
KĐ	Khuếch đại	
BT3F	Biến tần 3 pha	
ADC	Biến đổi tương tự - số	
DSP	Vi xử lý tín hiệu số	
FFT	Phân tích phổ tín hiệu fourier	