

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN

-----***-----

VŨ NGỌC KIÊN

**NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN GIẢM BẠC MÔ HÌNH
VÀ ỨNG DỤNG CHO BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

THÁI NGUYÊN, NĂM 2015

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

-----***-----

VŨ NGỌC KIÊN

**NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN GIẢM BẠC MÔ HÌNH
VÀ ỨNG DỤNG CHO BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN**

Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa

Mã số: 62 52 02 16

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

- 1. PGS.TS. NGUYỄN HỮU CÔNG**
- 2. PGS. TS. BÙI TRUNG THÀNH**

THÁI NGUYÊN, NĂM 2015

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan: luận án “*Nghiên cứu thuật toán giảm bậc mô hình và ứng dụng cho bài toán điều khiển*” là công trình nghiên cứu của riêng tôi được hoàn thành dưới sự chỉ bảo tận tình của hai thầy giáo hướng dẫn.

Các kết quả nghiên cứu trong luận án là trung thực, một phần được công bố trên các tạp chí khoa học chuyên ngành với sự đồng ý của các đồng tác giả, phần còn lại chưa được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Thái nguyên, ngày tháng năm 2015

Tác giả luận án

Vũ Ngọc Kiên

LỜI CẢM ƠN

Trước tiên, tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến **PGS.TS. Nguyễn Hữu Công** - Đại học Thái Nguyên và **PGS.TS. Bùi Trung Thành** – Trường Đại học Sư Phạm Kỹ thuật Hưng Yên đã tận tình hướng dẫn, tạo mọi điều kiện thuận lợi, giúp tôi thực hiện và hoàn thành luận án này.

Tôi xin trân trọng cảm ơn các thầy cô giáo, đồng nghiệp trong bộ môn Thiết bị điện - Khoa Điện - Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp đã tạo điều kiện giúp đỡ tôi trong thời gian thực hiện luận án, tham gia sinh hoạt khoa học.

Xin được gửi lời cảm ơn chân thành tới các thầy cô, anh chị, bạn bè và đồng nghiệp Khoa Điện, Khoa Điện tử, Phòng đào tạo, các đơn vị chức năng Trường Đại học Kỹ thuật công nghiệp, các ban chức năng Đại học Thái Nguyên đã chia sẻ, đóng góp ý kiến, giúp đỡ, động viên tôi vượt qua mọi khó khăn để hoàn thành tốt công việc nghiên cứu của mình.

Xin gửi lời cảm ơn chân thành tới **TS. Hà Bình Minh** – Trường Đại học Bách Khoa Hà nội đã tạo điều kiện giúp đỡ tôi trong thời gian thực hiện luận án.

Cuối cùng, tôi biết ơn bố mẹ và những người thân trong gia đình đã luôn quan tâm, động viên và tạo điều kiện thuận lợi nhất để tôi có thể hoàn thành bản luận án. Xin dành những lời yêu thương nhất cho vợ và hai con trai yêu quý đã cùng tôi vượt qua những khó khăn, vất vả trong cuộc sống và trong quá trình nghiên cứu để tôi hoàn thành bản luận án.

Một lần nữa xin chân thành cảm ơn !

Thái nguyên, ngày tháng năm 2015

Tác giả luận án

Vũ Ngọc Kiên

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN.....	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT	vii
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU.....	ix
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH VÀ ĐỒ THỊ.....	x
MỞ ĐẦU	1
1. Giới thiệu.....	1
2. Tính khoa học và cấp thiết của luận án	1
3. Mục tiêu của luận án	4
3.1. Mục tiêu chung	4
3.2. Mục tiêu cụ thể.....	4
4. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu	5
5. Ý nghĩa lí luận và thực tiễn	5
5.1. Ý nghĩa lí luận.....	5
5.2. Ý nghĩa thực tiễn.....	6
6. Bố cục luận án	6
CHƯƠNG 1.TỔNG QUAN VỀ GIẢM BẠC MÔ HÌNH.....	9
1.1. Bài toán giảm bậc mô hình.....	9
1.2. Các nghiên cứu giảm bậc trên thế giới	9
1.2.1. Nhóm phương pháp dựa trên phân tích nhiễu loạn suy biến (SPA)...	10
1.2.2. Nhóm phương pháp dựa trên phân tích phương thức	11

1.2.3. Nhóm phương pháp dựa trên SVD	12
1.2.4. Nhóm phương pháp phù hợp thời điểm (MM) hay phương pháp không gian con Krylov (Krylov Methods).....	13
1.2.5. Nhóm phương pháp kết hợp phân tích giá trị suy biến (SVD) và phù hợp thời điểm (MM)	14
1.2.6. Nhóm các phương pháp khác.....	15
1.3. Các nghiên cứu trong nước về giảm bậc	15
1.4. Những vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu về giảm bậc mô hình.....	15
1.5. Kết luận chương 1	19
CHƯƠNG 2. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN GIẢM BẬC MÔ HÌNH.....	20
2.1. Giới thiệu.....	20
2.2. Các công cụ toán học sử dụng trong các thuật toán giảm bậc mô hình....	20
2.2.1. Phép phân tích ma trận.....	21
2.2.1.1. Phép phân tích giá trị suy biến (SVD).....	21
2.2.1.2. Phép phân tích Schur	21
2.2.1.3. Phép phân tích Cholesky	22
2.2.2. Gramian điều khiển và quan sát của hệ tuyến tính	22
2.3. Thuật toán giảm bậc mô hình mới cho hệ ổn định	24
2.3.1. Tính trội H_∞	24
2.3.2. Quá trình tam giác hóa.....	27
2.3.2.1. Thuật toán đưa hệ về dạng tam giác	27
2.3.2.2. Phân tích dạng tam giác.....	29
2.3.2.3. Phân tích chuẩn H_∞ và H_2 trong quá trình tam giác hóa.....	32

2.3.3. Giảm bậc mô hình dựa trên cắt ngắn tam giác.....	34
2.3.3.1. Phân tích chặn trên của sai số giảm bậc theo chuẩn H_∞ và H_2	34
2.3.3.2. Sắp xếp điểm cực theo các chỉ số trội.....	36
2.3.3.3 Rút gọn hệ tương đương.....	38
2.4. Ví dụ giảm bậc hệ tuyến tính ổn định bậc cao	38
2.4.1. Ví dụ minh họa 1	38
2.4.2. Ví dụ minh họa 2	42
2.5. Thuật toán giảm bậc mới cho hệ không ổn định	47
2.5.1. Thuật toán giảm bậc cho hệ không ổn định theo phương pháp gián tiếp (Cách tiếp cận thứ nhất).....	48
2.5.2. Thuật toán giảm bậc cho hệ không ổn định theo phương pháp trực tiếp (Cách tiếp cận thứ hai).....	49
2.6. Ví dụ giảm bậc hệ tuyến tính không ổn định bậc cao	54
2.6.1 Giảm bậc hệ tuyến tính không ổn định theo thuật toán giảm bậc gián tiếp	54
2.6.2. Giảm bậc hệ tuyến tính không ổn định theo thuật toán giảm bậc trực tiếp	59
2.7. Kết luận chương 2	62
CHƯƠNG 3. VỀ MỘT ỨNG DỤNG BÀI TOÁN GIẢM BẬC MÔ HÌNH TRONG ĐIỀU KHIỂN.....	64
3.1. Giới thiệu.....	64
3.2 Ứng dụng giảm bậc trong bài toán điều khiển ổn định góc tải máy phát đồng bộ.....	65
3.2.1. Giảm bậc bộ điều khiển theo thuật toán giảm bậc gián tiếp	67

3.2.2. Giảm bậc bộ điều khiển theo thuật toán giảm bậc trực tiếp.....	69
3.3. Ứng dụng giảm bậc mô hình trong bài toán điều khiển cân bằng xe hai bánh .	71
3.3.1. Bài toán điều khiển cân bằng xe hai bánh.....	72
3.3.2. Giảm bậc bộ điều khiển bền vững theo thuật toán giảm bậc gián tiếp	74
3.3.3. Giảm bậc bộ điều khiển bền vững theo thuật toán giảm bậc trực tiếp	76
3.3.4. Áp dụng bộ điều khiển giảm bậc điều khiển cân bằng xe hai bánh ...	78
3.3.4.1. Theo thuật toán giảm bậc gián tiếp.....	78
3.3.4.2. Theo thuật toán giảm bậc trực tiếp	84
3.4. Kết luận chương 3	94
CHƯƠNG 4. THỰC NGHIỆM.....	96
4.1. Hệ thống thực nghiệm điều khiển xe hai bánh tự cân bằng	96
4.2. Kết quả thực nghiệm	105
4.3. Kết luận chương 4	111
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	112
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ	114
TÀI LIỆU THAM KHẢO	115
PHỤ LỤC	125

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

Các ký hiệu:

\mathbf{A}^T	Chuyển vị của ma trận \mathbf{A}
\mathbf{A}^*	Chuyển vị liên hợp của ma trận \mathbf{A}
\mathbb{C}	Tập số phức
\mathbb{C}_β	Tập hợp các hệ tuyến tính liên tục ổn định - β
\mathbb{R}	Tập số thực
α	Điểm cực có phần thực dương lớn nhất của hệ tuyến tính không ổn định
β	Giá trị chuyển đổi giữa hệ tuyến tính liên tục ổn định - β và hệ tuyến tính ổn định

Các chữ viết tắt:

ADI	Alternating Direction Implicit: Xen kẽ hướng ngầm
BT	Balanced Truncation : Chặt cân bằng
CARE	Control Algebraic Riccati Equation: Phương trình Riccati điều khiển
COM	Computer Output on Micro : Cổng giao tiếp nối tiếp trên máy tính
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory: Bộ nhớ ROM lập trình/ghi/ nạp lại/xóa được
FARE	Filter Algebraic Riccati Equation: Phương trình Riccati lọc
GA	Genetic Algorithm (Giải thuật di truyền)
I/O	Input/Output: Cổng nhập/xuất
KMs	Krylov Methods: Phương pháp không gian con Krylov
LCD	Liquid Crystal Display : Màn hình tinh thể lỏng
LQG	Linear Quadratic Gaussian: Tuyến tính bậc hai Gaussian

MA	Modal Analysis: Phân tích phương thức
MEMS	Microelectromechanical Systems : Hệ thống vi cơ điện tử
MM	Moment Matching: Phù hợp thời điểm
OLED	Organic Light-emitting Diode : diode hữu cơ phát quang
PC	Personal Computer): Máy tính cá nhân.
POD	Proper Orthogonal Decomposition: Phân tích trực giao thích hợp
PSO	Particle Swarm Optimization: Thuật toán tối ưu hóa bầy đàn
PWM	Pulse Width Modulation – Điều chế độ rộng xung
SISO	Single Input Single Output: Một vào một ra
SPA	Singular Perturbations Analysis : Phân tích nhiễu loạn suy biến
SPI	Serial Peripheral Interface: Giao diện ngoại vi nối tiếp
SRAM	Static Random Access Memory: Bộ nhớ tĩnh truy cập ngẫu nhiên
SVD	Singular Value Decomposition: Phân tích giá trị suy biến
TWI (I2C)	Two-Wire Serial Intereafce (Inter-Integrated Circuit): giao tiếp đồng bộ hai dây nối tiếp
RAM	Random Access Memory: Bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên
ROM	Read Only Memory: Bộ nhớ chỉ đọc, không thể ghi – xóa
RS-232	Recommended Standard 232: Chuẩn giao tiếp 232
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter: Bộ truyền nhận nối tiếp không đồng bộ
USB	Universal Serial Bus: Chuẩn truyền dữ liệu cho BUS (Thiết bị) ngoại vi