

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP  
-----❧\*❧-----

**ĐÀM BẢO LỘC**

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN BÁM  
QUỠ ĐẠO CHO HỆ THỐNG TWIN ROTOR MIMO**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**THÁI NGUYÊN – 2020**

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**  
----------

**ĐÀM BẢO LỘC**

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN BÁM  
QUỶ ĐẠO CHO HỆ THỐNG TWIN ROTOR MIMO**

**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:**

**1. PGS.TS. NGUYỄN DUY CƯỜNG**

**2. GS.TSKH. HORST PUTA**

  


**THÁI NGUYÊN – 2020**

## LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của cá nhân tôi dưới sự hướng dẫn của tập thể giáo viên hướng dẫn và các nhà khoa học. Các tài liệu tham khảo đã được trích dẫn đầy đủ. Kết quả nghiên cứu là trung thực và chưa từng được ai công bố trên bất cứ một công trình nào khác.

*Thái Nguyên, ngày 10 tháng 11 năm 2020*

**Tác giả**



**Đàm Bảo Lộc**

## LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình làm luận án với đề tài "*Nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển bám quỹ đạo cho hệ thống Twin Rotor MIMO*", tôi đã nhận được rất nhiều sự ủng hộ về công tác tổ chức và chuyên môn của Bộ môn Tự động hóa, Trường Đại học Kỹ Thuật Công Nghiệp Thái Nguyên, của Bộ môn Điều khiển tự động, Viện Điện, Đại học Bách khoa Hà nội. Tôi xin trân trọng gửi lời cảm ơn tới hai cơ sở đào tạo này, đã luôn tạo điều kiện giúp đỡ tôi trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và hoàn thành luận án.

Với lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc, tôi cũng xin chân thành cảm ơn tập thể hướng dẫn là PGS.TS. Nguyễn Duy Cường, GS.TSKH. Horst Puta, những người Thầy đã dành nhiều thời gian hướng dẫn, tận tình chỉ bảo và định hướng chuyên môn cho tôi trong suốt quá trình nghiên cứu để hoàn thành luận án.

Tôi xin chân thành cảm ơn Ban lãnh đạo Trường Cao đẳng Công Nghiệp Thái Nguyên nơi tôi công tác đã tạo điều kiện thuận lợi giúp đỡ tôi trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

Cuối cùng, tôi xin chân thành cảm ơn gia đình, đồng nghiệp, những người bạn thân thiết đã luôn giúp đỡ, động viên, khích lệ, chia sẻ khó khăn trong thời gian tôi học tập để hoàn thành khóa học.

*Thái Nguyên, ngày 10 tháng 11 năm 2020*

**Tác giả luận án**



**Đàm Bảo Lộc**

## MỤC LỤC

Lời cam đoan.....	i
Lời cảm ơn .....	ii
Mục lục.....	iii
Bảng các ký hiệu viết tắt .....	xi
Danh mục các bảng .....	xii
Danh mục hình vẽ .....	xiii
<b>MỞ ĐẦU</b> .....	<b>1</b>
1. Tính cấp thiết của đề tài.....	1
2. Mục đích và nhiệm vụ của đề tài .....	1
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án .....	2
4. Phương pháp nghiên cứu .....	2
5. Những đóng góp mới, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án.....	2
6. Bố cục của luận án .....	3
<b>Chương 1. TỔNG QUAN VỀ TRMS - MÔ HÌNH HÓA VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN</b> .....	<b>4</b>
1.1. Mô hình hóa TRMS.....	4
1.1.1. Cấu trúc vật lý TRMS .....	4
1.1.2. Mô hình hóa bằng phương pháp lý thuyết .....	6
1.2. Các phương pháp điều khiển hiện có và tổng quan các công trình liên quan.....	19
1.2.1. Điều khiển tuyến tính.....	21
1.2.2. Điều khiển phi tuyến .....	25
1.3. Kết luận.....	36
<b>Chương 2. ĐIỀU KHIỂN TUYẾN TÍNH HÓA CHÍNH XÁC TRMS KHI CÓ MÔ HÌNH CHÍNH XÁC</b> .....	<b>37</b>
2.1. Phương pháp cơ sở: Điều khiển bù trọng trường.....	38
2.1.1. Tuyến tính hóa chính xác bằng phản hồi .....	38
2.1.2. Điều khiển vòng ngoài để bám quỹ đạo mẫu.....	39
2.1.3. Bộ điều khiển chung.....	39
2.2. Phương pháp đề xuất cho hệ Euler-Lagrange song tuyến khi có mô hình chính xác .....	40
2.2.1. Bộ điều khiển bám quỹ đạo mẫu.....	40

2.2.2 Đánh giá chất lượng bền vững của bộ điều khiển đề xuất cho hệ Euler-Lagrange song tuyến bất định .....	42
2.2.3. Áp dụng cho TRMS và kiểm chứng chất lượng bộ điều khiển bằng mô phỏng trên MatLab .....	45
2.3. Kết luận.....	52
<b>Chương 3. ĐIỀU KHIỂN BÙ BẤT ĐỊNH HÀM THEO NGUYÊN LÝ TỐI ƯU HÓA TỪNG ĐOẠN SAI LỆCH MÔ HÌNH TRÊN TRỰC THỜI GIAN .....</b>	<b>53</b>
3.1. Thuật toán nhận dạng thành phần bất định hàm.....	54
3.1.1. Lớp hệ bất định có mô hình trạng thái song tuyến.....	54
3.1.2. Nhận dạng nhiễu theo nguyên tắc cực tiểu hóa từng đoạn bình phương sai lệch mô hình .....	55
3.2. Xây dựng bộ điều khiển thích nghi bám quỹ đạo mẫu cho hệ Euler-Lagrange song tuyến bất định.....	59
3.2.1. Bộ điều khiển kết hợp điều khiển bám và bù bất định.....	60
3.2.2. Kiểm chứng chất lượng bằng mô phỏng trên MatLab với TRMS.....	61
3.3. Kết luận.....	68
<b>Chương 4. KIỂM CHỨNG CHẤT LƯỢNG BẰNG THỰC NGHIỆM .....</b>	<b>69</b>
4.1. Mô tả bàn thí nghiệm .....	69
4.1.1. Các thiết bị trên bàn thí nghiệm .....	69
4.1.2. Cấu trúc tổng thể bàn thí nghiệm TRMS tại Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên .....	73
4.2. Cài đặt bộ điều khiển cho bàn thí nghiệm TRMS.....	74
4.3. Kết quả thí nghiệm và đánh giá.....	77
4.3.1. Tiến hành thí nghiệm .....	77
4.3.2. Kết quả và đánh giá chất lượng.....	78
4.4. Kết luận.....	87
<b>KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ .....</b>	<b>88</b>
<b>CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ .....</b>	<b>89</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO.....</b>	<b>91</b>
<b>PHỤ LỤC.....</b>	<b>.....</b>

## CÁC KÝ HIỆU ĐƯỢC SỬ DỤNG

Ký hiệu	Ý nghĩa toán học/vật lý
$\alpha_h$	Góc đảo lái trong mặt ngang của TRMS (Yaw angle)
$\alpha_v$	Góc chao dọc trong mặt đứng của TRMS (Pitch angle)
$\alpha_{hR}$	Góc đảo lái mẫu trong mặt ngang của TRMS
$\alpha_{vR}$	Góc chao dọc trong mặt đứng của TRMS
$\dot{\alpha}_h$	Vận tốc góc của cánh tay đòn tự do trong mặt ngang
$\dot{\alpha}_v$	Vận tốc góc của cánh tay đòn tự do trong mặt đứng
$\delta_k$	Sai lệch nhận dạng giữa trạng thái $\underline{x}_k = \underline{x}(t_k)$ đo được từ mô hình hệ thống và trạng thái mẫu $\underline{z}_k = \underline{z}(t_k)$ của hệ đó khi không có thành phần bất định
$\delta_{max}$	Lượng quá điều chỉnh
$\underline{\tau} = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m)^T$	Vector của $m$ biến điều khiển
$\Phi$	Ma trận Hurwitz
$\varphi_h$	Từ thông của động cơ đuôi
$\varphi_m$	Từ thông của động cơ chính
$\mu$	Một chỉ số đánh giá sai lệch bám cho trước
O	Lân cận gốc
$\omega_v$	Vận tốc góc của cánh quạt chính
$\omega_h$	Vận tốc góc của cánh quạt đuôi
$\sum_i M_{ih}$	Tổng hợp mô men trong mặt phẳng ngang
$\sum_i M_{iv}$	Tổng hợp mô men trong mặt phẳng đứng
$A(\underline{x})$	Ma trận hệ thống phụ thuộc trạng thái

$B(\underline{x})$	Ma trận điều khiển phụ thuộc trạng thái
$B_h$	Hệ số ma sát nhớt của khớp quay trong mặt ngang
$C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})$	Ma trận hàm, phụ thuộc $\underline{q}$ cùng đạo hàm $\dot{\underline{q}}$ của nó, có tên gọi là ma trận lực hướng tâm ( <i>centripetal and coriolis forces</i> )
$\underline{d}(\underline{q}, t)$	Thành phần bất định theo biến khớp
$\underline{d}(\underline{x}, t)$	Bất định hàm theo biến trạng thái
$\underline{d}_k \approx \underline{d}(t_k)$	Nhiều ước lượng lượng tử hóa
$\underline{d}(\underline{x}, t)$	Nhiều ước lượng
$E_{ah}$	Sức phản điện động phần ứng của động cơ đuôi
$E_{av}$	Sức phản điện động phần ứng của động cơ chính
$F$	Ma trận điều khiển trong phương trình Euler-Lagrange
$F_v(\omega_v)$	Lực đẩy do cánh quạt chính tạo ra
$F_h(\omega_h)$	Lực đẩy do cánh quạt đuôi tạo ra
$g$	Gia tốc trọng trường
$\underline{g}(\underline{q})$	Vector hàm, phụ thuộc biến khớp $\underline{q}$ , có tên gọi là vector lực ma sát và gia tốc trọng trường
$h$	Chiều dài của khớp quay
$i_{ah}$	Dòng điện phần ứng của động cơ đuôi
$i_{av}$	Dòng điện phần ứng của động cơ chính
$I$	Ma trận đơn vị
$J_1$	Mô men quán tính của cánh tay đòn tự do
$J_2$	Mô men quán tính của thanh đối trọng
$J_3$	Mô men quán tính của khớp xoay
$J_{mm}$	Mô men quán tính của rotor động cơ một chiều



$J_{m,prop}$	Mô men quán tính của cánh quạt chính
$J_{t,prop}$	Mô men quán tính của cánh quạt đuôi
$J_{mr}$	Mô men quán tính của động cơ chính
$J_{tr}$	Mô men quán tính của động cơ đuôi
$J_v$	Tổng mô men quán tính trong mặt đứng
$J_h$	Tổng mô men quán tính trong mặt ngang
$k_{chn}$	Hằng số mô men cấp dẹt theo chiều âm góc đảo lái
$k_{fhp}$	Hằng số lực đẩy cánh quạt động cơ đuôi quay theo chiều dương
$k_{fhn}$	Hằng số lực đẩy cánh quạt động cơ đuôi quay theo chiều âm
$k_{fvp}$	Hằng số lực đẩy cánh quạt động cơ chính quay theo chiều dương
$k_{fvn}$	Hằng số lực đẩy cánh quạt động cơ chính quay theo chiều âm
$k_m$	Hằng số của mô men xen kênh do ảnh hưởng của tốc độ lực đẩy cánh quạt chính lên chuyển động của cánh tay đòn tự do trong mặt ngang
$k_{sfh}$	Hằng số mô men ma sát tĩnh trong mặt ngang
$k_{sfv}$	Hằng số mô men ma sát tĩnh trong mặt đứng
$k_{thp}$	Hệ số phụ thuộc vào chiều vận tốc góc cách quạt đuôi khi quay theo chiều dương
$k_{thn}$	Hệ số phụ thuộc vào chiều vận tốc góc cách quạt đuôi khi quay theo chiều âm
$k_{tvp}$	Hệ số phụ thuộc vào chiều vận tốc góc cách quạt chính khi quay theo chiều dương
$k_{tvn}$	Hệ số phụ thuộc vào chiều vận tốc góc cách quạt chính khi quay theo chiều âm

$k_t$	Hằng số của mô men xen kênh do ảnh hưởng của tốc độ lực đẩy cánh quạt đuôi lên chuyển động của cánh tay đòn tự do trong mặt đứng.
$k_{vfh}$	Hệ số mô men ma sát Viscous trong mặt ngang
$k_{vfv}$	Hệ số mô men ma sát Viscous trong mặt đứng
$k_g$	Hệ số hiệu ứng con quay hồi chuyển
$L$	Hàm Lagrange
$l_{T2}$	Khoảng cách từ trọng tâm của thanh đối trọng đến khớp xoay
$l_b$	Chiều dài của thanh đối trọng
$l_{cb}$	Khoảng cách từ đối trọng đến khớp xoay
$l_m$	Chiều dài phần chính của cánh tay đòn tự do
$l_t$	Chiều dài phần đuôi của cánh tay đòn tự do
$L_{cm}$	Điện cảm phản ứng của động cơ chính
$L_{ct}$	Điện cảm phản ứng của động cơ đuôi
$m$	Khối lượng
$m_{T1}$	Tổng khối lượng của cánh tay đòn tự do
$l_{T1}$	Trọng tâm của cánh tay đòn tự do
$m_t$	Khối lượng phần phía bên cánh quạt đuôi của thanh ngang
$m_{tr}$	Khối lượng động cơ đuôi
$m_{ts}$	Khối lượng vành bảo vệ cánh quạt đuôi
$m_m$	Khối lượng phần phía bên cánh quạt chính của thanh ngang
$m_{mr}$	Khối lượng động cơ chính
$m_{ms}$	Khối lượng vành bảo vệ cánh quạt chính
$m_b$	Khối lượng của thanh đối trọng