

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Hệ thống Twin Rotor MIMO (TRMS_Twin Rotor Multi-Input Multi-Output System) là một bộ thí nghiệm khí động học, các chuyển động của nó được mô phỏng giống các chuyển động của máy bay trực thăng. TRMS là đối tượng điều khiển phi tuyến điển hình nhiều đầu vào nhiều đầu ra, có tương tác xen kênh, có tham số bất định và có nhiễu tác động. Vì vậy, đã có nhiều công trình trong và ngoài nước lấy TRMS làm đối tượng nghiên cứu nhằm phát triển và kiểm nghiệm các phương pháp khiển mới, đặc biệt là cho bài toán điều khiển bám vị trí chính xác. Mặc dù mỗi công trình đều đạt được những kết quả dựa trên các tiêu chí, phương pháp xây dựng hệ điều khiển đặt ra nhưng TRMS vẫn là một thách thức không nhỏ đối với các nhà nghiên cứu trong việc áp dụng các thuật toán điều khiển mới để cải thiện chất lượng bám quỹ đạo. Do đó, tác giả đã chọn đề tài luận án “Nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển bám quỹ đạo cho hệ thống Twin Rotor MIMO” để có thêm đóng góp mới có ý nghĩa khoa học trong nghiên cứu lý thuyết cũng như khả năng ứng dụng vào thực tiễn cho lớp đối tượng phi tuyến này.

2. Mục đích và nhiệm vụ của đề tài

Mục tiêu tổng quát: Nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác phản hồi kết hợp bộ nhận dạng bất định và nhiễu áp dụng vào hệ cơ điện-tử được mô tả bởi mô hình Euler-Lagrange nói chung và TRMS nói riêng.

Để thực hiện được mục tiêu này, đề tài đặt ra các nhiệm vụ chính sau:

- Nghiên cứu kỹ thuật cài đặt bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác cho lớp hệ Euler-Lagrange, khi nó có mô hình chính xác.
- Bổ sung vào bộ điều khiển trên thêm chức năng nhận dạng thành phần bất định hàm và điều khiển bù thành phần bất định hàm đó để mở rộng khả năng ứng dụng cũng như chất lượng bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác, cho cả những lớp hệ Euler-Lagrange có mô hình không chính xác.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

Đối tượng nghiên cứu của luận án là lớp hệ Euler-Lagrange song tuyến, bất định nói chung và hệ TRMS nói riêng. Với TRMS thì đây là một hệ có gần như đầy đủ tính năng mô phỏng của một thiết bị bay dạng trực thăng và thuộc nhóm các hệ cơ-điện tử có mô hình kiểu Euler-Lagrange tổng quát.

Phạm vi nghiên cứu cụ thể của đề tài là:

- Nghiên cứu xây dựng phương pháp điều khiển hệ Euler-Lagrange dạng song tuyến, có mô hình không chính xác, chứa thành phần bất định hàm, để đầu ra của hệ thống, tức là các biến khớp của hệ, bám tiệm cận theo được quỹ đạo mẫu mong muốn cho trước.

- Áp dụng phương pháp trên cho hệ cụ thể là TRMS. Kiểm chứng chất lượng điều khiển bằng mô phỏng và thực nghiệm.

4. Phương pháp nghiên cứu

Để đạt được mục tiêu của đề tài, luận án sử dụng các phương pháp nghiên cứu:

- Nghiên cứu lý thuyết: Phân tích, tổng hợp các kiến thức về sai lệch mô hình toán của hệ Euler-Lagrange nói chung và hệ TRMS nói riêng, nguyên nhân của các sai lệch đó. Từ đó đưa ra phương pháp điều khiển thích hợp mà cụ thể ở đây là phương pháp điều khiển thích nghi bù sai lệch mô hình và phương pháp điều khiển tuyến tính hóa chính xác bằng phản hồi trạng thái.

- Nghiên cứu mô phỏng: Sử dụng công cụ Matlab-Simulink để mô phỏng kiểm chứng các nhận định lý thuyết và các thuật toán mà luận án đề xuất.

- Kiểm chứng kết quả nghiên cứu bằng thực nghiệm sát với điều kiện của thực tế, tức là tiến hành thí nghiệm để đánh giá chất lượng thích nghi và bền vững của bộ điều khiển đề xuất trên bàn thí nghiệm vật lý hệ TRMS.

5. Những đóng góp mới, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

* *Luận án đã có các đóng góp cụ thể như sau:*

- Xây dựng bộ điều khiển bám quỹ đạo cho hệ Euler-Lagrange song tuyến có mô hình chính xác, chứng minh tính ổn định và ổn định tiệm cận của hệ bám trong trường hợp không có và có yếu tố bất định.

- Xây dựng bộ điều khiển thích nghi bám quỹ đạo cho hệ Euler-Lagrange song tuyến bất định trên cơ sở bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác kết hợp bộ nhận dạng thành phần bất định dựa trên nguyên lý tối ưu hóa từng đoạn sai lệch mô hình trên trục thời gian.

** Ý nghĩa khoa học của luận án:*

- Từ bộ điều khiển theo luật PID của nhà cung cấp thiết bị cho TRMS, luận án đã thiết kế được bộ điều khiển bù bất định theo nguyên lý tối ưu hóa từng đoạn sai lệch mô hình trên trục thời gian đạt độ chính xác cao về bám quỹ đạo mẫu;

- Đóng góp một phần nhỏ vào sự phát triển phong phú của lý thuyết điều khiển tự động cho hệ phi tuyến có tham số bất định và nhiễu tác động.

** Ý nghĩa thực tiễn của luận án:*

- Đa dạng hóa các phương pháp điều khiển cho mô hình TRMS, ứng dụng trong đào tạo ở bậc cao học và nghiên cứu sinh của trường;

- Từ kết quả nghiên cứu này có thể áp dụng cho các phần tử bay có dạng khí động học phức tạp.

6. Bố cục của luận án

Nội dung của luận án được trình bày trong 4 chương và phần kết luận gồm các vấn đề nghiên cứu sau:

Chương 1 trình bày tổng quan về mô hình hóa và các phương pháp điều khiển đã có cho TRMS. Từ đó phân tích các ưu nhược điểm của những phương pháp này để đề xuất giải pháp khắc phục nhược điểm, phát huy ưu điểm của chúng.

Chương 2 xây dựng bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác hệ TRMS khi có mô hình chính xác.

Chương 3 xây dựng điều khiển bù bất định hàm dựa trên nguyên lý tối ưu hóa từng đoạn sai lệch mô hình trên trục thời gian. Sau đó, kết hợp với bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác để được bộ điều khiển thích nghi bền vững cho hệ TRMS.

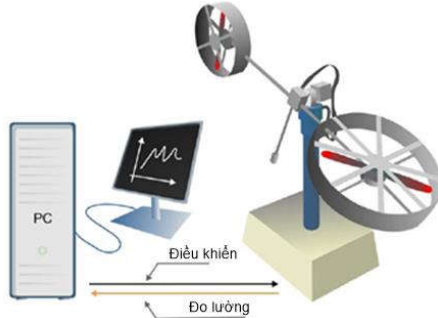
Cuối cùng, ở chương 4, chất lượng bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác kết hợp với cơ cấu nhận dạng bù sai lệch bất định của mô hình sẽ được kiểm chứng trong các điều kiện thực tế với bàn thực nghiệm vật lý hệ TRMS.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ TRMS-MÔ HÌNH HÓA VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN

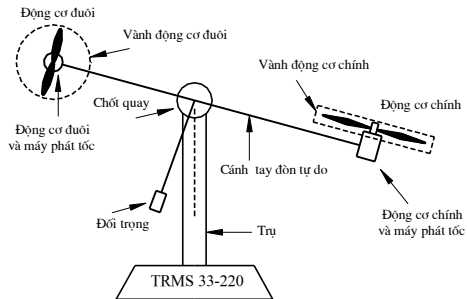
1.1 Mô hình hóa hệ TRMS

1.1.1 Cấu trúc vật lý hệ TRMS



Hình 1.1: Cấu trúc vật lý hệ TRMS [8]

Hình 1.1 biểu diễn cấu trúc vật lý của hệ thống Twin Rotor MIMO [8] (viết tắt TRMS_Twin Rotor Multi-Input Multi-Output System). Đây là một bộ thí nghiệm được thiết kế cho mục đích thực nghiệm. Hình 1.2 dưới mô tả chi tiết quan hệ hai phần điện và cơ trong hệ TRMS.



Hình 1.2: Kết cấu cơ-điện hệ TRMS [9]-[10]

1.1.2 Mô hình hóa bằng phương pháp lý thuyết

1.1.2.1 Phương trình Euler-Lagrange

Phương trình Euler-Lagrange của một hệ cơ có cấu trúc như sau [11]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right)^T - \left(\frac{\partial L}{\partial q} \right)^T = F \tau \quad (1.1)$$

Các phương trình Lagrange

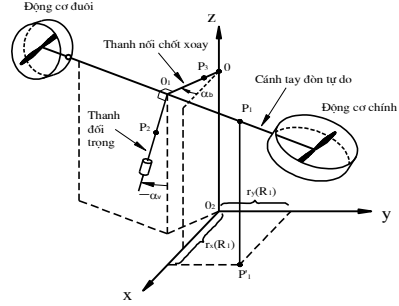
Áp dụng phương trình Euler-Lagrange (1.1) cho TRMS [9], [10]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_h} \right) - \frac{\partial L}{\partial \alpha_h} = \sum_i M_{ih} \quad (1.27)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_v} \right) - \frac{\partial L}{\partial \alpha_v} = \sum_i M_{iv} \quad (1.28)$$

Trong đó:

$$L = \sum_{i=1}^3 W_{đi} - \sum_{i=1}^3 W_{ti} \quad (1.29)$$



Hình 1.3: TRMS [10]

Biểu diễn hai phương trình trên chung lại với nhau dưới dạng vector, được:

$$\begin{bmatrix} J_1 \cos^2 \alpha_v + J_2 \sin^2 \alpha_v + h^2 (m_{T_1} + m_{T_2}) + J_3 & h(m_{T_1} l_{T_1} \sin \alpha_v - m_{T_2} l_{T_2} \cos \alpha_v) \\ h(m_{T_1} l_{T_1} \sin \alpha_v - m_{T_2} l_{T_2} \cos \alpha_v) & (J_1 + J_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\alpha}_h \\ \ddot{\alpha}_v \end{bmatrix} \quad (1.30)$$

$$+ \begin{bmatrix} h(m_{T_1} l_{T_1} \cos \alpha_v + m_{T_2} l_{T_2} \sin \alpha_v) \dot{\alpha}_v^2 + 2(J_2 - J_1) \dot{\alpha}_h \dot{\alpha}_v \sin \alpha_v \cos \alpha_v \\ \dot{\alpha}_h^2 (J_1 - J_2) \sin \alpha_v \cos \alpha_v + g(m_{T_1} l_{T_1} \cos \alpha_v + m_{T_2} l_{T_2} \sin \alpha_v) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i M_{ih} \\ \sum_i M_{iv} \end{bmatrix}$$

trong đó

$$\sum_i M_{ih} = M_{prop,h} - M_{fric,h} - M_{cable} + k_m \dot{\alpha}_v \cos \alpha_v \quad (1.33)$$

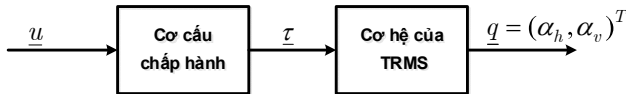
$$\sum_i M_{iv} = M_{prop,v} - M_{fric,v} + k_t \dot{\alpha}_h + M_{gyro} \quad (1.34)$$

α_h : góc đảo lái [rad], α_v : góc chao dọc [rad]

ω_h : vận tốc góc của rotor đuôi [rad/s], ω_v : vận tốc góc của rô to chính [rad/s]

1.1.2.2. Nhận dạng tham số mô hình

Các bước chi tiết của quy trình nhận dạng trên cho riêng hệ TRMS đã được trình bày cụ thể ở hai tài liệu [9] và [10].



Hình 1.6: Cấu trúc khối tổng thể của hệ vật lý TRMS

1.2 Các phương pháp điều khiển hiện có và tổng quan các công trình liên quan

Phương trình Euler-Lagrange một hệ điện-cơ tổng quát [11], [12], [13], [15]: $M(\underline{q})\ddot{\underline{q}} + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} + g(\underline{q}) = F\underline{\tau} + \underline{n}(t)$ (1.40)

Áp dụng cho mô hình TRMS được mô tả bằng phương trình (1.30) vào phương trình (1.40) sẽ được các tham số như sau:

$$\underline{\tau} = \begin{pmatrix} M_{prop,h} \\ M_{prop,v} \end{pmatrix}, \quad \underline{q} = \begin{pmatrix} \alpha_h \\ \alpha_v \end{pmatrix}, \quad M(\underline{q}) = (m_{ij}(\underline{q})), \quad C(\underline{q}, \dot{\underline{q}}) = (c_{ij}(\underline{q}, \dot{\underline{q}})), \quad i, j = 1, 2$$

$$F = I_{2 \times 2}, \quad \underline{g}(\underline{q}) = \begin{pmatrix} 0 \\ g(m_{T_1} l_{T_1} \cos \alpha_v + m_{T_2} l_{T_2} \sin \alpha_v) \end{pmatrix}^T \quad (1.42)$$

$$\underline{n}(t) = \begin{pmatrix} -M_{fric,h} - M_{cable} + k_m \dot{\omega}_v \cos \alpha_v \\ -M_{fric,v} + k_t \dot{\omega}_h + M_{gyro} \end{pmatrix}$$

$$m_{11}(\underline{q}) = J_1 \cos^2 \alpha_v + J_2 \sin^2 \alpha_v + h^2 (m_{T_1} + m_{T_2}) + J_3$$

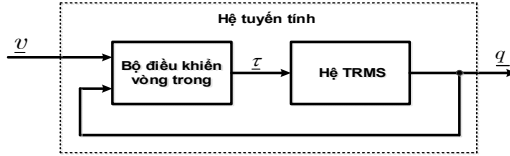
$$m_{12}(\underline{q}) = m_{21}(\underline{q}) = h (m_{T_1} l_{T_1} \sin \alpha_v - m_{T_2} l_{T_2} \cos \alpha_v), \quad m_{22}(\underline{q}) = J_1 + J_2,$$

$$c_{11}(\underline{q}, \dot{\underline{q}}) = 2\dot{\alpha}_v (J_2 - J_1) \sin \alpha_v \cos \alpha_v$$

$$c_{12}(\underline{q}, \dot{\underline{q}}) = \dot{\alpha}_v h (m_{T_1} l_{T_1} \cos \alpha_v + m_{T_2} l_{T_2} \sin \alpha_v)$$

$$c_{21}(\underline{q}, \dot{\underline{q}}) = \dot{\alpha}_h (J_1 - J_2) \sin \alpha_v \cos \alpha_v \quad \text{và} \quad c_{22} = 0.$$

1.2.1 Điều khiển tuyến tính



Hình 1.7: Tuyến tính hóa bằng bộ điều khiển phản hồi

Với giả thiết rằng mô hình hệ cơ – điện (1.40), hay hệ TRMS mô tả bởi mô hình toán (1.30), (1.42) là:

- Tuyệt đối chính xác,
- Đủ cơ cấu chấp hành,
- Và không chứa thành phần bất định, tức là có $\underline{n}(t) = \underline{0}$, thì một bộ điều khiển (vòng trong) làm hệ phản hồi trở thành tuyến tính sẽ là:

$$\underline{\tau} = M(\underline{q})\underline{v} + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} + \underline{g}(\underline{q}). \quad (1.43)$$

Ta thấy ngay được rằng với bộ điều khiển vòng trong (1.43) cho ở trên thì hệ phản hồi ở hình 1.7 sẽ trở thành tuyến tính (tích phân bậc 2 và tách kênh):

$$M(\underline{q})\underline{v} = M(\underline{q})\ddot{\underline{q}} \quad \text{hay} \quad \underline{v} = \ddot{\underline{q}}, \quad (1.44)$$

vì $M(\underline{q})$ là ma trận khả nghịch (xác định dương). Ngoài ra, ở đây ta còn thấy rằng với bộ điều khiển (1.43), hệ (1.44) không những tuyến tính còn là tách kênh. Với bộ điều khiển vòng trong (1.43) như vậy thì

vấn đề điều khiển tiếp theo chỉ còn là điều khiển hệ tuyến tính, tách kênh (1.44) bằng một bộ điều khiển tuyến tính (ở vòng ngoài) sao cho toàn bộ hệ kín có được chất lượng bám mong muốn, tức là để đầu ra \underline{q} của nó bám tiệm cận theo được vector tín hiệu mẫu \underline{r} cho trước.

1.2.1.1. Điều khiển PID

1.2.1.2 Điều khiển tối ưu LQR và LQG

1.2.2. Điều khiển phi tuyến

1.2.2.1 Điều khiển theo nguyên lý trượt

1.2.2.2 Điều khiển thích nghi

1.2.2.3 Điều khiển mờ

1.2.2.4 Điều khiển bằng mạng neural

1.2.2.6 Điều khiển dự báo và điều khiển trượt dọc trục thời gian

1.3 Kết luận

Ở chương 1 luận án đã trình bày tổng quan về hệ thống Twin Rotor MIMO, phân tích mô hình toán theo Euler-Lagrange, đề cập đến các vấn đề phi tuyến của đối tượng cần nghiên cứu là TRMS. Nhờ đó, có thể thấy TRMS là hệ MIMO phi tuyến có hai đầu vào / hai đầu ra, chịu ảnh hưởng xen kênh, có thông số bất định cùng nhiều tác động. Qua phân tích đánh giá tổng quan các công trình nghiên cứu của các tác giả trong và ngoài nước với các hướng nghiên cứu về điều khiển bám quỹ đạo chuyển động của TRMS, từ đó làm rõ tính cấp thiết của luận án cũng như đề xuất xây dựng bộ điều khiển thích nghi bám quỹ đạo cho hệ cơ – điện song tuyến bất định trên cơ sở bộ điều khiển tuyến tính hóa và bộ nhận dạng thành phần bất định theo nguyên lý tối ưu hóa từng đoạn sai lệch mô hình trên trục thời gian áp dụng cho TRMS. Bộ điều khiển này tận dụng được các ưu điểm của những bộ điều khiển đã có, đồng thời tránh được các nhược điểm của chúng. Chính vì vậy, luận án đã đặt ra các yêu cầu:

- Vẫn sử dụng ưu thế đáng tin cậy của các phương pháp điều khiển tuyến tính, liên tục (không cần rời rạc hóa mô hình để thiết kế bộ điều khiển).

- Bổ sung thêm cho các phương pháp điều khiển tuyến tính trong miền thời gian liên tục, hay ít nhất là các phương pháp tuyến tính hóa đó, khả năng thích nghi và bền vững được với cả những thành phần bất định phi tuyến.

CHƯƠNG 2

ĐIỀU KHIỂN TUYẾN TÍNH HÓA CHÍNH XÁC HỆ TRMS KHI CÓ MÔ HÌNH CHÍNH XÁC

Ở chương này, luận án sẽ tìm cách xây dựng bộ điều khiển bám quỹ đạo mẫu cho hệ cơ-điện có mô hình Euler-Lagrange song tuyến: $M(\underline{q})\ddot{\underline{q}} + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} = F[\underline{u} + \underline{d}(\underline{q}, t)]$ (2.1)

thay vì cấu trúc gốc (1.40) ban đầu.

Có thể thấy nếu so sánh với (1.40) thì mô hình (2.1) này là tương đương, nếu như thành phần bất định $\underline{n}(t)$, cũng như vector lực ma sát và gia tốc trọng trường $\underline{g}(\underline{q})$ của (1.40) được giả thiết là đều thuộc không gian ảnh của F :

$$\underline{n}(t) = F\underline{n}(t)' \text{ và } \underline{g}(\underline{q}) = F\underline{g}(\underline{q})' \quad (2.2)$$

Khi đó giữa $\underline{n}(t)$, $\underline{g}(\underline{q})$ của (1.40) và $\underline{d}(\underline{q}, t)$ của (2.1) có quan hệ:

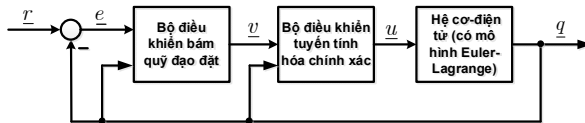
$$\underline{d}(\underline{q}, t) = \underline{n}(t)' - \underline{g}(\underline{q})'. \quad (2.3)$$

2.1 Phương pháp cơ sở: Điều khiển bù trọng trường

Phương pháp điều khiển bù trọng trường là một phương pháp thiết kế bộ điều khiển bám quỹ đạo mẫu cho trước, ký hiệu là \underline{r} , cho các biến khớp \underline{q} của lớp hệ cơ-điện (1.40) đủ cơ cấu chấp hành, không chứa thành phần bất định (gọi là hệ có mô hình chính xác):

$$M(\underline{q})\ddot{\underline{q}} + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} + \underline{g}(\underline{q}) = \underline{u} \quad (2.4)$$

Trong đó: $\underline{u} = \underline{\tau}$, tức là ở đây ta cũng đã giả thiết cơ cấu chấp hành giống như một khâu biến đổi lý tưởng các giá trị vật lý.



Hình 2.1: Cấu trúc cascade của bộ điều khiển bù trọng trường [4]

2.1.1 Tuyến tính hóa chính xác bằng phản hồi

Bộ điều khiển tuyến tính hóa phản hồi (điều khiển vòng trong) cho hệ cơ-điện tử (2.4) cũng chính là bộ điều khiển (1.43) đã biết trước đây: $\underline{u} = M(\underline{q})\underline{v} + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} + \underline{g}(\underline{q})$ (2.5)

và cùng với nó hệ kín ở vòng trong trở thành tuyến tính: $\ddot{\underline{q}} = \underline{v}$ (2.6)

Hơn thế nữa, hệ tuyến tính (2.6) trên còn là tách kênh, gồm n hệ con SISO (một vào-một ra) dạng tích phân bậc 2:

$$\ddot{q}_i = v_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

trong đó n là số các biến khớp (và cũng là số các tín hiệu đầu vào).

2.1.2. Điều khiển vòng ngoài để bám quỹ đạo mẫu

Bộ điều khiển vòng ngoài được xác định là [4]:

$$\underline{v} = \frac{d^2 \underline{r}}{dt^2} + K_1 \underline{e} + K_2 \frac{d\underline{e}}{dt} \quad \text{với} \quad \underline{e} = \underline{r} - \underline{q} \quad (2.7)$$

ở đây \underline{r} [rad], \underline{e} [rad], K_1 [rad/s²], K_2 [rad/s]

Hai ma trận K_1, K_2 được chọn sao cho: $\Phi = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -K_1 & -K_2 \end{bmatrix}$ (2.8)

là ma trận Hurwitz. Với bộ điều khiển vòng ngoài trên thì hệ đã tuyến tính hóa chính xác sẽ trở (2.6) thành:

$$\ddot{\underline{q}} = \underline{v} = \frac{d^2 \underline{r}}{dt^2} + K_1 \underline{e} + K_2 \frac{d\underline{e}}{dt} \quad \text{hay} \quad \underline{0} = \frac{d^2 \underline{e}}{dt^2} + K_1 \underline{e} + K_2 \frac{d\underline{e}}{dt},$$

tức là trở thành:

$$\begin{pmatrix} \dot{\underline{e}} \\ \underline{e} \end{pmatrix} = \Phi \begin{pmatrix} \underline{e} \\ \dot{\underline{e}} \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} \underline{e} \\ \dot{\underline{e}} \end{pmatrix} = \exp(\Phi t) \begin{pmatrix} \underline{e}(0) \\ \dot{\underline{e}}(0) \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

nên có $\underline{e} \rightarrow \underline{0}$ và $\dot{\underline{e}} \rightarrow \underline{0}$, vì Φ là ma trận Hurwitz.

2.1.3 Bộ điều khiển chung

Ghép hai bộ điều khiển (2.5) và (2.7) chung lại với nhau, ta được:

$$\underline{u} = M(\underline{q})[\ddot{\underline{r}} + K_1 \underline{e} + K_2 \dot{\underline{e}}] + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} + \underline{g}(\underline{q}) \quad (2.10)$$

với $\underline{e} = \underline{r} - \underline{q}$

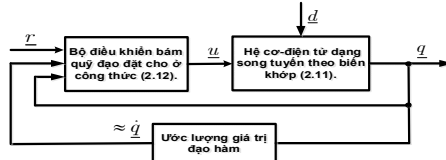
2.2 Phương pháp đề xuất cho hệ Euler-Lagrange song tuyến khi có mô hình chính xác

$$M(\underline{q})\ddot{\underline{q}} + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} = \underline{u}. \quad (2.11)$$

2.2.1 Bộ điều khiển bám quỹ đạo mẫu

Cải biên bộ điều khiển chung (2.10) sao cho nó phù hợp được với dạng Euler-Lagrange song tuyến cho ở công thức (2.11), ta sẽ có:

$$\underline{u} = M(\underline{q})[\ddot{\underline{r}} + K_1 \underline{e} + K_2 \dot{\underline{e}}] + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} \quad \text{với} \quad \underline{e} = \underline{r} - \underline{q}. \quad (2.12)$$



Hình 2.2: Điều khiển ển bám quỹ đạo mẫu cho hệ song tuyến theo biến khớp.

Định lý 1: Với các ma trận K_1, K_2 :

$K_1 = \text{diag}(k_{1i}), K_2 = \text{diag}(k_{2i})$ có $k_{2i}^2 > k_{1i} > 0$ (2.16) thì bộ điều khiển sẽ làm cho đầu ra của hệ song tuyến theo biến khớp, mô tả bởi mô hình chính xác (2.11), tiệm cận tới được tín hiệu mẫu \underline{r} .

Chứng minh:

Ký hiệu hai ma trận:

$$Q = \begin{pmatrix} 2K_1^2 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & 2(K_2^2 - K_1) \end{pmatrix} \text{ và } P = \begin{pmatrix} 2K_1K_2 & K_1 \\ K_1 & K_2 \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

Với các điều kiện (2.16) các ma trận P, Q sẽ là những ma trận đối xứng xác định dương. Tiếp theo, cùng với Φ cho bởi (2.8), ta sẽ có:

$$\begin{aligned} \Phi^T P + P \Phi &= \begin{pmatrix} \mathbf{0} & -K_1 \\ I & -K_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2K_1K_2 & K_1 \\ K_1 & K_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2K_1K_2 & K_1 \\ K_1 & K_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{0} & I \\ -K_1 & -K_2 \end{pmatrix} \\ &= - \begin{pmatrix} 2K_1^2 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & 2(K_2^2 - K_1) \end{pmatrix} = -Q \end{aligned} \quad (2.18)$$

Cuối cùng, vì (2.18) là phương trình Lyapunov với Q đối xứng xác định dương và có nghiệm P cũng đối xứng xác định dương (thậm chí là duy nhất), do đó Φ phải là ma trận Hurwitz. Vì vậy theo mục 2.1.2 thì phương trình (2.9) với $\underline{e} = \underline{r} - \underline{q}$ phải có đồng thời $\underline{e} \rightarrow \underline{0}$ và $\dot{\underline{e}} \rightarrow \underline{0}$ (điều cần phải chứng minh).

2.2.2 Đánh giá chất lượng bền vững của bộ điều khiển đề xuất cho hệ Euler-Lagrange song tuyến bất định

Tài liệu [1] và [4] có trình bày một phương pháp điều khiển bền vững ISS cho hệ bất định dạng tổng quát (1.40), đủ cơ cấu chấp hành, tức là hệ có mô hình:

$$M(\underline{q})\ddot{\underline{q}} + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} + \underline{g}(\underline{q}) = \underline{u} + \underline{n}(t), \quad \underline{q} \in \mathbb{R}^n \quad (2.19)$$

Dựa theo kết quả đã có trên của [1], [4] về tính bám ổn định ISS, luận án đi đến một phát biểu tương tự như sau, nhưng bây giờ là cho lớp hệ Euler-Lagrange song tuyến (2.11) có thêm thành phần bất định $\underline{n}(t)$, mô tả bởi:

$$M(\underline{q})\ddot{\underline{q}} + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} = \underline{u} + \underline{n}(t). \quad (2.22)$$

Định lý 2: Với hai ma trận K_1, K_2 :

$$K_1 = \text{diag}(k_{1i}), \quad K_2 = \text{diag}(k_{2i}) \quad (2.23)$$

$$k_{11} = \dots = k_{1n} = a, \quad k_{21} = \dots = k_{2n} = \sqrt{ab}$$

có $b-1 > a > 0$ là tùy chọn, thì bộ điều khiển:

$$\underline{u} = M(\underline{q})\left[\ddot{\underline{r}} - \underline{\hat{d}}(t) + K_1\underline{e} + K_2\dot{\underline{e}}\right] + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} \quad (2.24)$$

trong đó $\underline{\hat{d}}(t)$ là hàm được chọn thỏa mãn:

$$\left|\underline{\hat{d}}(t) - M(\underline{q})^{-1}\underline{n}(t)\right| \leq \mu, \quad \forall t, \underline{q} \quad (2.25)$$

sẽ đưa sai lệch bám $\underline{e} = \underline{r} - \underline{q}$ của hệ Euler-Lagrange song tuyến chứa thành phần bất định (2.22), cùng đạo hàm của nó là $\dot{\underline{e}}$, tiến về được lân cận nhỏ của gốc:

$$\mathcal{O} = \left\{ \underline{p} = \text{col}(\underline{e}, \dot{\underline{e}}) \in \mathbb{R}^{2n} \mid |\underline{p}| \leq \frac{\mu}{a} \right\}. \quad (2.26)$$

Chứng minh:

Với hai ma trận K_1, K_2 đã cho ở (2.23) thì hai ma trận P, Q xác định bởi công thức (2.17), như phần chứng minh của định lý 1, là hai ma trận đối xứng xác định dương. Hơn thế nữa chúng còn thỏa mãn phương trình Lyapunov (2.18) có ma trận Φ cho ở (2.8). Ngoài ra, hệ kín, gồm đối tượng Euler-Lagrange song tuyến (2.22) và bộ điều khiển (2.24) còn mô tả được bởi:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \underline{e}}{dt^2} &= -K_1 \underline{e} - K_2 \frac{d \underline{e}}{dt} + \underline{\hat{d}}(t) - M(\underline{q})^{-1} \underline{n}(t) \quad \text{hay} \\ \frac{d \underline{p}}{dt} &= \begin{pmatrix} \mathbf{0} & I \\ -K_1 & -K_2 \end{pmatrix} \underline{p} + \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ I \end{pmatrix} \underline{v} = \Phi \underline{p} + B \underline{v} \end{aligned} \quad (2.27)$$

trong đó:

$$\underline{p} = \begin{pmatrix} \underline{e} \\ \dot{\underline{e}} \end{pmatrix}, \quad \underline{v}(t) = \underline{\hat{d}}(t) - M(\underline{q})^{-1} \underline{n}(t) \quad \text{và} \quad B = \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ I \end{pmatrix}.$$

Sử dụng hàm xác định dương:

$$V(\underline{p}) = \frac{1}{2} \underline{p}^T P \underline{p} \quad \text{với} \quad \underline{p} = \text{col}(\underline{e}, \underline{\dot{e}}) = (p_1, p_2, \dots, p_{2n})^T$$

cùng với (2.27), ta có:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \frac{1}{2} [(\Phi \underline{p} + B \underline{v})^T P \underline{p} + \underline{p}^T P (\Phi \underline{p} + B \underline{v})] \\ &= \frac{1}{2} [\underline{p}^T (\Phi^T P + P \Phi) \underline{p} + \underline{v}^T (B^T P + B^T P^T) \underline{p}] \\ &= \frac{1}{2} (-\underline{p}^T Q \underline{p} + 2 \underline{v}^T B^T P \underline{p}) \\ &= -\underline{p}^T \begin{pmatrix} K_1^2 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & (K_2^2 - K_1) \end{pmatrix} \underline{p} + \underline{v}^T (\mathbf{0}, I) \begin{pmatrix} 2K_1 K_2 & K_1 \\ K_1 & K_2 \end{pmatrix} \underline{p} \\ &= -\underline{p}^T \begin{pmatrix} K_1^2 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & (K_2^2 - K_1) \end{pmatrix} \underline{p} + \underline{v}^T (K_1, K_2) \underline{p} \\ &= -a^2 \sum_{i=1}^n p_i^2 - (ab-a) \sum_{i=1}^n p_{n+i}^2 + (ap_1, \dots, ap_n, (ab-a)p_{n+1}, \dots, (ab-a)p_{2n}) \underline{v} \\ &\leq -a^2 |\underline{p}|^2 + a |\underline{v}| |\underline{p}| \leq a (\mu - a |\underline{p}|) |\underline{p}| \end{aligned}$$

Như vậy, khi sai lệch bám \underline{p} còn nằm xa gốc, tức là còn có: $\underline{p} \notin \mathcal{O}$

thì vẫn còn có $\dot{V} < 0$, nên \underline{p} vẫn giảm, hay sai lệch bám vẫn tiến về gốc, và đó chính là điều phải chứng minh.

Cuối cùng, cũng từ định lý 2 ta thấy, khi áp dụng trực tiếp bộ điều khiển bền vững ISS (2.24) cho hệ Euler-Lagrange bất định (2.22), thì với hằng số a được chọn càng lớn, miền hấp dẫn \mathcal{O} sẽ càng nhỏ. Tuy nhiên trên thực tế ta không thể chọn $a = \infty$ để tính bám ổn định ISS trở thành bám ổn định tiệm cận. Do đó, để điều khiển bám ổn định tiệm cận thì vấn đề còn lại là phải làm thế nào để chọn được vector hàm $\hat{\underline{d}}(t)$ thỏa mãn điều kiện bất buộc (2.25) ứng với $\mu = 0$. Điều này sẽ được luận án giải quyết sau ở chương 3.

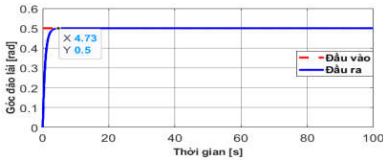
2.2.3 Áp dụng cho hệ TRMS và kiểm chứng chất lượng bộ điều khiển bằng mô phỏng trên MatLab

Tín hiệu mẫu là hàm đơn vị và hàm sin:

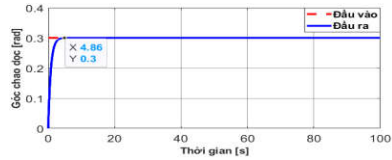
$$\underline{r} = (\alpha_{hR}, \alpha_{vR})^T = (0.5, 0.3)^T \quad [\text{rad}]$$

$$\underline{r} = (\alpha_{hR}, \alpha_{vR})^T = (0.2 \sin(0.1256t), -0.2 \sin(0.1256t))^T \quad [\text{rad}]$$

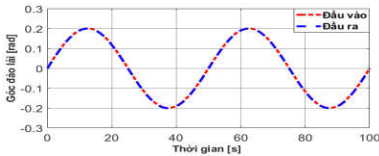
Hai ma trận K_1, K_2 được chọn là: $K_1 = \begin{pmatrix} 40 & 0 \\ 0 & 40 \end{pmatrix}$; $K_2 = \begin{pmatrix} 30 & 0 \\ 0 & 30 \end{pmatrix}$



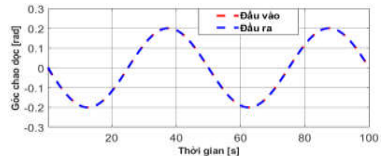
Hình 2.3: Đáp ứng góc đảo lái ứng với tín hiệu mẫu dạng bước nhảy đơn vị khi mô hình không có $\underline{g}(q)$



Hình 2.4: Đáp ứng góc chao dọc ứng với tín hiệu mẫu dạng bước nhảy đơn vị khi mô hình không có $\underline{g}(q)$



Hình 2.5: Đáp ứng góc đảo lái ứng với tín hiệu mẫu hình sin khi mô hình không có $\underline{g}(q)$



Hình 2.6: Đáp ứng góc chao dọc ứng với tín hiệu mẫu hình sin khi mô hình không có $\underline{g}(q)$

2.3 Kết luận

Các kết quả nghiên cứu của luận án thuộc chương này gồm có:

- Đã trình bày tóm tắt lại được một phương pháp điều khiển truyền thống là phương pháp điều khiển bù trọng trường, làm cơ sở cho việc đề xuất xây dựng bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác của luận án, áp dụng cho lớp hệ Euler-Lagrange song tuyến, đủ cơ cấu chấp hành và không chứa thành phần bất định (được gọi là hệ có mô hình chính xác).

- Đã chứng minh chặt chẽ bằng lý thuyết (ở định lý 1) về chất lượng bám ổn định tiệm cận theo quỹ đạo mẫu mà bộ điều khiển đề xuất này mang lại cho hệ Euler-Lagrange song tuyến.

- Về trường hợp hệ Euler-Lagrange song tuyến không chính xác, tức là trong nó tồn tại một thành phần bất định hàm, ở chương này luận án cũng đã bàn tới một khả năng cải tiến bộ điều khiển đã đề xuất, để vẫn có thể đạt được ít nhất là một chất lượng bám ổn định ISS (thay vì bám ổn định tiệm cận).

Mặc dù kết quả bổ sung này sẽ không được luận án tiếp tục sử dụng, song có thể xem nó như là một khẳng định cho khả năng ứng dụng của bộ điều khiển đề xuất cho một lớp rộng các hệ Euler-Lagrange khi mô hình là không chính xác (có sai lệch mô hình).

- Bên cạnh việc chứng minh bằng lý thuyết, chất lượng bám ổn định tiệm cận trên của bộ điều khiển đề xuất cũng đã được luận án chứng minh lại lần nữa bằng mô phỏng với mô hình hệ TRMS dạng Euler-Lagrange song tuyến và không chứa thành phần bất định.

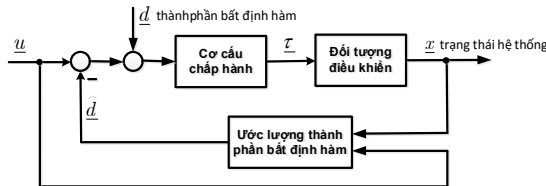
CHƯƠNG 3

ĐIỀU KHIỂN BÙ BẤT ĐỊNH HÀM THEO NGUYÊN LÝ TỐI ƯU HÓA TỪNG ĐOẠN SAI LỆCH MÔ HÌNH TRÊN TRỤC THỜI GIAN

Hiện nay đã có khá nhiều phương pháp nhận dạng thành phần bất định hàm cho hệ phi tuyến nói chung và do đó cũng áp dụng được cho cả hệ song tuyến:

$$\dot{\underline{x}} = A(\underline{x})\underline{x} + B(\underline{x})[\underline{u} + \underline{d}(\underline{x}, t)], \quad (3.1)$$

với $\underline{d}(\underline{x}, t)$ là thành phần bất định hàm, phụ thuộc trạng thái và có cùng số chiều như tín hiệu điều khiển, tức là thành phần bất định hàm này thuộc không gian ảnh của $B(\underline{x})$.



Hình 3.1: Cấu trúc hệ điều khiển bù thành phần bất định hàm ở đầu vào

Có thể thấy sau khi được nhận dạng và bù bất định như mô tả ở hình 3.1 thì việc thiết kế bộ điều khiển (vòng ngoài) sẽ trở nên đơn giản hơn với việc chỉ còn là điều khiển cho hệ tiền định mô tả bởi mô hình song tuyến:

$$\dot{\underline{x}} = A(\underline{x})\underline{x} + B(\underline{x})\underline{u} \quad (3.2)$$

sao cho đầu ra $\underline{y} = \underline{g}(\underline{x})$ của nó bám tiệm cận theo được quỹ đạo mẫu đặt trước là $\underline{r}(t)$. Đó cũng chính là công việc đã được luận án giải quyết từ ở chương 2 cho hệ TRMS với chương trình điều khiển TRMS

3.1 Thuật toán nhận dạng thành phần bất định hàm

3.1.1 Lớp hệ bất định có mô hình trạng thái song tuyến

Luận án giới hạn phạm vi nghiên cứu cho lớp các đối tượng điều khiển phi tuyến, mô tả bởi mô hình dạng song tuyến (trong đó có hệ TRMS). Khi cơ cấu chấp hành được giả thiết là lý tưởng, tức là có

$\underline{u} = \underline{\tau}$ (thuần túy chỉ về mặt giá trị), không có lỗi ($\underline{d} = \underline{0}$) và cũng không có nhiễu tác động thì hệ song tuyến ở hình 3.1 sẽ có mô hình lý tưởng cho ở công thức (3.2), trong đó:

- $A(\underline{x})$, $B(\underline{x})$ là hai ma trận phụ thuộc trạng thái,
- \underline{u} , \underline{x} lần lượt là vector các tín hiệu điều khiển và trạng thái của hệ.

Như vậy, nếu như bây giờ ta xét thêm sự ảnh hưởng của nhiễu đầu vào cũng như lỗi cơ cấu chấp hành, kể cả khi có sai lệch mô hình với giả thiết rằng sai lệch đó thuộc không gian ảnh của $B(\underline{x})$, thì mô hình lý tưởng trên sẽ trở thành mô hình bất định hàm có dạng tổng quát:

$$\dot{\underline{x}} = A(\underline{x})\underline{x} + B(\underline{x})[\underline{u} + \underline{d}]. \quad (3.3)$$

Có thể thấy dạng mô hình song tuyến bất định (3.3) trên là đủ để bao quát một họ khá rộng các hệ phi tuyến có trong thực tế, kể cả những hệ Euler-Lagrange bất định (2.1), đủ hoặc thiếu cơ cấu chấp hành [6], trong đó có hệ TRMS, là đối tượng được luận án chọn để mô phỏng, đánh giá chất lượng nhận dạng thành phần bất định. Thật vậy, nếu như sử dụng ký hiệu:

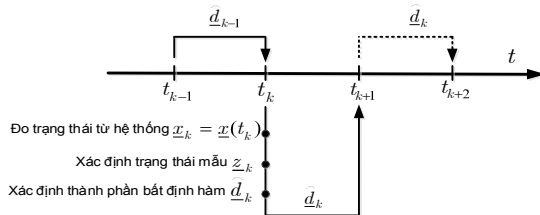
$$\underline{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q \\ \dot{q} \end{pmatrix}$$

thì (2.1) trở thành (3.3) với:

$$A(\underline{x}) = \begin{pmatrix} \mathbf{0} & I \\ \mathbf{0} & -M(q)^{-1}C(q, \dot{q}) \end{pmatrix}; B(\underline{x}) = \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ M(q)^{-1}F \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

3.1.2. Nhận dạng nhiễu theo nguyên tắc cực tiểu hóa từng đoạn bình phương sai lệch mô hình

Hình 3.2 mô tả nguyên lý nhận dạng thành phần bất định hàm $\underline{d}(t)$ dọc theo trục thời gian trên cơ sở cực tiểu hóa sai lệch nhận dạng [69]:



Hình 3.2: Nguyên lý nhận dạng thành phần bất định từng đoạn trên trục thời gian

Thuật toán nhận dạng thành phần bất định hàm (thuật toán AD)

1. Chọn một khoảng dịch chuyển trên trục thời gian T_s với $t_k = kT_s$, $k = 0, 1, \dots$ cách đều nhau. Đây là những thời điểm mà $\underline{d}(t)$ sẽ được ước lượng xấp xỉ thành dãy các giá trị $\widehat{\underline{d}}_k \approx \underline{d}(t_k)$.

Ở đây ta cần giả thiết rằng ma trận $B(\underline{x})$ của hệ song tuyến (3.3) là đủ hạng tại mọi điểm trạng thái $\underline{x}_k = \underline{x}(t_k)$, tức là có: $\text{rank } B(\underline{x}_k) = n$, $\forall \underline{x}_k$.

Tùy chọn \underline{z}_{-1} và $\widehat{\underline{d}}_{-1}$. Gán $\underline{x}_{-1} = \underline{0}$, $k = 0$.

2. Đo $\underline{x}_k = \underline{x}(t_k)$ từ hệ thống. Tính:

$$\left[\begin{array}{l} A_k^x = I + T_s A(\underline{x}_{k-1}), \\ A_k^z = I + T_s A(\underline{z}_{k-1}), \\ B_k = T_s B(\underline{x}_{k-1}), \\ \underline{z}_k = A_k^z \underline{z}_{k-1} + B_k \underline{u}, \\ \widehat{\underline{d}}_k = \left[B_k^T B_k \right]^{-1} B_k^T \left(\underline{x}_k - \underline{z}_k + A_k^z \underline{z}_{k-1} - A_k^x \underline{x}_{k-1} \right) \end{array} \right. \quad (3.15)$$

rồi gán $k := k + 1$ và quay về 2.

Về chất lượng nhận dạng thành phần bất định hàm $\underline{d}(t)$ có trong hệ song tuyến bất định (3.3) của thuật toán nhận dạng trên, trong tài liệu [69] đã khẳng định và chứng minh: “Nếu trạng thái $\underline{x}_k = \underline{x}(t_k)$ đo được từ hệ ở thời điểm t_k biểu diễn chính xác được bởi mô hình không liên tục:

$$\underline{x}_k = A_k^x \underline{x}_{k-1} + B_k [\underline{u} + \underline{d}(t_k)] \text{ trong đó}$$

$$A_k^x = I + T_s A(\underline{x}_{k-1}) \text{ và } B_k = T_s B(\underline{x}_{k-1})$$

thì kết quả ước lượng nhờ thuật toán **AD** sẽ là chính xác, tức là có:

$$\widehat{\underline{d}}_k = \underline{d}(t_k)''$$

Để tăng tốc độ hội tụ cho thuật toán nhận dạng trên, ta có thể gán biến: $\underline{z}_{k+1} = \underline{x}_{k+1}$

Ở trường hợp như vậy, các phép tính (3.15) của thuật toán nhận dạng đã cho ở trên sẽ được thay bằng:

$$\begin{cases} A_k^x = I + T_s A(\underline{x}_{k-1}), \\ A_k^z = I + T_s A(\underline{z}_{k-1}), \\ B_k = T_s B(\underline{x}_{k-1}), \\ z_k = A_k^z z_{k-1} + B_k u, \\ \hat{d}_k = [B_k^T B_k]^{-1} B_k^T (\underline{x}_k - z_k + A_k^z z_{k-1} - A_k^x \underline{x}_{k-1}) \\ \underline{z}_k = \underline{x}_k \end{cases} \quad (3.16)$$

3.2 Xây dựng bộ điều khiển thích nghi bám quỹ đạo mẫu cho hệ Euler-Lagrange song tuyến bất định

Ở chương 2 luận án đã trình bày phương pháp điều khiển bám ổn định tiệm cận cho hệ Euler-Lagrange song tuyến có mô hình chính xác (2.11). Tiếp theo đây chúng ta sẽ bổ sung cho nó khả năng nhận dạng bất định và điều khiển bù thành phần bất định này, để nó còn áp dụng được cho cả lớp hệ Euler-Lagrange bất định (2.19).

Trước tiên, chúng ta chuyển đổi mô hình Euler-Lagrange bất định (2.19) thành dạng Euler-Lagrange song tuyến bất định bằng cách đặt thành phần bất định mới:

$$\underline{d}(\underline{q}, t) = \underline{n}(t) - \underline{g}(\underline{q}). \quad (3.18)$$

Khi đó, mô hình Euler-Lagrange bất định ban đầu (2.19) trở thành: $M(\underline{q})\ddot{\underline{q}} + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} = \underline{u} + \underline{d}(\underline{q}, t)$ (3.19)

$$\text{Tiếp theo, khi sử dụng ký hiệu: } \underline{x} = \begin{pmatrix} \underline{q} \\ \dot{\underline{q}} \end{pmatrix} \quad (3.20)$$

thì mô hình (3.19) sẽ trở thành dạng mô hình trạng thái song tuyến bất định:

$$\begin{aligned} \dot{\underline{x}} &= \begin{pmatrix} \mathbf{0} & I \\ \mathbf{0} & -M(\underline{q})^{-1}C(\underline{q}, \dot{\underline{q}}) \end{pmatrix} \underline{x} + \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ M(\underline{q})^{-1} \end{pmatrix} [\underline{u} + \underline{d}(\underline{q}, t)] = \\ &= A(\underline{x})\underline{x} + B(\underline{x})[\underline{u} + \underline{d}(\underline{x}, t)] \end{aligned} \quad (3.21)$$

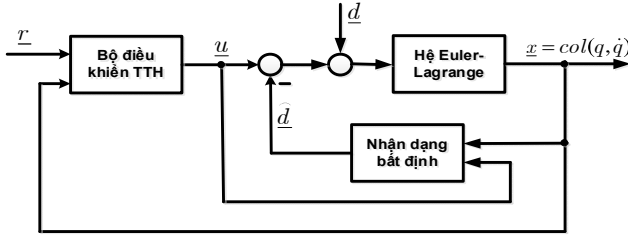
như đã được thể hiện ở (2.32) và (3.4), trong đó:

$$A(\underline{x}) = \begin{pmatrix} \mathbf{0} & I \\ \mathbf{0} & -M(\underline{q})^{-1}C(\underline{q}, \dot{\underline{q}}) \end{pmatrix}, \quad B(\underline{x}) = \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ M(\underline{q})^{-1} \end{pmatrix} \quad \text{và} \quad \underline{d}(\underline{x}, t) = \underline{d}(\underline{q}, t),$$

đúng như dạng mô hình (3.3), thích hợp với thuật toán nhận dạng bất định đã trình bày ở mục 3.1.2.

3.2.1 Bộ điều khiển kết hợp điều khiển bám và bù bất định

Cấu trúc điều khiển kết hợp này được mô tả ở hình 3.3 dưới đây:



Hình 3.3: Điều khiển kết hợp tuyến tính hóa chính xác và bù bất định

3.2.2 Kiểm chứng chất lượng bằng mô phỏng trên MatLab với TRMS

- Tín hiệu mẫu là hàm bước: $\underline{r} = (\alpha_{hR}, \alpha_{vR})^T = (0.5, 0.3)^T$

- Tín hiệu mẫu là hàm sin:

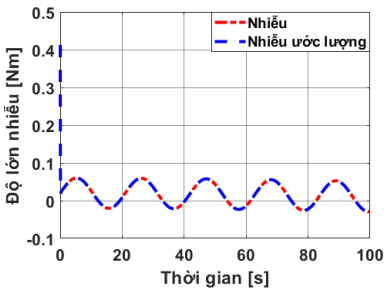
$$\underline{r} = (\alpha_{hR}, \alpha_{vR})^T = (0.2 \sin(0.1256t), -0.2 \sin(0.1256t))^T$$

$$K_1 = \begin{pmatrix} 40 & 0 \\ 0 & 40 \end{pmatrix}; K_2 = \begin{pmatrix} 30 & 0 \\ 0 & 30 \end{pmatrix}$$

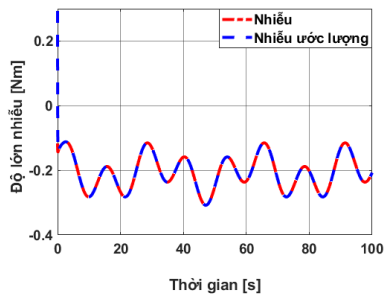
Thành phần bất định hàm được giả định:

$$\underline{n}(t) = \begin{pmatrix} 0.04 \sin(0.3t) + 0.02 \cos(0.01t) \\ 0.08 \cos(0.2t) + 0.07 \sin(0.5t) \end{pmatrix}$$

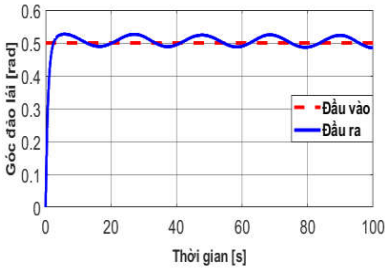
, và khi đó nhiễu $\underline{d}(q, t) = \underline{n}(t) - \underline{g}(q)$



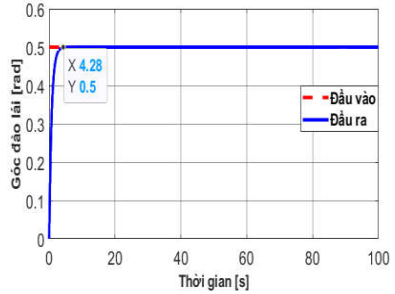
Hình 3.5: Nhiễu ước lượng $\hat{d}_h(t)$ trên mặt ngang khi tín hiệu mẫu là hàm bước



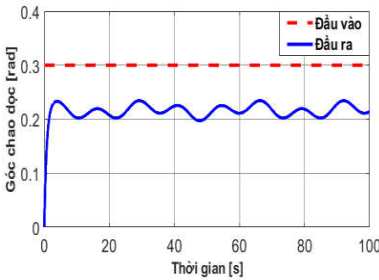
Hình 3.6: Nhiễu ước lượng $\hat{d}_v(t)$ trên mặt đứng khi tín hiệu mẫu là hàm bước



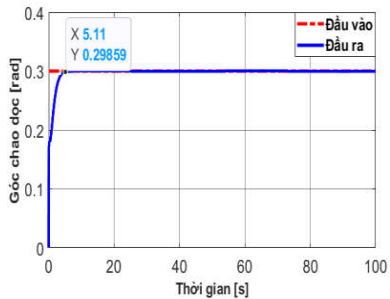
Hình 3.7: Đáp ứng góc đảo lái ứng với tín hiệu mẫu là hàm bước khi chưa có khâu bù bất định



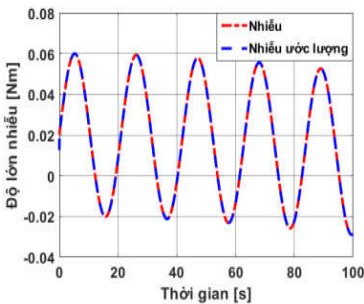
Hình 3.8: Đáp ứng góc đảo lái ứng với tín hiệu mẫu là hàm bước khi có thêm khâu bù bất định



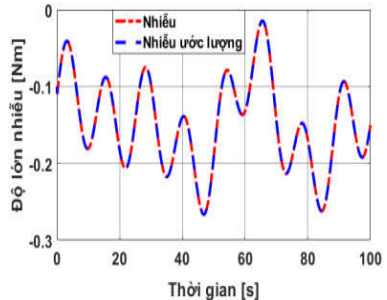
Hình 3.9: Đáp ứng góc chao dọc ứng với tín hiệu mẫu là hàm bước khi chưa có khâu bù bất định



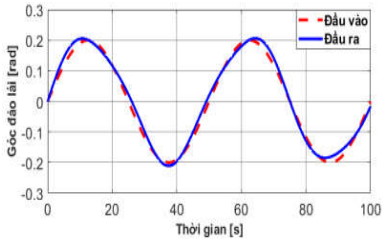
Hình 3.10: Đáp ứng góc chao dọc ứng với tín hiệu mẫu là hàm bước khi có thêm khâu bù bất định



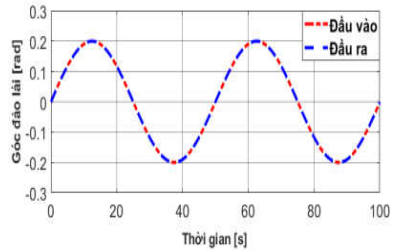
Hình 3.11: Nhiều ước lượng $\hat{d}_h(t)$ trên mặt ngang khi tín hiệu mẫu là hàm sin



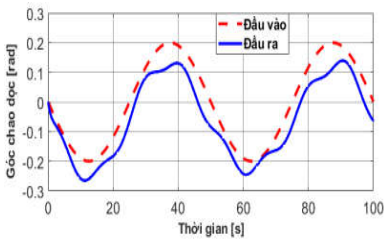
Hình 3.12: Nhiều ước lượng $\hat{d}_v(t)$ trên mặt ngang khi tín hiệu mẫu là hàm sin



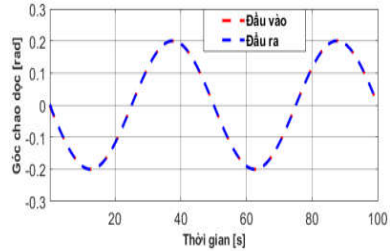
Hình 3.13: Đáp ứng góc đảo lái ứng với tín hiệu mẫu là hàm sin khi chưa có khâu bù bất định



Hình 3.14: Đáp ứng góc đảo lái ứng với tín hiệu mẫu là hàm sin khi có thêm khâu bù bất định



Hình 3.15: Đáp ứng góc chao dọc ứng với tín hiệu mẫu là hàm sin khi chưa bù bất định



Hình 3.16: Đáp ứng góc chao dọc ứng với tín hiệu mẫu là hàm sin khi có thêm khâu bù bất định.

3.3. Kết luận

Trong chương 3, luận án đã đạt được những kết quả nghiên cứu sau:

- Xây dựng được thuật toán ước lượng thành phần bất định hàm trong mô hình Euler-Lagrange song tuyến, phục vụ việc điều khiển bù.

- Kết hợp bộ điều khiển bù bất định hàm với bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác ở chương 2 để có được bộ điều khiển bám ổn định tiệm cận tín hiệu mẫu cho các hệ Euler-Lagrange song tuyến.

- Đánh giá chất lượng bộ điều khiển đề xuất thông qua mô phỏng trên MatLab cho hệ TRMS.

CHƯƠNG 4

KIỂM CHỨNG CHẤT LƯỢNG BẰNG THỰC NGHIỆM

4.1. Mô tả bàn thí nghiệm

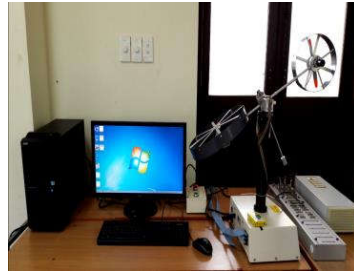
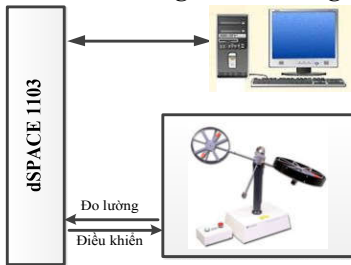
4.1.1 Các thiết bị trên bàn thí nghiệm

4.1.1.1 Máy tính

4.1.1.2 Card dSPACE DS 1103

4.1.1.3 Hệ vật lý TRMS

4.1.1.4 Hệ thống tạo nhiễu ngoài

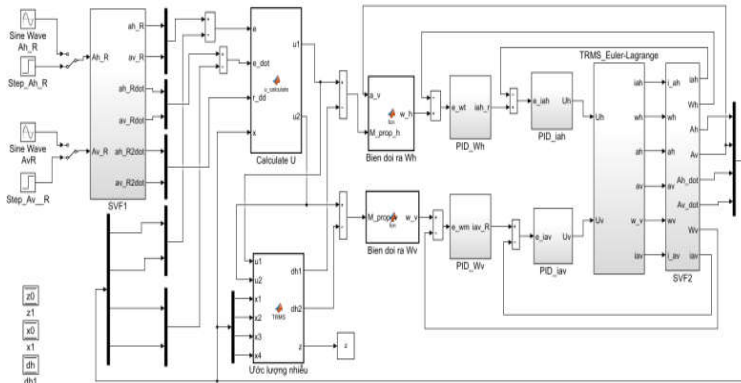


Hình 4.1: Cấu trúc vật lý của bàn thí nghiệm TRMS

Hình 4.5: Mô hình bàn thí nghiệm TRMS

4.1.2 Cấu trúc tổng thể bàn thí nghiệm TRMS của ĐHKTCN Thái Nguyên

Hình 4.5 là mô hình bàn thí nghiệm TRMS và hình 4.14 là cấu trúc hệ thống điều khiển hệ thực TRMS thiết kế trên Simulink.



Hình 4.14: Cấu trúc hệ thống điều khiển hệ thực TRMS thiết kế trên Simulink.

4.3 Kết quả thí nghiệm và đánh giá

4.3.1 Tiến hành thí nghiệm

Trường hợp tín hiệu mẫu là hằng số:

$$\alpha_h \rightarrow r_1 = 0.5 \text{ [rad]} \text{ và } \alpha_v \rightarrow r_2 = 0.3 \text{ [rad]}$$

Trường hợp tín hiệu mẫu dạng hình sin:

$$\alpha_h \rightarrow r_1 = 0.2 \sin(0.1256t) \text{ [rad]}; \alpha_v \rightarrow r_2 = -0.2 \sin(0.1256t) \text{ [rad]}$$

Bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác, trong đó hai ma trận K_1, K_2

$$\text{vẫn được chọn lần lượt là: } K_1 = \begin{pmatrix} 40 & 0 \\ 0 & 40 \end{pmatrix}; K_2 = \begin{pmatrix} 30 & 0 \\ 0 & 30 \end{pmatrix}$$

– Thông số bộ điều khiển tốc độ và dòng điện cho động cơ đuôi:

$$\text{PID}_{\omega_h}: K_{p,\omega_h} = 0.00001, K_{I,\omega_h} = 0.000005, K_{d,\omega_h} = 0.000035$$

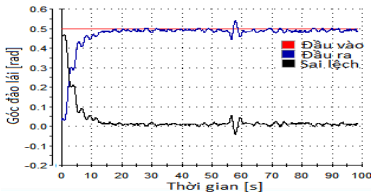
$$\text{PID}_{i_{ub}}: K_{p,i_{ub}} = 0.25, K_{I,i_{ub}} = 20, K_{d,i_{ub}} = 0.0028$$

- Thông số bộ điều khiển tốc độ và dòng điện cho động cơ chính:

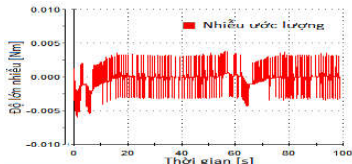
$$\text{PID}_{\omega_v}: K_{p,\omega_v} = 0.000004, K_{I,\omega_v} = 0.00005, K_{d,\omega_v} = 0.000015$$

$$\text{PID}_{i_{av}}: K_{p,i_{av}} = 0.1, K_{I,i_{av}} = 80, K_{d,i_{av}} = 0.0005$$

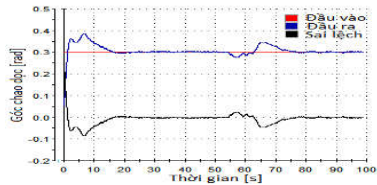
4.3.2 Kết quả và đánh giá chất lượng



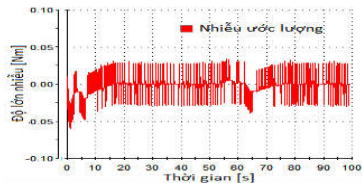
Hình 4.25: Đáp ứng góc đảo lái ứng với tín hiệu mẫu là hàm bước và sai lệch khi có nhiễu quạt gió tại $t = (50 \div 100)s$



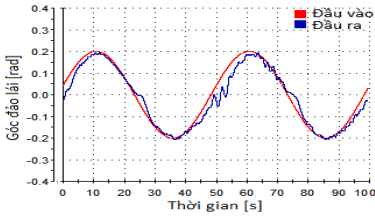
Hình 4.27: Nhiễu ước lượng $\hat{d}_h(t)$ trên mặt ngang ứng với tín hiệu mẫu là hàm bước khi có nhiễu quạt gió tại $t = (50 \div 100)s$



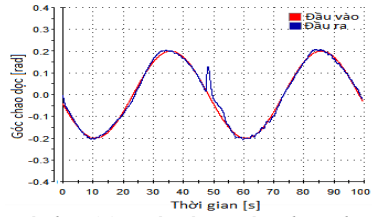
Hình 4.26: Đáp ứng góc chao dọc ứng với tín hiệu mẫu là hàm bước và sai lệch khi có nhiễu quạt gió tại $t = (50 \div 100)s$



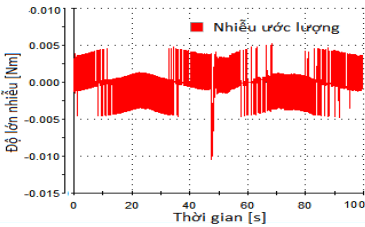
Hình 4.28: Nhiễu ước lượng $\hat{d}_v(t)$ trên mặt đứng ứng với tín hiệu mẫu là hàm bước khi có nhiễu quạt gió tại $t = (50 \div 100)s$



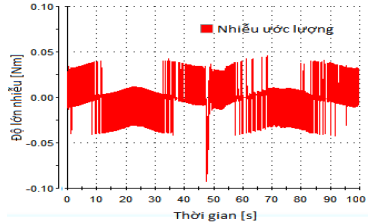
Hình 4.29: Đáp ứng góc đảo lái ứng với tín hiệu mẫu là hàm sin khi có nhiễu quạt gió tại $t = (50 \div 100)s$



Hình 4.30: Đáp ứng góc chao dọc ứng với tín hiệu mẫu là hàm sin khi có nhiễu quạt gió với $t = (50 \div 100)s$



Hình 4.33: Nhiều ước lượng $\hat{d}_h(t)$ ứng với tín hiệu mẫu tín hiệu mẫu là hàm sin khi có nhiễu quạt gió với $t = (50 \div 100)s$



Hình 4.34: Nhiều ước lượng $\hat{d}_v(t)$ ứng với tín hiệu mẫu tín hiệu mẫu là hàm sin khi có nhiễu quạt gió với $t = (50 \div 100)s$

4.4 Kết luận

Ở chương 4 đã giải quyết được những công việc sau:

- Đã tiến hành thiết kế, lắp đặt cài đặt và tiến hành thực nghiệm đối tượng là TRMS trong phòng thí nghiệm với bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác kết hợp với cơ cấu ước lượng nhiễu và bù nhiễu. Bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác này là bộ điều khiển mô men vì vậy để chạy thực nghiệm thì hệ thống cần bổ xung thêm hai mạch vòng: mạch vòng tốc độ và mạch vòng dòng điện.

- Kết quả thực nghiệm trên bàn thí nghiệm TRMS phù hợp với lý thuyết về chất lượng điều khiển đã được khẳng định ở chương 2 và 3. Nó cũng đã chứng minh tính đúng đắn thuật toán ước lượng nhiễu và bù nhiễu khi mô hình đối tượng bất định và chịu ảnh hưởng của nhiễu, đã tăng cường khả năng kháng nhiễu để cải thiện chất lượng điều khiển.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

I. KẾT LUẬN

Kết quả các nghiên cứu của luận án đã có một số đóng góp mới như sau:

- Xây dựng bộ điều khiển bám quỹ đạo cho hệ cơ - điện song tuyến, chứng minh tính ổn định và ổn định tiệm cận của hệ bám trong trường hợp không có và có yếu tố bất định. Dựa trên các phương pháp điều khiển truyền thống là phương pháp điều khiển bù trọng trường, làm cơ sở cho việc đề xuất xây dựng bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác của luận án, áp dụng cho lớp hệ Euler-Lagrange song tuyến, đủ cơ cấu chấp hành và không chứa thành phần bất định (được gọi là hệ có mô hình chính xác). Đã chứng minh chặt chẽ bằng lý thuyết (ở định lý 1 và 2) về chất lượng bám ổn định tiệm cận theo quỹ đạo mẫu mà bộ điều khiển đề xuất này mang lại cho hệ Euler-Lagrange song tuyến;

- Xây dựng bộ điều khiển thích nghi bám quỹ đạo cho hệ cơ – điện song tuyến bất định trên cơ sở bộ điều khiển tuyến tính hóa và bộ nhận dạng thành phần bất định theo nguyên lý tối ưu hóa từng đoạn sai lệch mô hình trên trục thời gian. Dựa trên việc xây dựng được thuật toán ước lượng thành phần bất định hàm trong mô hình Euler-Lagrange song tuyến, phục vụ việc điều khiển bù. Kết hợp bộ điều khiển bù bất định hàm với bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác ở chương 2 để có được bộ điều khiển bám ổn định tiệm cận tín hiệu mẫu cho các hệ Euler-Lagrange song tuyến.

II. KIẾN NGHỊ

- Nghiên cứu mô hình TRMS, có thể áp dụng các bộ điều khiển khác nhau, ứng dụng trong đào tạo ở bậc cao học và nghiên cứu sinh của trường;

- Từ kết quả nghiên cứu này có thể áp dụng cho các phần tử bay có dạng khí động học phức tạp như: các UAV và nghiên cứu thêm các phương pháp điều khiển phi tuyến khác ứng dụng cho TRMS.