

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài luận án

Twin Rotor MIMO System (TRMS), của Feedback Instruments Ltd. (Feedback Co., 1998) là một thiết bị thí nghiệm có cấu trúc mở trên nền tảng đã được cài đặt các thuật toán điều khiển PID. Mặc dù TRMS được thiết kế chế tạo từ năm 1998, nhưng gần hai chục năm qua, nó đã thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trong chuyên ngành về kỹ thuật Điều khiển và Tự động hóa và đã có rất nhiều công trình nghiên cứu về phương pháp điều khiển cho TRMS. Từ quan điểm điều khiển thì TRMS được xem là đối tượng điển hình trong hệ điều khiển chuyển động nhiều vào, nhiều ra (MIMO), có thông số bất định, có tính phi tuyến bậc cao và có các tác động xen kênh đáng kể. Chính vì vậy, việc nghiên cứu để lựa chọn các phương pháp điều khiển cho hệ TRMS nhằm đạt chất lượng bám quỹ đạo tốt nhất, đó cũng là điều mà nội dung luận án này quan tâm tới.

2. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Luận án nghiên cứu về TRMS, được xem là đối tượng điển hình trong hệ điều khiển chuyển động MIMO, có thông số bất định, có tính phi tuyến bậc cao và có các tác động qua lại xảy ra trong các kênh điều khiển.

Phạm vi nghiên cứu của luận án: Luận án tập trung nghiên cứu tính đặc thù và những khó khăn khi tổng hợp TRMS. Từ đặc điểm của đối tượng điều khiển phức tạp này cho thấy, sẽ có nhiều thách thức trong mô hình hóa, trong phân tích và lựa chọn phương pháp thiết kế điều khiển mới phù hợp cho đối tượng để bám quỹ đạo với độ chính xác cao.

Phương pháp nghiên cứu: Luận án sử dụng phương pháp phân tích, đánh giá và tổng hợp. Thông qua nghiên cứu tổng quan để đề xuất vấn đề cần giải quyết về lý thuyết và thiết kế thuật toán giải quyết vấn đề đó, kiểm chứng các nghiên cứu lý thuyết bằng mô phỏng và thực nghiệm.

3. Mục tiêu của luận án

Mục tiêu của luận án là nghiên cứu và thiết kế điều khiển phi tuyến sử dụng phản hồi trạng thái cho TRMS và kết quả nghiên cứu này có thể áp dụng cho các hệ khí động học phi tuyến khác. Mục đích nghiên cứu trong luận án này được cụ thể như sau:

- Mô hình động học phi tuyến của TRMS: Mô hình chính xác là điều kiện tiên quyết để thành công với bất kỳ một kỹ thuật điều khiển nào mà dựa vào mô hình, do đó cần xây dựng mô hình đối tượng phù hợp với thiết kế điều khiển.

- Thiết kế thuật toán điều khiển RHC với LQR hệ phi tuyến liên tục có nhiễu. Kiểm chứng chất lượng điều khiển của thuật toán bằng lý thuyết và thực nghiệm. Cài đặt linh hoạt và áp dụng thuật toán điều khiển trên hệ TRMS.

4. 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 được mô hình toán động lực học cho TRMS với sai số nhỏ nhất so với mô hình thực;
- Đề xuất thuật toán điều khiển RHC với LQR cho hệ phi tuyến liên tục có nhiễu và sai lệch mô hình;

Ý nghĩa khoa học của luận án:

- Bổ sung một lý thuyết mới trong điều khiển bền vững hệ phi tuyến là kết hợp RHC với LQR.
- Đề xuất giải pháp cài đặt linh hoạt thuật toán điều khiển để góp phần làm tăng hiệu quả khai thác thiết bị phần cứng.
- Cài đặt và lập trình giải phương trình giải phương trình Riccati trong thời gian thực.

Ý nghĩa thực tiễn của luận án:

- Phục vụ nghiên cứu về điều khiển và tự động hóa của trường;
- Kết quả nghiên cứu này có thể áp dụng cho các hệ khí động học phi tuyến khác.

5. Bố cục của luận án

Luận án gồm phần mở đầu, 04 chương và kết luận, được bố cục như sau:

Chương 1. Tổng quan về các phương pháp điều khiển Twin Rotor MIMO System (TRMS)

Trong chương 1, là các nghiên cứu tổng quan về TRMS của nhà cung cấp thiết bị; thống kê và phân tích ưu nhược điểm của các phương pháp điều khiển hiện đại; các cấu trúc điều khiển đã được áp dụng cho TRMS trong các nghiên cứu trước đây. Nêu ra tính đặc thù và khó khăn khi tổng hợp điều khiển cho TRMS, từ đó đề xuất thuật toán điều khiển phù hợp với các đặc điểm hệ phi tuyến, có thông số bất định, tác động xen kênh và nhiễu.

Chương 2. Xây dựng mô hình toán động lực học cho TRMS

Mô hình toán biểu diễn động học TRMS được nhà chế tạo thiết bị TRMS cung cấp dưới dạng phương trình Newton 2, chưa xét đến các yếu tố ảnh hưởng tới hệ (giả định đơn giản hóa hệ thống, như người ta cho rằng động lực học của hệ thống được mô tả bởi một dãy phương trình vi phân, ma sát của hệ thống là tron,...). Mô hình toán biểu diễn động học TRMS xây dựng được trong chương này theo phương trình Lagrange có sai lệch với mô hình thực nhỏ hơn do có xét đến các yếu tố ảnh hưởng tới hệ (chiều dài chốt quay, hiệu ứng bề mặt) so với mô hình do nhà sản xuất cung cấp. Với mô hình toán đầy đủ, chính xác hơn là cơ sở để thiết kế bộ điều khiển thỏa mãn yêu cầu chất lượng đáp ứng ra của hệ trong phần tiếp theo.

Chương 3. Thiết kế bộ điều khiển phi tuyến bám vị trí đặt cho TRMS

Điều khiển TRMS là một bài toán khó, có nhiều thách thức và hấp dẫn nhiều nhà nghiên cứu. Đến nay người ta đã áp dụng nhiều phương pháp điều khiển khác nhau cho TRMS. Với một hệ phi tuyến nói chung và TRMS nói riêng, người ta mong muốn thiết kế bộ điều khiển khắc phục được sai số của mô hình và kháng được nhiễu.

Trong chương này, đề xuất điều khiển RHC với LQR áp dụng cho đối tượng mô hình liên tục, có nhiễu và sai lệch mô hình. Đề xuất này là đóng góp quan trọng của luận án.

Chương 4. Kết quả thí nghiệm

Thuật toán đề xuất được cài đặt chạy thực nghiệm trên TRMS và Card DS1103. Giải phương trình Riccati trong thời gian thực trên Card DS1103. Sử dụng phương

pháp áp đặt mô men khi áp dụng thuật toán điều khiển đề xuất cho TRMS để bù động học cho cơ cấu chấp hành. Kết quả thực nghiệm khẳng định thuật toán đề xuất hoàn toàn đúng đắn.

Phân kết luận: Đã nêu bật những đóng góp mới của luận án và những kiến nghị, đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN TWIN ROTOR MIMO SYSTEM (TRMS)

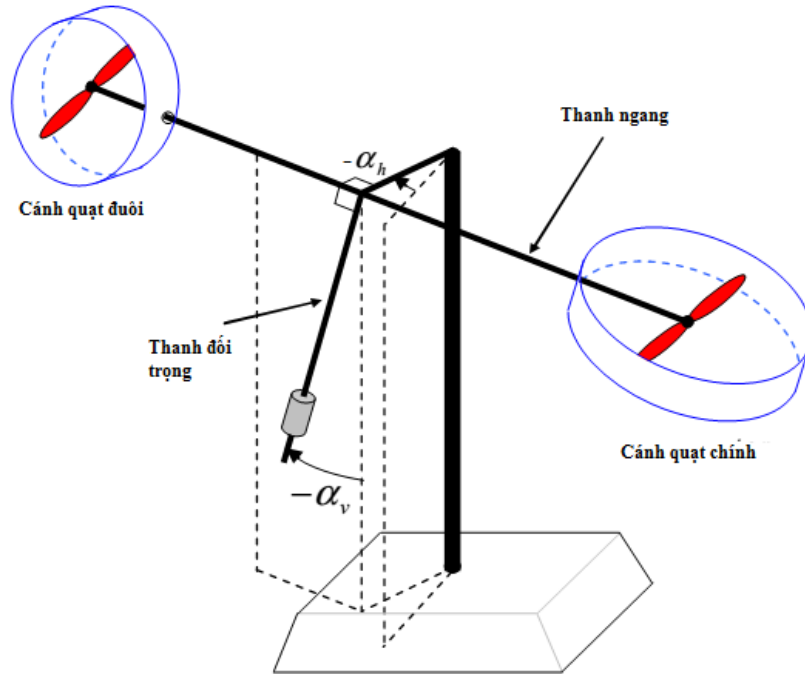
1.1. Khái quát chung về Twin Rotor MIMO System (TRMS)



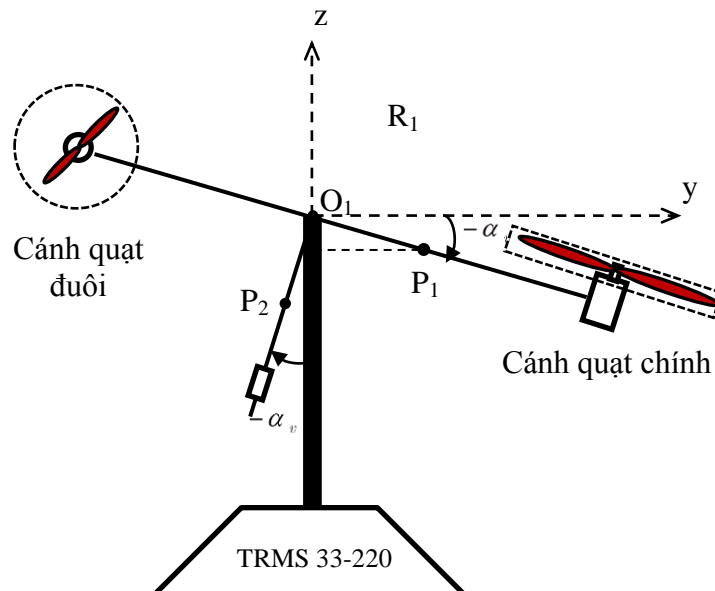
Hình 1.1. Twin Rotor MIMO System (TRMS)

Trên Hình 1.1 là hình ảnh của Twin Rotor MIMO System (TRMS). Đây là một hệ thống thí nghiệm được thiết kế bởi Feedback Instruments Ltd. và được sử dụng trong phòng thí nghiệm để phát triển và kiểm chứng các kỹ thuật điều khiển hiện đại. TRMS bao gồm cánh quạt chính và cánh quạt đuôi được gắn vuông góc với nhau vào thanh ngang. Mỗi cánh quạt được truyền động độc lập bởi một động cơ một chiều kích từ vĩnh cửu, chiều quay của cánh quạt có thể đảo chiều được và tốc độ quay thay đổi được bằng cách thay đổi điện áp phần ứng của động cơ truyền động. Cánh quạt chính tạo động lực để thanh ngang chuyển động trong mặt đứng (vị trí góc trong mặt đứng α_v) như trên Hình 1.2 và Hình 1.3. Cánh quạt đuôi tạo động lực để thanh ngang chuyển động trong mặt ngang (vị trí góc trong mặt ngang α_h) như trên Hình 1.2 và Hình 1.4. Thanh đối trọng được gắn vuông góc với thanh ngang tại vị trí điểm quay, vị

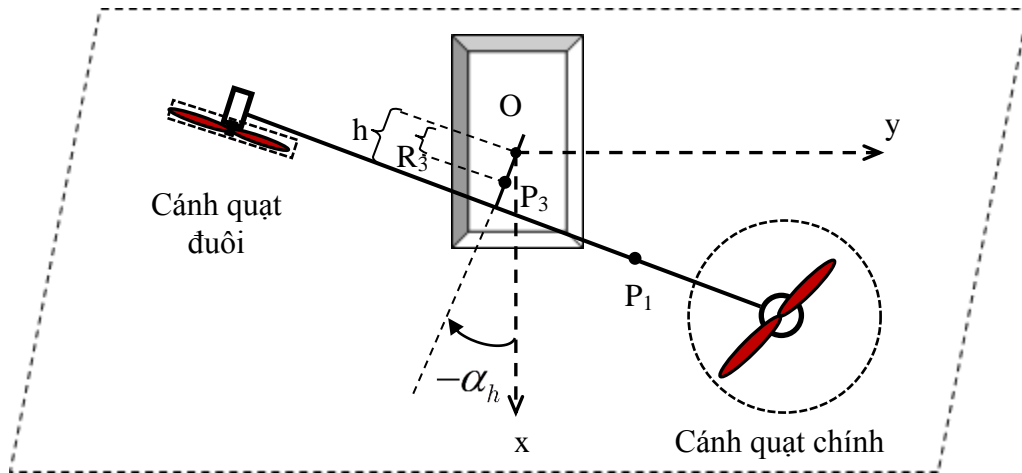
trí của đối trọng trên thanh đối trọng có thể thay đổi được để thực hiện thí nghiệm thay đổi thông số động học của đối tượng.



Hình 1.2. Các vị trí trong không gian 3 chiều của TRMS



Hình 1.3. Vị trí góc trong mặt đứng α_v của TRMS



Hình 1.4. Vị trí góc trong mặt ngang α_h của TRMS

Ngoài ra TRMS còn được nhà sản xuất trang bị các cảm biến. Hai cảm biến vị trí góc (encoder) để đo chính xác vị trí góc của thanh ngang trong mặt phẳng đứng và mặt phẳng ngang. Mỗi động cơ được gắn một máy phát tốc để đo tốc độ quay và cũng chính là tốc độ quay của cánh quạt.

1.2. Tình hình nghiên cứu trên thế giới về TRMS

Mặc dù không bay được, TRMS có nhiều đặc điểm khí động học của máy bay trực thăng. Trải qua nhiều năm tồn tại đến nay đã có nhiều phiên bản của TRMS tuy nhiên nó vẫn giữ được đặc tính động học đặc trưng. TRMS là một điển hình cho hệ phi tuyến MIMO có ảnh hưởng xen kênh và nhiễu tác động. Mô hình hóa và điều khiển TRMS là bài toán rất hay, hấp dẫn và thách thức các nhà nghiên cứu. Đến nay đã có nhiều công trình nghiên cứu về mô hình hóa và điều khiển TRMS.

1.2.1. Mô hình hóa TRMS

TRMS được mô hình hóa sử dụng phương pháp Newton và Euler-Lagrange. Mô hình Euler-Lagrange gần hơn với mô hình thực hơn, tức là chính xác hơn mô hình Newton.

1.2.2. Điều khiển TRMS

TRMS là một đối tượng điều khiển phổ biến để kiểm chứng các thuật toán điều khiển mới. Giải pháp đơn giản nhất cho bài toán điều khiển TRMS là áp dụng bộ điều

chỉnh PID. Đã có nhiều nghiên cứu để áp dụng thuật toán sử dụng trí tuệ nhân tạo, điều khiển mờ vào hệ để tìm tham số tối ưu nhằm đảm bảo đặc tính tốt nhất. Tuy nhiên các thuật toán này không đảm bảo tính bền vững mà các ứng dụng trong không gian yêu cầu. Để đảm bảo tính bền vững các phương pháp điều khiển khác nhau như là điều khiển deadbeat, H_∞ , SMC và điều khiển MPC đã được áp dụng cho hệ.

1.3. Tình hình nghiên cứu trong nước về TRMS

Cho đến nay, nhìn chung số các công trình nghiên cứu trong nước về TRMS không nhiều. Đã áp dụng điều khiển dự báo cho TRMS dựa trên mô hình không liên tục và điều khiển thích nghi ISS kết hợp với bộ điều chỉnh PID cho mạch vòng tốc độ.

Từ những đánh giá tổng quan của các công trình nghiên cứu đã công bố ở trong và ngoài nước, luận án sẽ nghiên cứu đề xuất thuật toán điều khiển RHC với LQR áp dụng cho hệ phi tuyến liên tục và có nhiễu TRMS. Thách thức lớn phía trước của nghiên cứu này là xây dựng được mô hình toán động lực học chính xác hơn của TRMS. Áp dụng thành công thuật toán điều khiển đề xuất cho TRMS, cài đặt linh hoạt và chạy thuật toán điều khiển trong thời gian thực.

1.4. Kết luận

Chương 1 đã trình bày tổng quan về hệ thống TRMS bao gồm các đặc điểm và các nghiên cứu về TRMS trên thế giới và trong nước. Từ quan điểm điều khiển thì TRMS được xem là đối tượng điển hình trong hệ điều khiển chuyển động MIMO, có tính phi tuyến bậc cao, ảnh hưởng xen kênh đáng kể, bất định và nhiễu tác động. Chính vì vậy việc nghiên cứu đề xuất thuật toán điều khiển cho hệ TRMS nhằm đạt chất lượng bám quỹ đạo chính xác là nội dung quan trọng. Từ đó, đã thấy rõ tính cấp thiết của luận án cần giải quyết, xác định rõ mục tiêu cần đạt được, đề xuất được thuật toán đảm bảo giải quyết được các mục tiêu của luận án.

CHƯƠNG 2

XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC CHO TRMS

2.1. Đặt vấn đề

Mô hình toán của một đối tượng là hệ gồm các biểu thức phương trình mô tả bản chất của nó. Để phân tích một đối tượng thì công cụ đầu tiên mà người ta sử dụng là mô hình toán. Đối với bài toán thiết kế, để thiết kế được bộ điều khiển cho đối tượng thì cần thiết phải có mô hình. Mô hình toán càng chính xác thì chất lượng điều khiển càng cao.

Hiện nay xây dựng mô hình toán động lực học cho đối tượng, thường áp dụng phổ biến một số phương pháp như Newton và Euler-Lagrange. Mô hình hóa sử dụng phương pháp Newton và Euler-Lagrange, còn được gọi là mô hình hộp trắng. Để áp dụng phương pháp này cần thiết phải hiểu rõ về các tham số, cấu trúc và bản chất vật lý của đối tượng. Phương pháp mô hình hộp đen cần sử dụng một tập các dữ liệu vào ra của đối tượng và thuật toán GA để nhận dạng mô hình, phương pháp này có thể làm mất đi cấu trúc của đối tượng trong mô hình. Nhưng ưu điểm của phương pháp này dễ tìm được mô hình toán của đối tượng chấp nhận được. Trong nội dung tiếp theo của chương này, phương pháp Euler-Lagrange được sử dụng để xây dựng mô hình động lực học cho TRMS. Mô hình động lực của TRMS sẽ được biểu diễn trong không gian biến khớp.

2.2. Xây dựng mô hình toán động lực học cho TRMS

2.2.1. Các giả thiết

Để thuận lợi cho việc xây dựng mô hình cho TRMS theo phương pháp Euler-Lagrange, ta phải sử dụng các giả thiết sau:

- Tổng năng lượng của hệ được bảo toàn và không phụ thuộc vào thời gian.
- Vật liệu chế tạo mỗi bộ phận của TRMS là đồng nhất.
- Các bộ phận của TRMS là liên kết cứng
- Các bộ phận của TRMS coi như chất điểm

- Chỉ quan tâm tới phần động lực học của động cơ một chiều kích từ vĩnh cửu truyền động cánh quạt

2.2.2. Phương trình động học của TRMS

Phương trình Euler-Lagrange của chuyển động

- Hàm Lagrange:

$$L(\alpha_v, \alpha_h, \dot{\alpha}_v, \dot{\alpha}_h, \omega_m, \omega_t) = \sum_{i=1}^5 K_i - (V_1 + V_2 + V_3)$$

$$L = a_1 \dot{\alpha}_v^2 + (a_5 + a_4 \cos^2 \alpha_v) \dot{\alpha}_h^2 + \dot{\alpha}_v \dot{\alpha}_h (a_2 \cos \alpha_v - a_3 \sin \alpha_v) + a_6 \dot{\alpha}_t^2 + a_7 \dot{\alpha}_m^2 + 2a_7 \dot{\alpha}_h \cos \alpha_v \dot{\alpha}_m + 2a_6 \dot{\alpha}_v \dot{\alpha}_t - b_1 \sin \alpha_v + b_2 \cos \alpha_v \quad (2.1)$$

$$a_1 = J_1 + J_2 + J_{tr}, \quad a_2 = m_{T2} l_{T2} h,$$

$$a_3 = m_{T1} l_{T1} h, \quad a_4 = J_1 + J_{mr} - J_2,$$

$$a_5 = J_3 + J_4 + m_{T2} h^2 + m_{T1} h^2 + J_2,$$

$$a_6 = J_{tr}, \quad a_7 = J_{mr},$$

$$b_1 = m_{T1} l_{T1} g, \quad b_2 = m_{T2} l_{T2} g,$$

$$\dot{\alpha}_t = \omega_t,$$

$$\dot{\alpha}_m = \omega_m$$

- Phương trình Euler-Lagrange cho các bậc tự do của hệ (2.2)-(2.5):

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_v} \right) - \frac{\partial L}{\partial \alpha_v} = M_v \quad (2.2)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_h} \right) - \frac{\partial L}{\partial \alpha_h} = M_h \quad (2.3)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_m} \right) - \frac{\partial L}{\partial \alpha_m} = M_m \quad (2.4)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_t} \right) - \frac{\partial L}{\partial \alpha_t} = M_t \quad (2.5)$$

Hệ phương trình (2.2)-(2.5) được viết lại như (2.6)

$$M(\alpha_v) \begin{bmatrix} \ddot{\alpha}_v \\ \ddot{\alpha}_h \\ \dot{\omega}_m \\ \dot{\omega}_r \end{bmatrix} + C(\alpha_v, \alpha_h, \dot{\alpha}_v, \dot{\alpha}_h, \omega_m, \omega_r) \begin{bmatrix} \dot{\alpha}_v \\ \dot{\alpha}_h \\ \omega_m \\ \omega_r \end{bmatrix} + G(\alpha_v) = M_{ext} \quad (2.6)$$

Với, ma trận quán tính $M(\alpha_v) \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$

$$M(\alpha_v) = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \cos \alpha_v - a_3 \sin \alpha_v & 0 & a_6 \\ a_2 \cos \alpha_v - a_3 \sin \alpha_v & a_5 + a_4 \cos^2 \alpha_v & a_7 \cos \alpha_v & 0 \\ 0 & a_7 \cos \alpha_v & a_7 & 0 \\ a_6 & 0 & 0 & a_6 \end{bmatrix}$$

véc tơ lực Coriolis và li tâm

$$C(\alpha_v, \alpha_h, \dot{\alpha}_v, \dot{\alpha}_h, \omega_m, \omega_r) = \begin{bmatrix} 0 & \sin \alpha_v (a_4 \dot{\alpha}_h \cos \alpha_v + a_7 \omega_m) & 0 & 0 \\ c_{21} & -a_4 \sin \alpha_v \cos \alpha_v \dot{\alpha}_v & 0 & 0 \\ 0 & -a_7 \dot{\alpha}_v \sin \alpha_v & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$c_{21} = -a_4 \sin \alpha_v \cos \alpha_v \dot{\alpha}_h - a_7 \omega_m \sin \alpha_v + (a_2 \cos \alpha_v + a_3 \sin \alpha_v) \dot{\alpha}_v$$

véc tơ trọng lực

$$G(\alpha_v) = [b_2 \sin \alpha_v + b_1 \cos \alpha_v \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T,$$

mô men tác dụng lên hệ

$$M_{ext} = [M_v \quad M_h \quad M_m \quad M_t]^T,$$

$$M_v = \text{sign}(\omega_m) l_m k_{fv} \omega_m^2 w - \text{sign}(\omega_t) k_{tr} \omega_t^2 - B_v \dot{\alpha}_v - F_v \text{sign}(\dot{\alpha}_v) \\ - \text{sign}(\omega_m) k_g l_m k_{fv} \omega_m^2 \gamma \dot{\alpha}_h \cos \alpha_v$$

$$M_h = \text{sign}(\omega_t) l_t k_{fh} \omega_t^2 \cos \alpha_v - \text{sign}(\omega_m) k_{tm} \omega_m^2 \cos \alpha_v - B_h \dot{\alpha}_h - F_h \text{sign}(\dot{\alpha}_h) \\ - C_c (\alpha_h - \alpha_{h0})$$

$$M_m = \tau_m - \text{sign}(\omega_m) k_{tv} \omega_m^2 - B_{mr} \omega_m$$

$$M_t = \tau_t - \text{sign}(\omega_t) k_{th} \omega_t^2 - B_{tr} \omega_t, \quad \gamma = \frac{1}{1 - \left(\frac{r_{mr}}{4(H + l_m \sin \alpha_v)} \right)^2}$$

Như vậy, mô hình toán Euler-Lagrange của TRMS được biểu diễn bằng 4 phương trình (2.2)-(2.5) hoặc (2.6) trong không gian biến khớp $q = (\alpha_v, \alpha_h, \alpha_m, \alpha_t)$ với hai biến vào τ_m, τ_t . Trong khi đó mô hình Newton do nhà sản xuất cung cấp với 2 biến vào là điện áp phần ứng động cơ truyền động cánh quạt chính và cánh quạt đuôi. Trong một số đề xuất khác biến vào của mô hình động học của TRMS là tốc độ quay của cánh quạt chính và cánh quạt đuôi.

2.3. Mô phỏng và đánh giá chất lượng của mô hình

Để đánh giá tính chính xác của mô hình toán thì có thể tiến hành mô phỏng, trường hợp này tiến hành mô phỏng trên phần mềm matlab-simulink và tác giả chạy mô hình thực với cùng tín hiệu đặt. Đặc tính mô hình thực có được bằng chạy hệ thí nghiệm thực trong thời gian thực, do đối tượng TRMS được kết nối với máy tính nên đặc tính mô hình thực dễ dàng được hiển thị và lưu trên máy tính để có thể so sánh và đánh giá. Đặc tính mô phỏng được so sánh với đặc tính của mô hình thực, đặc tính mô phỏng càng gần với đặc tính mô hình thực thì có thể khẳng định được mô hình toán mà được mô phỏng càng chính xác và qua đó kết luận được mô hình toán nào chính xác hơn.

2.4. Kết luận

Mô hình toán biểu diễn động học TRMS xây dựng được là chính xác hơn do có xét đến các yếu tố ảnh hưởng tới hệ (chiều dài chốt quay, hiệu ứng bề mặt) so với mô hình do nhà sản xuất cung cấp. Độ chính xác của mô hình so với mô hình nhà sản xuất cung cấp được khẳng định qua kết quả mô phỏng và kết quả từ thực nghiệm. Sự tồn tại sai lệch giữa mô hình xây dựng được và mô hình thực là do khi xây dựng mô hình bắt buộc tác giả vẫn phải sử dụng đến một số giả thiết. Với mô hình toán đầy đủ và chính xác hơn là cơ sở để thiết kế bộ điều khiển thỏa mãn yêu cầu chất lượng đáp ứng ra của hệ trong phần tiếp theo.

CHƯƠNG 3

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN PHI TUYẾN BẢM VỊ TRÍ ĐẶT CHO TRMS

3.1. Các bộ điều khiển hiện nay

Điều khiển TRMS là một bài toán khó, có nhiều thách thức và hấp dẫn nhiều nhà nghiên cứu. Đến nay đã có nhiều phương pháp điều khiển được áp dụng cho TRMS. Phương pháp điều khiển kinh điển PID hoặc PID kết hợp với bộ tách kên. Phương pháp điều khiển PID với cấu trúc đơn giản, tuy nhiên bài toán khó là xác định các tham số tối ưu của bộ điều chỉnh. Vì vậy người ta đã kết hợp bộ điều chỉnh PID với một số các thuật toán khác như là mờ, logic mờ, GA.... Điều khiển trượt, điều khiển LQR, LQG cũng đã được áp dụng và hoàn thiện thực nghiệm cho TRMS. Điều khiển dự báo không phải mới, nó đã áp dụng cho nhiều đối tượng và quá trình trong công nghiệp và thuật toán này cũng đã được kiểm chứng trên hệ TRMS. Với một hệ phi tuyến như TRMS thì phương pháp điều khiển phi tuyến có nhiều ưu việt.

Điều khiển TRMS, người ta mong muốn thiết kế bộ điều khiển bám lượng đặt, kháng được nhiễu và sai lệch mô hình. Vì vậy trong phần tiếp theo, luận án đề xuất thuật toán điều khiển mới cho TRMS dựa trên mô hình trong không gian biến khớp.

3.2. Đề xuất phương pháp điều khiển thích nghi hệ phi tuyến RHC với LQR

3.2.1. Tổng quan các phương pháp điều khiển trên nền RHC

Phương pháp điều khiển RHC, được biết đến như là điều khiển dự báo (MPC), là một dạng của hệ điều khiển phản hồi được biết đến từ những năm 1980. Với điều khiển RHC, bài toán tối ưu hóa được giải ở mỗi bước thời gian để xác định tập các giá trị đầu vào trong khoảng thời gian dự báo, và sau đó áp dụng giá trị đầu tiên của tập này. Trong bước thời gian tiếp theo, quá trình được lặp lại, giải một bài toán tối ưu mới, với thời gian dự báo được dịch đi một bước. Bài toán tối ưu hóa đóng vai trò ước lượng trong tương lai dựa vào các đại lượng đo được và dữ liệu ở mỗi bước thời gian. Bởi vậy mà nguyên tắc điều khiển này đòi hỏi phản hồi, mà ở đó các đại lượng đo lường thời gian thực được sử dụng để xác định đầu vào điều khiển.

Điều khiển RHC là nguyên tắc điều khiển phi tuyến mà cần có các ràng buộc vào, ra và nhiều mục đích khác. Sử dụng điều khiển RHC, các hệ có thể được điều khiển gần các giới hạn vật lý của chúng, đặc tính thu được ưu thế so với điều khiển tuyến tính. Điều khiển RHC đã được ứng dụng thành công trong nhiều lĩnh vực, bao gồm điều khiển quá trình công nghệ và hóa chất.

Hiện nay điều khiển RHC vẫn nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học, để áp dụng cho nhiều đối tượng khác nhau trên cơ sở kết hợp với các phương pháp tối ưu. Phạm vi ứng dụng của điều khiển RHC không chỉ là trong các quá trình công nghiệp mà còn ứng dụng trong các hệ điều khiển chuyển động và robot.

Trong phần tiếp theo, luận án đề xuất thuật toán điều khiển RHC với LQR áp dụng cho đối tượng mô hình liên tục, có nhiễu và sai lệch mô hình. Đề xuất này là đóng góp quan trọng của luận án.

3.2.2. Phương pháp điều khiển đề xuất

Trong mục này, luận án sẽ trình bày nội dung đề xuất của tác giả về việc xây dựng bộ điều khiển RHC với LQR có tham số biến đổi theo thời gian, phản hồi trạng thái, để điều khiển hệ phi tuyến liên tục theo thời gian:

$$\begin{cases} \dot{\underline{x}} = \underline{f}(\underline{x}, \underline{u}) + \underline{\zeta} \\ \underline{y} = \underline{g}(\underline{x}) + \underline{\nu} \end{cases} \quad (3.1)$$

trong đó:

$\underline{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$ là véc tơ trạng thái,

$\underline{u} = (u_1, \dots, u_m)^T$ là véc tơ các tín hiệu đầu vào,

$\underline{y} = (y_1, \dots, y_m)^T$ là véc tơ các tín hiệu ra,

$\underline{f}(\underline{x}, \underline{u}), \underline{g}(\underline{x})$ là các véc tơ hàm của hệ thống có số chiều phù hợp,

$\underline{\zeta}, \underline{\nu}$ là các thành phần bất định hàm, hoặc nhiễu tác động vào hệ.

sao cho đầu ra $\underline{y}(t)$ hệ bám ổn định theo tín hiệu mẫu $\underline{w}(t)$ cho trước, đồng thời vẫn có thể đảm bảo được các điều kiện ràng buộc dưới dạng khoảng bị chặn của mô đun các tín hiệu điều khiển ở đầu vào.

Thuật toán điều khiển: RHC với LQR cho hệ phi tuyến liên tục có nhiễu

Bước 1. Gán giá trị quá khứ $\underline{u} = \underline{0}$, $\underline{x}' = \underline{0}$. Chọn hai ma trận Q , R đối xứng xác định dương có số chiều phù hợp (nên chọn R đủ lớn để có \underline{u} nhỏ). Chọn $0 < \eta \leq 1$ và $\delta > 0$. Hằng số δ sẽ chính là chu kỳ trích mẫu trạng thái của hệ.

Bước 2. Đo \underline{x} từ hệ (3.1). Từ đó xác định A , B , C như sau:

$$A = \left. \frac{\partial \underline{f}}{\partial \underline{x}} \right|_{\underline{x}, \underline{u}}, \quad B = \left. \frac{\partial \underline{f}}{\partial \underline{u}} \right|_{\underline{x}, \underline{u}}, \quad C = \left. \frac{\partial \underline{g}}{\partial \underline{x}} \right|_{\underline{x}} \quad (3.2)$$

Bước 3. Lập ma trận:

$$F = \begin{pmatrix} A & B \\ C & \Theta \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

Nếu F bị suy biến thì quay về bước 2. Ngược lại thì chuyển sang bước tiếp theo.

Bước 4. Đo \underline{y} từ hệ (3.1) rồi tính các giá trị các véc tơ:

$$\begin{aligned} \underline{r} &= 2\underline{w} - \underline{y}, \\ \underline{d} &= \underline{f}(\underline{x}, \underline{u}) - A\underline{x} - B\underline{u}, \\ \underline{\hat{\xi}} &= \frac{\underline{x} - \underline{x}'}{\delta} - \underline{f}(\underline{x}, \underline{u}), \\ \underline{\hat{v}} &= \underline{y} - C\underline{x} \end{aligned} \quad (3.4)$$

và từ đó là các giá trị xác lập tức thời:

$$\begin{pmatrix} \underline{x}_s \\ \underline{u}_s \end{pmatrix} = F^{-1} \begin{pmatrix} -\underline{d} - \underline{\hat{\xi}} \\ \underline{r} - \underline{\hat{v}} \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

Bước 5. Xác định nghiệm L đối xứng xác định dương của

$$LBR^{-1}B^TL - A^TL - LA = Q \quad (3.6)$$

Bước 6. Tính \underline{u} theo:

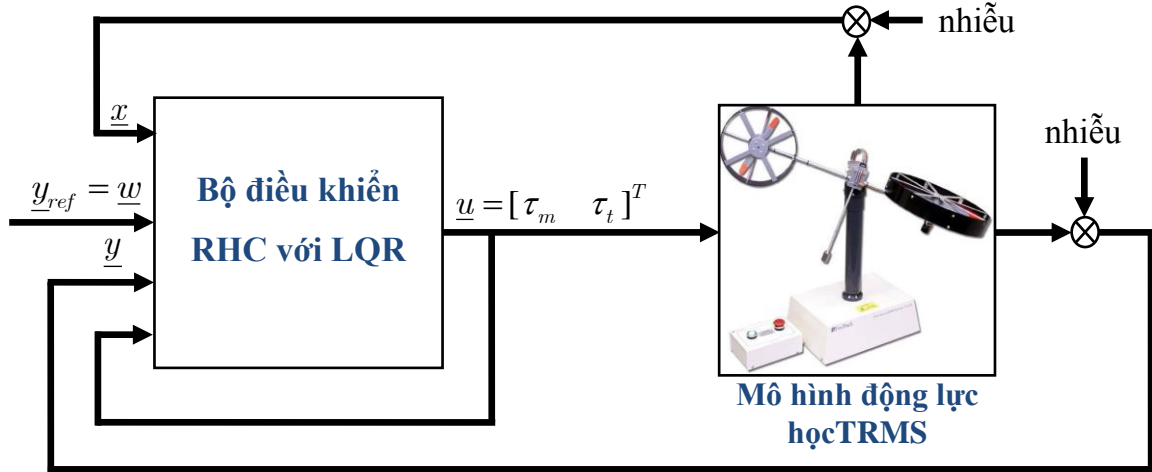
$$\underline{u} = -R^{-1}B^T L(\underline{x} - \underline{x}_s) + \underline{u}_s \quad (3.7)$$

rồi đưa \underline{u} vào điều khiển đối tượng. Gán $R = \mu R$, $\underline{x}' = \underline{x}$ và quay về bước 2.

3.3. Kết quả mô phỏng ứng dụng với TRMS

3.3.1. Áp dụng thuật toán đề xuất cho TRMS

Để áp dụng thuật toán đề xuất cho TRMS, cần phải chuyển mô hình toán (2.6) về dạng (3.1). Cấu trúc điều khiển RHC với LQR cho TRMS như Hình 3.4.



Hình 3.4. Cấu trúc điều khiển RHC với LQR cho TRMS

Mô hình động lực học của TRMS được biến đổi thành dạng (3.1) với

$$\begin{aligned} \underline{x} &= [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6]^T \\ &= [\alpha_v \ \alpha_h \ \dot{\alpha}_v \ \dot{\alpha}_h \ \omega_m \ \omega_t]^T \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$\underline{y} = [x_1 \ x_2]^T, \quad \underline{u} = [\tau_m \ \tau_t]^T \quad (3.9)$$

$$\underline{f}(\underline{x}, \underline{u}) = [x_3 \ x_4 \ f_1(\underline{x}, \underline{u}) \ f_2(\underline{x}, \underline{u}) \ f_3(\underline{x}, \underline{u}) \ f_4(\underline{x}, \underline{u})]^T \quad (3.10)$$

Trong đó

$$\begin{aligned} f_1(\underline{x}, \underline{u}) &= \beta_1(\underline{x}) + \lambda_1(\underline{x})\tau_m + \delta_1(\underline{x})\tau_t, \\ f_2(\underline{x}, \underline{u}) &= \beta_2(\underline{x}) + \lambda_2(\underline{x})\tau_m + \delta_2(\underline{x})\tau_t, \\ f_3(\underline{x}, \underline{u}) &= \beta_3(\underline{x}) + \lambda_3(\underline{x})\tau_m + \delta_3(\underline{x})\tau_t, \\ f_4(\underline{x}, \underline{u}) &= \beta_4(\underline{x}) + \lambda_4(\underline{x})\tau_m + \delta_4(\underline{x})\tau_t, \end{aligned}$$

$$g(\underline{x}) = [x_1 \quad x_2]^T$$

Các thành phần $\beta_i, \lambda_i, \delta_i, i = 1, \dots, 4$ xác định như sau

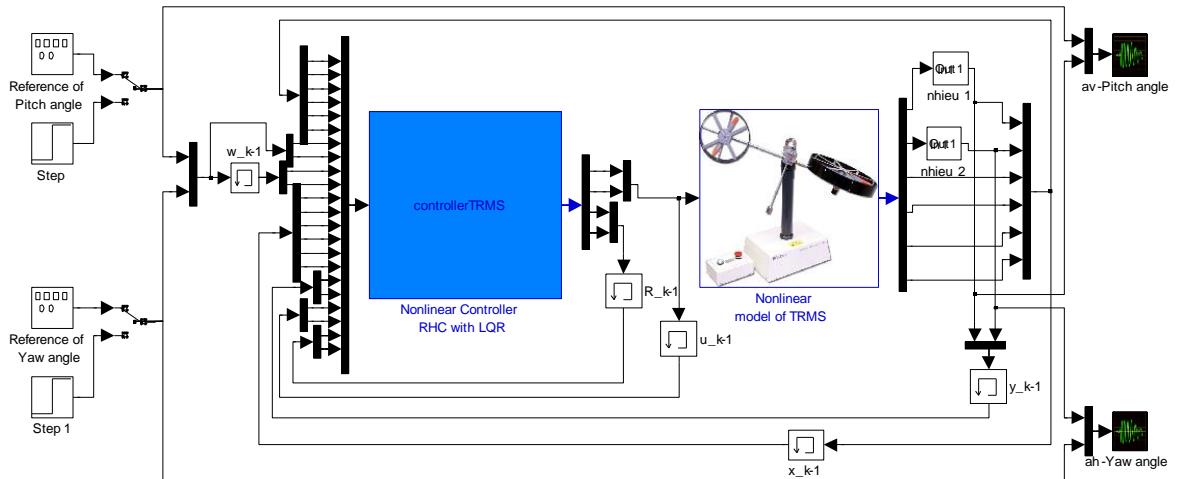
$$\begin{aligned} \beta_i(\underline{x}) = & -x_4^2 a_4 n_{i1} \cos x_1 \sin x_1 + x_3^2 n_{i2} (a_2 \sin x_1 + a_3 \cos x_1) - x_4 n_{i2} f_{th} \\ & + x_3 x_4 \sin x_1 (2a_4 n_{i2} \cos x_1 + a_7 n_{i3}) - x_4 x_5 a_7 n_{i1} \sin x_1 \\ & + x_3 x_5 a_7 n_{i2} \sin x_1 + x_5^2 \text{sign}(x_5) (l_m k_{fv} n_{i1} - k_{tm} n_{i2} \cos x_1 - n_{i3} k_{tm}) \\ & + x_6^2 \text{sign}(x_6) (l_t k_{fn} n_{i2} \cos x_1 - k_{tr} n_{i1} - n_{i4} k_{tr}) - x_3 n_{i1} f_{rv} \\ & - x_5 B_{mr} n_{i3} - x_6 B_{tr} n_{i4} - b_1 n_{i1} \cos x_1 - b_2 n_{i1} \sin x_1 \\ \lambda_i(\underline{x}) = & n_{i3}, \quad \delta_i(\underline{x}) = n_{i4} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Với n_{ij} là các phần tử của ma trận $M^{-1}(\alpha_v)$.

3.3.2. Kiểm chứng chất lượng thuật toán điều khiển bằng mô phỏng

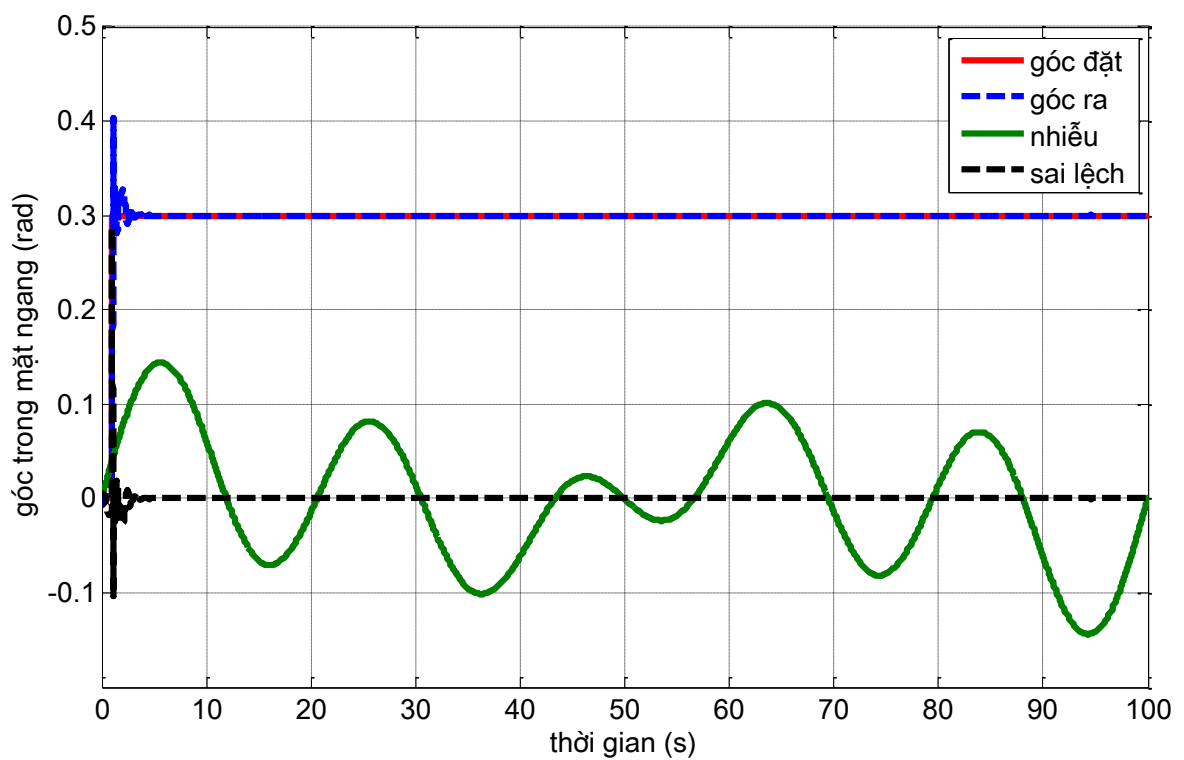
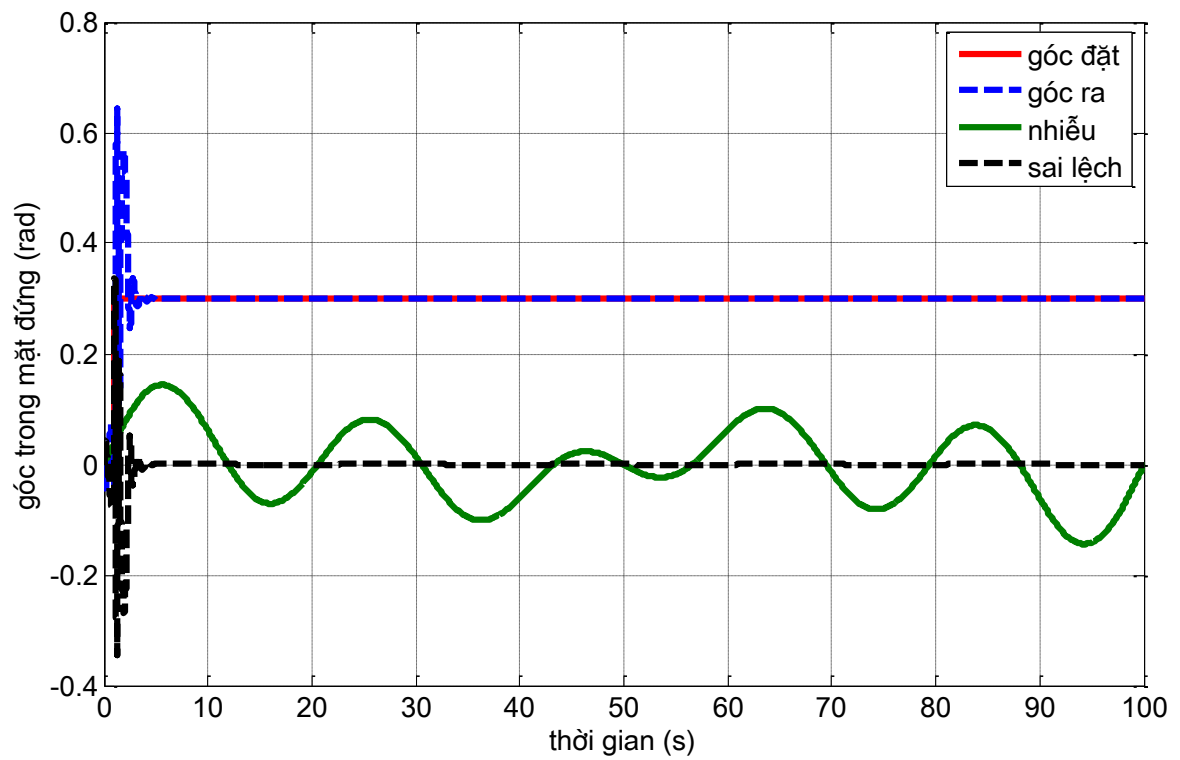
Sử dụng phần mềm matlab simulink để mô phỏng kiểm chứng thuật toán điều khiển

- Bộ điều khiển và mô hình đối tượng được lập trình dưới dạng S-function.
- Hệ được mô phỏng dưới sự tác động của nhiễu trạng thái và nhiễu đầu ra.



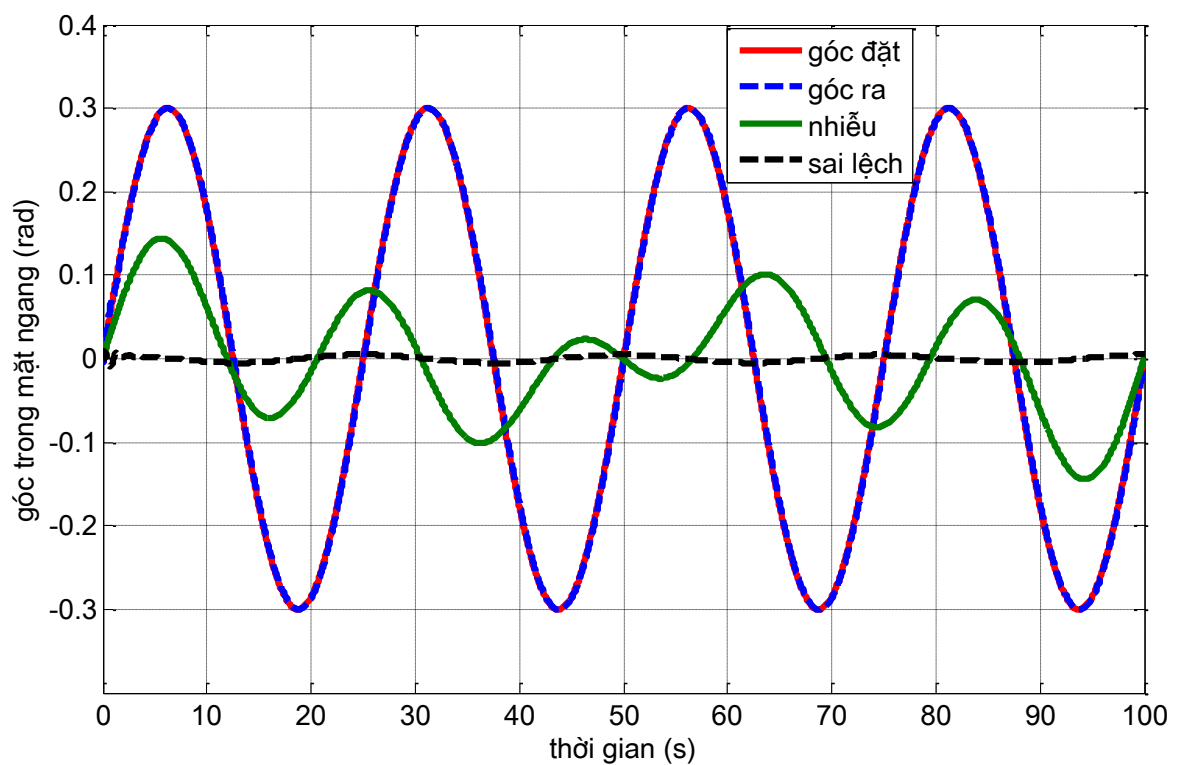
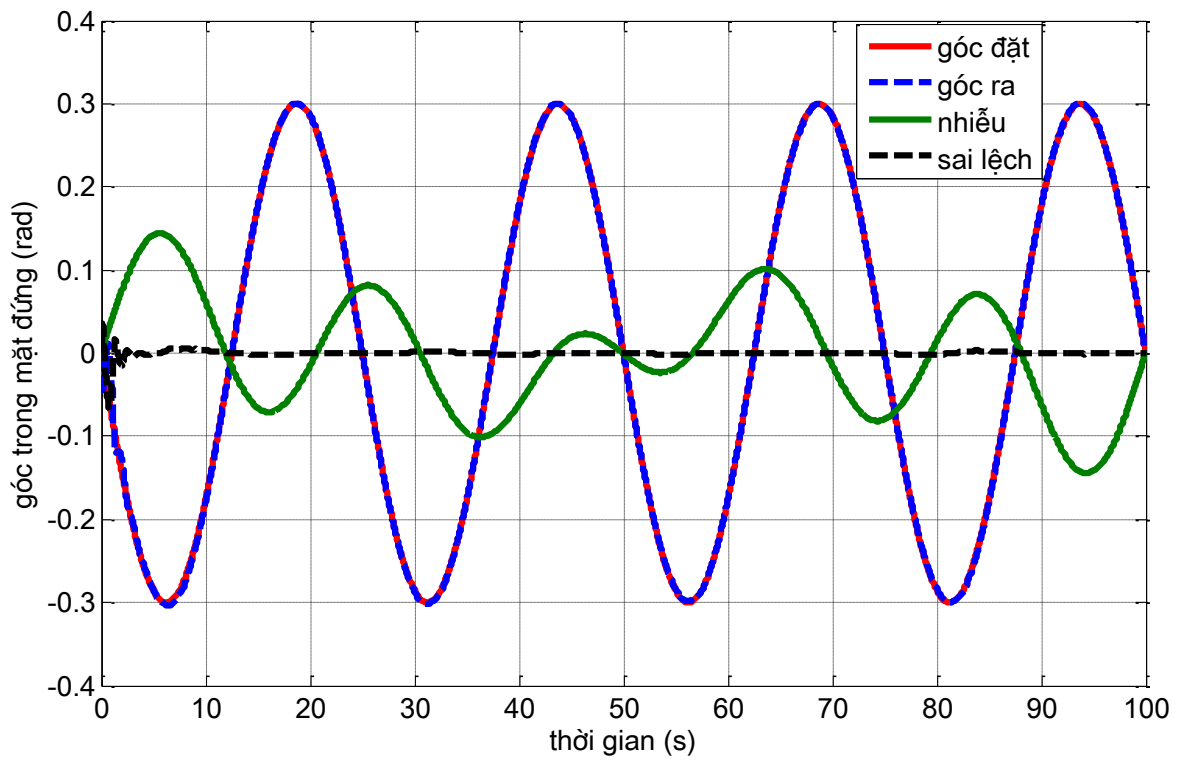
Hình 3.5. Cấu trúc mô phỏng hệ điều khiển TRMS với ma trận R giảm dần

Mô phỏng điều khiển TRMS với tín hiệu đặt dạng sin, step và có nhiễu tác động, kết quả như sau: (góc trong mặt đứng (pitch angle): α_v ; góc trong mặt ngang (yaw angle): α_h).



Hình 3.10. Chuyển vị góc với tín hiệu đặt dạng step trong hai mặt phẳng

có nhiễu thay đổi



Hình 3.11. Chuyển vị góc với tín hiệu đặt dạng sin trong hai mặt phẳng
có nhiễu thay đổi

3.3.3. Nhận xét kết quả mô phỏng kiểm chứng chất lượng thuật toán điều khiển

Các kết quả mô phỏng điều khiển TRMS sử dụng thuật toán đề xuất được chỉ ra từ hình 3.10 đến hình 3.11 cho thấy TRMS làm việc ổn định, vị trí góc đầu ra bám theo tín hiệu đặt, sai lệch nhỏ và hơn nữa là hệ kháng được nhiều. Trong các trường hợp trên, nhiều trạng thái tác động có dạng xung và biến thiên chậm. Ngoài các trường hợp mô phỏng với nhiễu đã đưa ra ở trên, tác giả đã thực hiện mô phỏng trong trường hợp nhiễu tác động lên các trạng thái còn lại, kết quả đáp ứng đầu ra cho thấy hệ vẫn ổn định và bám theo lượng đặt.

3.4. Kết luận

Chương 3 của luận án đã giải quyết được các vấn đề sau:

- Đề xuất thuật toán điều khiển cho hệ phi tuyến bám ổn định theo tín hiệu mẫu. Thuật toán điều khiển đề xuất được cụ thể hóa thành thuật toán 1 và thuật toán 2. Tính bám ổn định theo tín hiệu mẫu được khẳng định qua định lý 1.

- Trên cơ sở mô hình toán có được trong chương 2, đã thiết kế bộ điều khiển cho TRMS. Đánh giá chất lượng bộ điều khiển sử dụng các mô hình mô phỏng Matlab-Simulink như trên Hình 3.5.

- Kết quả mô phỏng điều khiển TRMS như trên các Hình từ 3.10 và Hình 3.11, bước đầu khẳng định tính đúng đắn của thuật toán đề xuất mới và đây là điều kiện để áp dụng thuật toán vào điều khiển đối tượng thực TRMS. Vì khi mô phỏng cho kết quả đáp ứng đầu ra trong các điều kiện lý tưởng, từ cấu trúc mô phỏng đến chạy thực nghiệm có khoảng cách lớn.

Để có kết luận cuối về thuật toán điều khiển đề xuất có áp dụng được trong thực tế hay không, trong phần tiếp theo luận án sẽ thiết lập hệ thực nghiệm, cài đặt và chạy bộ điều khiển đề xuất cho TRMS trong thời gian thực.

CHƯƠNG 4

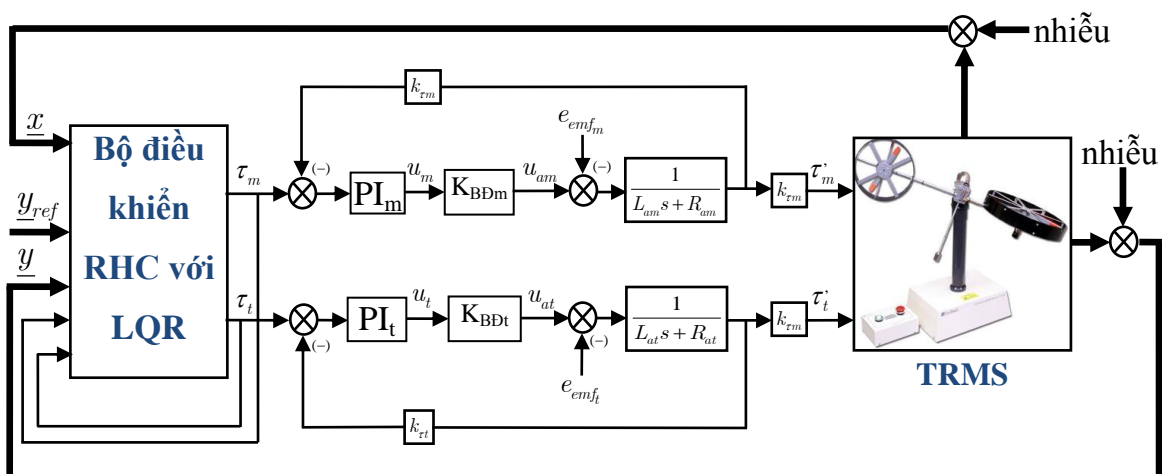
KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

4.1. Mục đích

Việc đề xuất một thuật toán điều khiển là kết quả quan trọng, tuy nhiên nếu chỉ dừng lại ở mô phỏng bằng các phần mềm thì tính đúng đắn và sức thuyết phục không cao. Thí nghiệm thuật toán điều khiển với đối tượng thực, gắn với các đại lượng vào ra vật lý để khẳng định tính khả thi và chứng minh rõ nhất về sự đúng đắn của nó.

4.2. Cấu trúc điều khiển RHC với LQR cho TRMS trong thực nghiệm.

Với hệ thực nghiệm mong muốn có được $\tau'_m = \tau_m$ và $\tau'_t = \tau_t$, có nghĩa là cần bù được động học của cơ cấu chấp hành. Giải pháp đơn giản là thiết lập mạch vòng điều chỉnh mô men, mục đích là áp đặt mô men đầu ra bộ điều khiển lên đối tượng. Trong nội dung này để đơn giản, luận án chọn bộ điều chỉnh PI cho mạch vòng điều chỉnh mô men. Như vậy cấu trúc điều khiển TRMS thực nghiệm (Hình 4.1) có bổ sung mạch vòng điều chỉnh mô men so với cấu trúc mô phỏng trong chương 3. Điều này không làm thay đổi bản chất bộ điều khiển RHC với LQR với yêu cầu điều khiển bám.

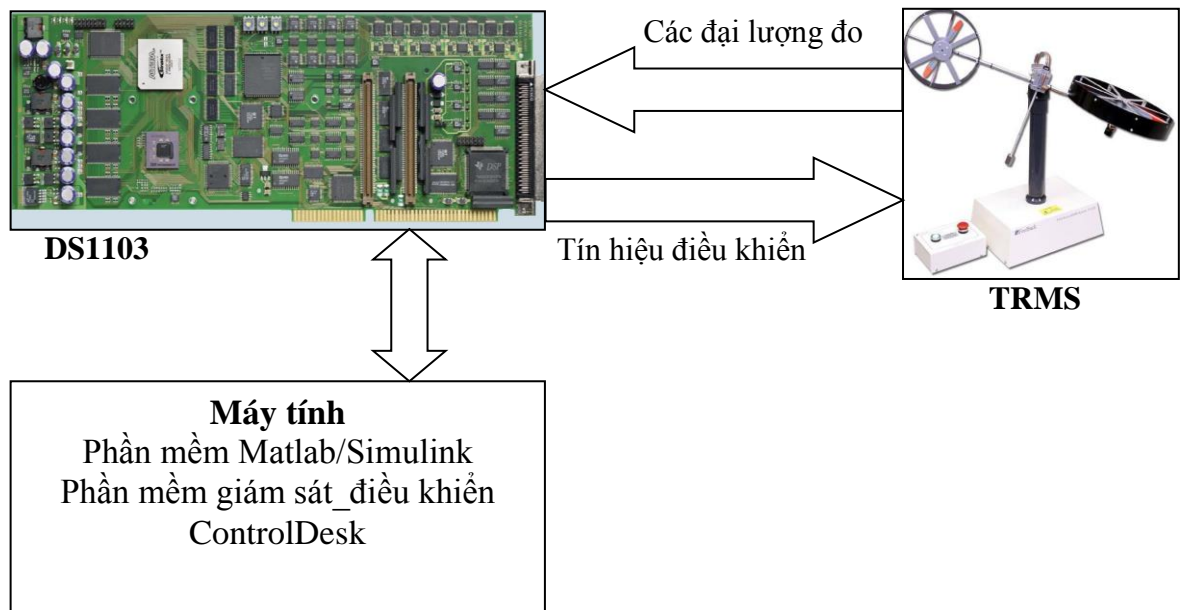


Hình 4.1. Cấu trúc điều khiển TRMS với mạch điều chỉnh vòng mô men

Với \underline{x} là véc tơ trạng thái của TRMS, bộ điều khiển RHC với LQR nhận véc tơ trạng thái $\underline{x} = [\alpha_v \quad \alpha_h \quad \dot{\alpha}_v \quad \dot{\alpha}_h \quad \omega_m \quad \omega_t]^T$, trong đó 4 biến trạng thái $\alpha_v, \alpha_h, \omega_m, \omega_t$ đo được từ encoder và máy phát tốc. Hai biến trạng thái $\dot{\alpha}_v, \dot{\alpha}_h$ được tính gần đúng như sau: $\dot{\alpha}_v = (\alpha_{v_k} - \alpha_{v_{k-1}}) / \delta_k, \dot{\alpha}_h = (\alpha_{h_k} - \alpha_{h_{k-1}}) / \delta_k$. Vị trí đặt đầu vào \underline{y}_{ref} (tín hiệu mẫu $\underline{w}(t)$ cho trước). Trong đó α_{v_k} là chuyển vị góc trong mặt đứng ở chu kì lấy mẫu k , $\alpha_{v_{k-1}}$ là chuyển vị góc trong mặt đứng ở chu kì lấy mẫu trước $k-1$. Còn α_{h_k} là chuyển vị góc trong mặt ngang ở chu kì lấy mẫu k , $\alpha_{h_{k-1}}$ là chuyển vị góc trong mặt ngang ở chu kì lấy mẫu trước $k-1$. Với δ_k là chu kì lấy mẫu của hệ thống.

Đầu vào của bộ điều khiển còn có \underline{y}_{ref} là véc tơ vị trí đặt, \underline{y} là véc tơ vị trí đầu ra. Trong cấu trúc điều khiển $k_{\tau m} = k_{\tau t} = 0.0202$ (Nm/A) là hệ số mô men của động cơ một chiều kích từ vĩnh cửu, u_{am} / u_{at} là điện áp đầu ra bộ khuếch đại công suất đặt vào phần ứng động cơ truyền động cánh quạt chính/cánh quạt đuôi.

Bộ điều khiển RHC với LQR và bộ điều chỉnh PI của mạch vòng điều chỉnh mô men được xử lý và thực hiện trên Card DS1103. Cấu trúc ghép nối vào ra của hệ thí nghiệm như Hình 4.2.



Hình 4.2. Cấu trúc hệ điều khiển TRMS dùng card DS1103

4.3. Yêu cầu thiết bị, phần mềm thí nghiệm

Dựa vào cấu trúc Hình 4.1 và Hình 4.2, để thực nghiệm đánh giá chất lượng bộ điều khiển đề xuất thì cần có các thiết bị sau: hệ thống TRMS, các cảm biến đo đại lượng phản hồi, Card điều khiển thời gian thực DS1103, máy tính, phần mềm lập trình thiết lập cấu trúc điều khiển Matlab/simulink và phần mềm giám sát điều khiển ControlDesk.

Đối tượng TRMS

Về TRMS đã được giới thiệu chi tiết trong phần xây dựng mô hình động học. Hai động cơ một chiều kích từ vĩnh cửu truyền động cánh quạt chính và cánh quạt đuôi. Bộ driver nhận tín hiệu điều khiển từ Card DS1103 để điều chỉnh tốc độ của động cơ truyền động cánh quạt.

Cảm biến đo đại lượng phản hồi

Cảm biến vị trí (Encoder) để đo vị trí chuyển vị góc đầu ra trong mặt đứng và mặt ngang. Máy phát tốc để đo vận tốc góc của cánh quạt chính và cánh quạt đuôi. Mô đun đo dòng điện phản ứng động cơ một chiều truyền động cánh quạt chính và cánh quạt đuôi.

Card điều khiển thời gian thực DS1103

Card DS1103 được tích hợp vi xử lý tốc độ cao và bộ nhớ lớn kết hợp với phần mềm giám sát điều khiển ControlDesk để phù hợp với các yêu cầu điều khiển thời gian thực.

Máy tính

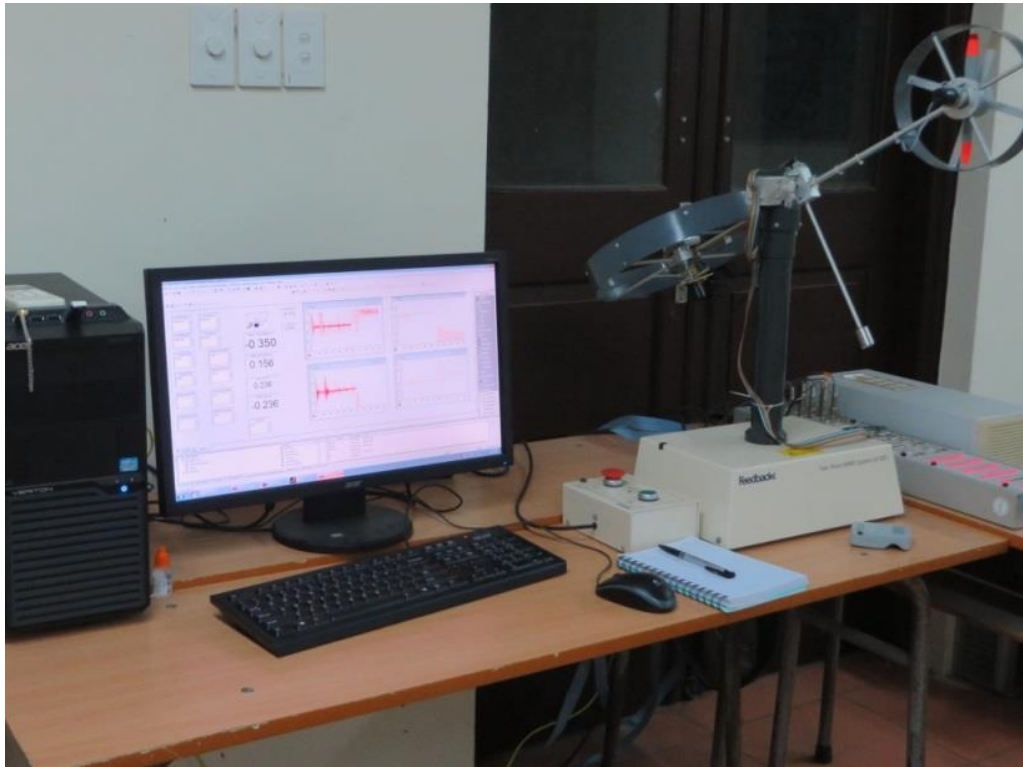
Máy tính được ghép nối với Card DS1103, cài đặt phần mềm Matlab/simulink và ControlDesk. Việc giao tiếp với hệ thống thí nghiệm đều thực hiện thông qua máy tính như cài đặt tham số điều khiển, lấy đặc tính.

Phần mềm Matlab/simulink và ControlDesk

Ngoài các thiết bị phần cứng trên thì thành phần không thể thiếu là phần mềm lập trình mô phỏng, giám sát điều khiển và thu thập dữ liệu. Thuật toán điều khiển được lập trình và mô phỏng kiểm chứng bằng phần mềm Matlab/simulink. Có

thể chạy mô hình Simulink trên Card điều khiển với các khối trong thư viện giao tiếp thời gian thực.

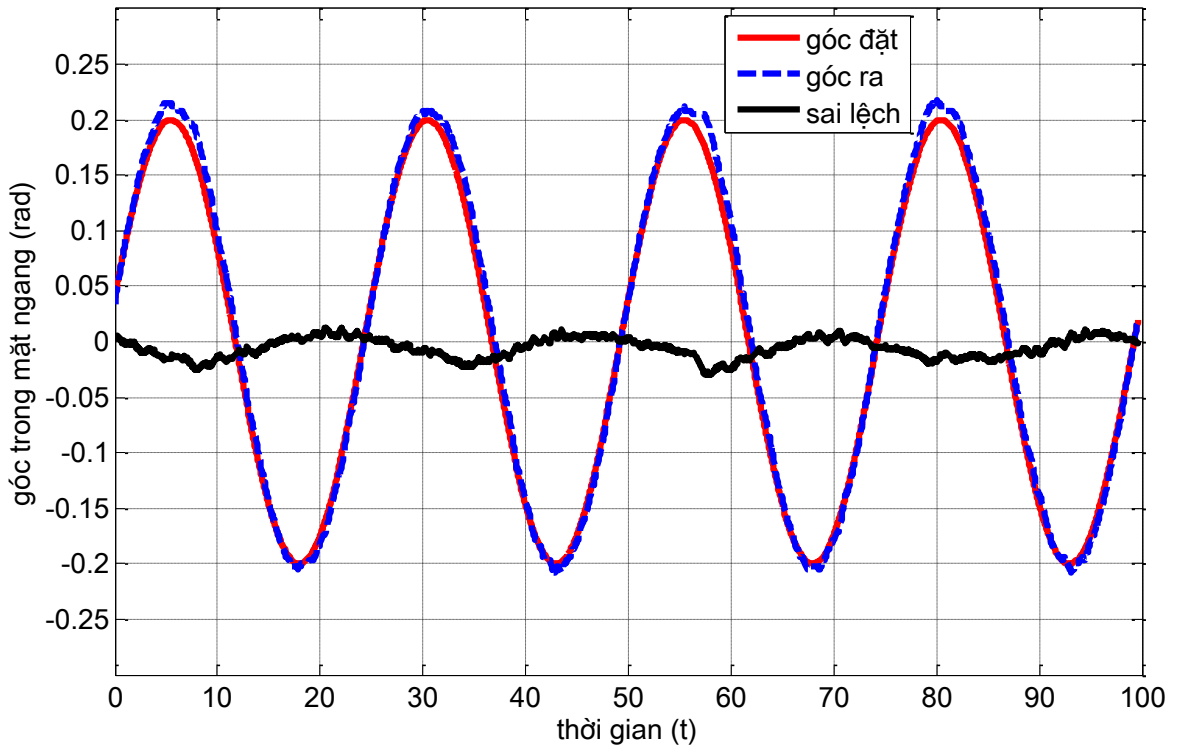
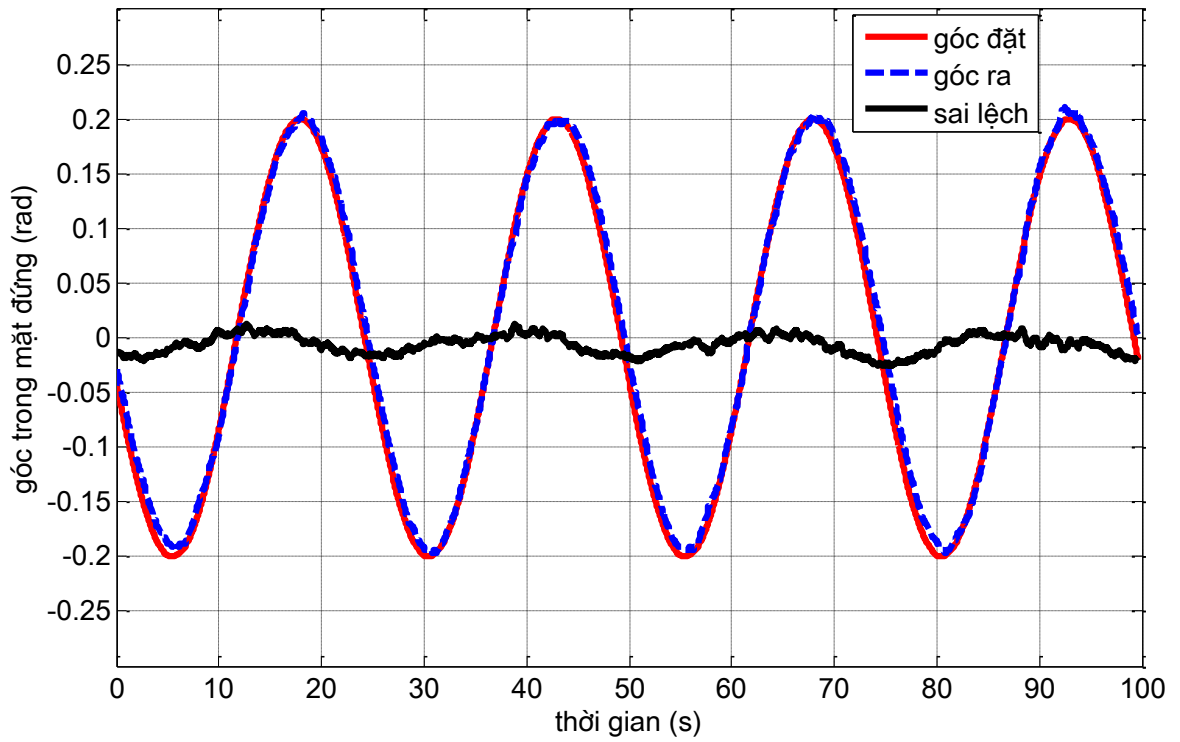
4.4. Sơ đồ hệ thống thí nghiệm



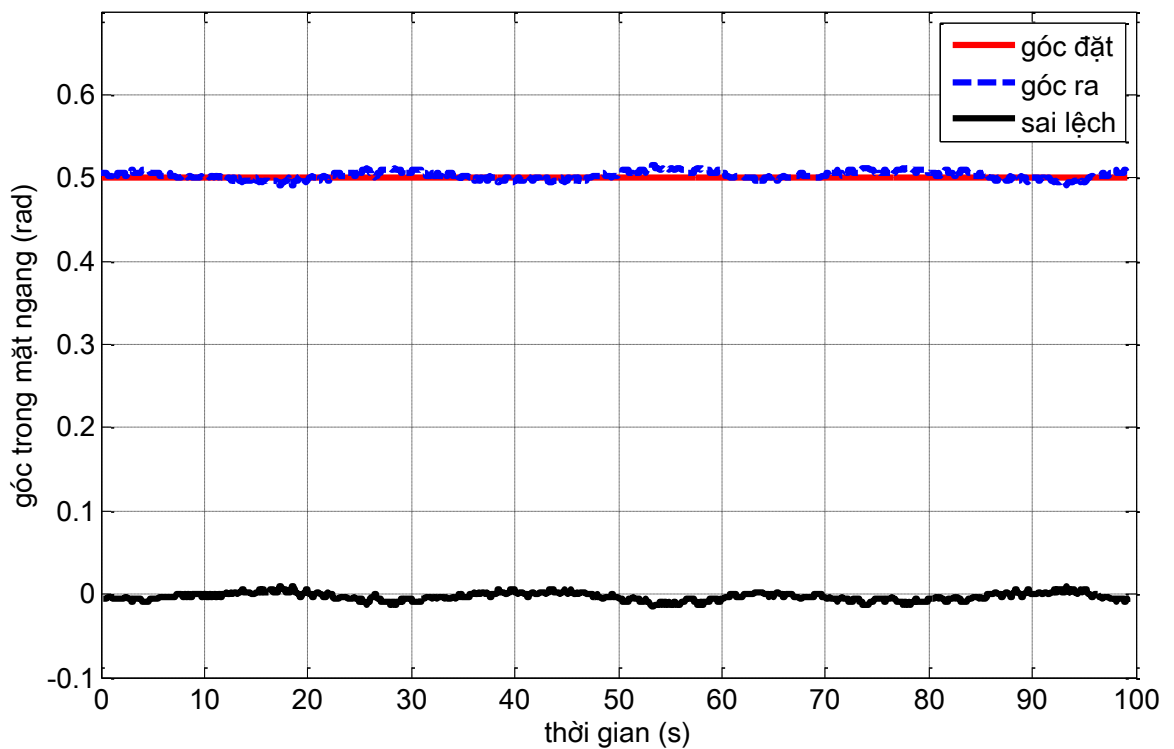
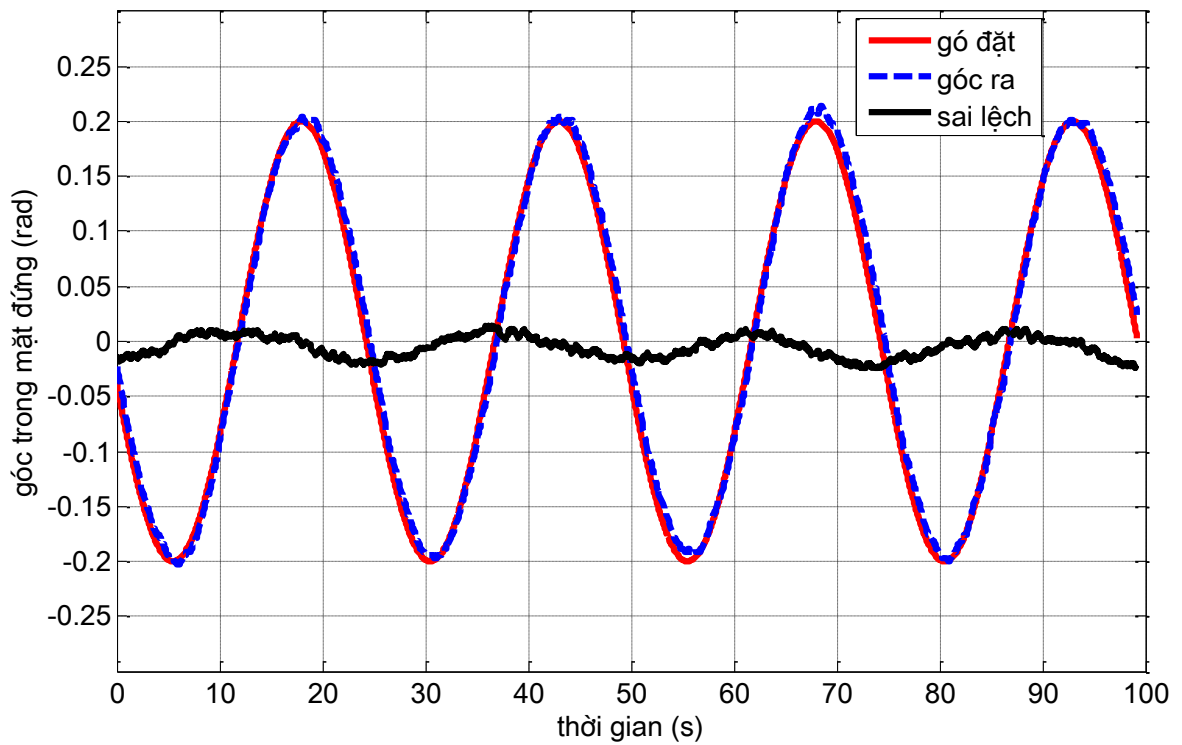
Hình 4.13. Hệ thí nghiệm TRMS

- Thời gian lấy mẫu: $T_s=0.005s$
- Tham số bộ điều chỉnh PI_m : $K_{p_m}=0.2$; $K_{i_m}=50$
- Tham số bộ điều chỉnh PI_t : $K_{p_t}=0.1$; $K_{i_t}=50$
- Tín hiệu ra của 2 encoder đo vị trí góc α_v / α_h kết nối vào 2 kênh encoder số
- Tín hiệu ra của 2 máy phát tốc đo vận tốc góc ω_m / ω_t kết nối vào 2 kênh biến đổi A/D của DS1103: ADCH17, ADCH18
- Tín hiệu ra của 2 cảm biến dòng đo dòng điện i_{am} / i_{at} kết nối vào 2 kênh biến đổi A/D của DS1103: ADCH19, ADCH20
- Hai tín hiệu điều khiển đưa ra qua 2 kênh D/A: DACH1, DACH2

4.5. Kết quả thực nghiệm và nhận xét



Hình 4.21. Đáp ứng chuyển vị góc trong 2 mặt phẳng với tín hiệu đặt dạng sin-sin



Hình 4.22. Đáp ứng chuyển vị góc trong 2 mặt phẳng với tín hiệu đặt dạng sin-hằng số

4.6. Kết luận

Chương 4 đã giải quyết được các vấn đề sau:

- Thiết lập xây dựng hệ thí nghiệm TRMS với mạch vòng điều chỉnh mô men để bù động học của cơ cấu chấp hành. Với hệ nguyên bản của nhà sản xuất không tích hợp cảm biến đo mô men hoặc dòng điện. Vì vậy để áp dụng thuật toán đề xuất điều khiển vị trí có áp đặt mô men, luận án đã sử dụng cảm biến đo dòng điện độ nhạy cao cho mạch vòng điều khiển áp đặt mô men.

- Thuật toán điều khiển đề xuất được kiểm chứng trên hệ thực nghiệm TRMS, tín hiệu điều khiển đầu ra phụ thuộc vào nghiệm của phương trình Riccati. Thông thường người ta thường giải phương trình Riccati rồi cài đặt kết quả vào bộ điều khiển, nhưng thuật toán điều khiển đề xuất đòi hỏi giải phương trình này liên tục trong mỗi chu kì lấy mẫu. Với yêu cầu đó, luận án đã cài đặt và lập trình giải phương trình Riccati trên Card DS1103 trong thời gian thực.

- Cài đặt linh hoạt thuật toán điều khiển đề xuất cho TRMS. Thuật toán điều khiển được kiểm chứng trên TRMS với tín hiệu đặt dạng sin và step.

Vậy, kết quả thực nghiệm một lần nữa khẳng định tính đúng đắn của thuật toán điều khiển mà luận án đề xuất và tính khả thi áp dụng nó vào đối tượng thực.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Một số đóng góp mới của luận án có thể kể ra như sau:

1. Xây dựng được mô hình toán cho TRMS với sai số nhỏ nhất so với mô hình thực: Dựa vào thông tin đầy đủ về các tham số, cấu trúc và bản chất vật lý của đối tượng, nhà cung cấp thiết bị đã xây dựng mô hình toán sử dụng phương pháp Newton. Trong luận án này, phương pháp Euler-Lagrange được sử dụng để xây dựng mô hình cho TRMS.

2. Nghiên cứu và đề xuất thuật toán điều khiển RHC với LQR cho hệ phi tuyến liên tục có nhiễu và sai lệch mô hình.

Kiến nghị

Mặc dù luận án đã giải quyết bài toán điều khiển TRMS trong không gian biến khớp, nhưng vẫn còn một số vấn đề sẽ giải quyết trong tương lai.

1. Sẽ áp dụng thuật toán điều khiển đề xuất cho các đối tượng ứng dụng trong thực tế như các UAV và nghiên cứu thêm các phương pháp điều khiển phi tuyến khác ứng dụng cho TRMS.

2. Qua mô phỏng và thực nghiệm thuật toán điều khiển cho TRMS thấy rằng ma trận Q , R ảnh hưởng nhiều đến chất lượng đáp ứng đầu ra. Vì vậy cần đề xuất thuật toán để tối ưu hóa ma trận Q , R trong thuật toán điều khiển RHC với LQR.

3. Áp dụng bộ quan sát trạng thái với thuật toán RHC với LQR trong điều khiển hệ thực.