Thiết kế bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác từng phần cho hệ TRMS

Partial exact linearization controller design for TRMS

Nguyễn Như Hiển, Đinh Văn Nghiệp(*)
Đại học Kỹ Thuật Công Nghiệp Thái Nguyên
(*)nghiepk36-tdh@tnut.edu.vn

Nguyễn Doãn Phước
Đại học Bách khoa Hà Nội

Tóm tắt

Trong bài báo này một bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác từng phần được thiết kế cho Twin Rotor MIMO System (TRMS) dựa trên mô hình động học Euler-Largrange đầy đủ và chính xác hơn so với mô hình của hãng chế tạo, đã được nhóm tác giả công bố ở chuyên san Điều khiển và Tự động hóa số 11 tháng 12 năm 2014, nhằm đạt được các chỉ tiêu chất lượng mong muốn.

Từ khóa: Tuyến tính hóa chính xác từng phần, Twin Rotor MIMO System, TRMS.

Abstract:

This paper presents Euler-Largrange dynamic model that is more accurate and fuller than manufacturer's one based partial exact linearization controller design for Twin Rotor MIMO System (TRMS), was published authors in the Journal Control and Automation of December 11, 2014, to achieve desired quality criteria.

Keywords: Partial exact linearization, Twin Rotor MIMO System, TRMS.

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơnvị	Ý nghĩa
$\alpha_{v/h}$	rad	vị trí trong mặt phẳng đứng/bằng
$\alpha_{m/t}$	rad	vị trí góc cánh quạt rotor chính/phụ
g	m/s^2	gia tốc trọng trường
m	kg	khối lượng
J_1	kgm^2	mô men quán tính của thanh ngang
m_{T1}	kg	tổng khối lượng của thanh ngang
l_{T1}	m	trọng tâm của thanh ngang
m_t	kg	khối lượng phần phụ của thanh ngang
m_{tr}	kg	khối lượng động cơ phụ
m_{ts}	kg	khối lượng vành bảo vệ roto phụ
m_m	kg	khối lượng phần chính của thanh ngang
m_{mr}	kg	khối lượng động cơ chính
m_{ms}	kg	khối lượng vành bảo vệ roto chính
l_t	m	chiều dài phần phụ của thanh ngang
l_m	m	chiều dài phần chính của thanh ngang
$r_{m/ts}$	m	bán kính vành bảo vệ rotor chính/phụ
$r_{mm/t}$	m	bán kính rotor động cơ chính/phụ
J_2	kgm^2	mô men quán tính của thanh đối trọng
m_b	kg	khối lượng của thanh đối trọng
m_{T2}	kg	tổng khối lượng của thanh đối trọng
m_{cb}	kg	khối lượng của đối trọng
l_{T2}	m	trọng tâm của thanh đối trọng
l_b	m	chiều dài của thanh đối trọng
l_{cb}	m	khoảng cách từ đối trọng đến điểm quay
r_{cb}	m	bán kính của đối trọng
L_{cb}	m	chiều dài của đối trọng
J_3	kgm^2	mô men quá tính của chốt quay
J_4	kgm^2	mô men quá tính phần sau của chốt quay
m_h	kg	khối lượng của chốt quay
m_{h1}	kg	khối lượng phần sau của chốt quay
h	m	chiều dài của chốt quay
h_1	m	chiều dài phần sau của chốt quay
J_{mm}	kgm^2	mô men quán tính của rotor động cơ
$J_{m/tp}$	kgm^2	mô men quán tính của cánh quạt rotor chính/phụ
$\omega_{m/t}$	rad/s	tốc độ góc động cơ truyền động cánh quạt rotor chính/phụ
$J_{m/tr}$	kgm^2	mô men quán tính của rotor chính/phụ
H	m	chiều cao từ mặt đế đến chốt quay
k_g		hệ số hiệu ứng Gyroscope
M_v	Nm	tổng hợp mô men trong mặt phẳng đứng
M_h	Nm	tổng hợp mô men trong mặt phẳng bằng
$M_{m/t}$	Nm	tổng hợp mô men tác động lên rotor chính/phụ
$B_{m/tr}$	kgm^2/s	hệ số ma sát nhớt của động cơ chính/phụ
$B_{v/h}$	kgm^2/s	hệ số ma sát nhớt của khớp quay trong mặt phẳng đứng/bằng
$F_{v/h}$	Nm	ma sát trượt khớp quay trong mặt phẳng đứng/bằng
$\tau_{m/t}$	Nm	mô men điện từ của động cơ truyền động cánh quạt rotor chính/phụ

Chữ viết tắt

TRMS	Twin Rotor MIMO System
MIMO	multiple input – multiple output

1. Giới thiệu

Twin Rotor MIMO System (TRMS), như H. 1, là hệ thí nghiệm được phát triển bởi Feedback Instrument Ltd (Feedback Co., 1998) cho các thí nghiệm điều khiển hệ nhiều vào nhiều ra, gồm một hệ thống cơ khí với hai khâu, một khâu nằm ngang được nối với bệ qua một khớp quay và một khâu vuông góc với khâu nằm ngang được nối qua một khớp quay khác với 2

cánh quạt ở hai đầu. Chuyển động trong mặt đứng của hệ do rotor chính, chuyển động trong mặt bằng do roto phụ. Cả hai rotor được truyền động bởi hai động cơ một chiều, có thể điều chỉnh tốc độ quay.

H. 1 *Twin Rotor MIMO System*

TRMS có đặc tính khí động học giống máy bay trực thăng, là hệ phi tuyến và có tác động xen kênh mạnh. Việc thiết kế bộ điều khiển cho TRMS để có được chất lượng đáp ứng đầu ra tôt là một thách thức lớn đối với các nhà khoa học. Nó đã và đang nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu trong nước và trên thế giới, đã có nhiều công trình nghiên cứu được công bố về áp dụng các phương pháp điều khiển cho TRMS. Tuy nhiên, các kết quả mô phỏng kiểm chứng cho thấy đáp ứng đầu ra mặc dù bám được theo lượng đặt nhưng còn có độ sai lệch lớn. Vì vậy trong bài báo này các tác giả đề xuất thiết kế bộ điều khiển cho TRMS dựa trên mô hình Euler-Lagrange của đối tượng.

Phần còn của bài báo được tổ chức như sau: Giới thiệu về mô hình đối tượng và thiết kế bộ điều khiển trong phần 2. Mô phỏng và kiểm chứng bộ điều khiển trong phần 3. Kết luận và việc nghiên cứu tiếp theo trong phần 4.

2. Thiết kế bộ điều khiển

2.1 Phương trình Euler-Lagrange của chuyển động

Hàm Lagrange của hệ TRMS được xây dựng từ tổng động năng và thế năng, lấy từ tài liệu [2] có dạng như sau:

$$L = \frac{a_1}{2}\dot{\alpha}_v^2 + \frac{1}{2}\left(a_5 + a_4\cos^2\alpha_v\right)\dot{\alpha}_h^2 + a_6\omega_t\dot{\alpha}_v + a_7\omega_m\dot{\alpha}_h\cos\alpha_v + \frac{a_6}{2}\omega_t^2 + \frac{a_7}{2}\omega_m^2 - b_1\sin\alpha_v + \left(a_2\sin\alpha_v - a_3\cos\alpha_v\right)\dot{\alpha}_v\dot{\alpha}_h + b_2\cos\alpha_v \quad (1)$$

trong đó:

$$a_1 = J_1 + J_2 + J_{tr}; a_2 = m_{T2}l_{T2}h; a_3 = m_{T1}l_{T1}h$$

$$a_4 = J_1 + J_{mr} - J_2; b_1 = m_{T1}l_{T1}g; b_2 = m_{T2}l_{T2}g$$

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

$$a_6 = J_{tr}; a_7 = J_{mr}; \dot{\alpha}_t = \omega_t; \dot{\alpha}_m = \omega_m$$

$$J_1 = \left(\frac{1}{3}m_t + m_{tr} + m_{ts}\right)l_t^2 + \left(\frac{1}{3}m_m + m_{mr} + m_{ms}\right)l_m^2 + \frac{1}{2}m_{ms}r_{ms}^2 + m_{ts}r_{ts}^2 + \frac{1}{2}m_{tr}r_{mt}^2 + \frac{1}{2}m_{mr}r_{mm}^2$$

$$m_{T1} = m_t + m_{tr} + m_{ts} + m_m + m_{mr} + m_{ms}$$

$$l_{T1} = \frac{\left(m_m/2 + m_{mt} + m_{ms}\right)l_m - \left(m_t/2 + m_{tr} + m_{ts}\right)l_t}{m_{T1}}$$

$$J_2 = \frac{1}{3}m_b l_b^2 + m_{cb}l_{cb}^2 + \frac{1}{4}m_{cb}r_{cb}^2 + \frac{1}{12}m_{cb}L_{cb}^2$$

$$m_{T2} = m_b + m_{cb},\ l_{T2} = \frac{m_b l_b/2 + m_{cb}l_{cb}}{m_{T2}},$$

$$J_4 = \frac{m_{h1}h_1^{\ 2}}{3},\ J_4 = \frac{m_{h1}h_1^{\ 2}}{3}$$

Áp dụng phương trình chuyển động Lagrange:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}}\right) - \frac{\partial L}{\partial q} = M_{ex} \quad (2)$$

với

$$q = \begin{bmatrix}\alpha_v & \alpha_h & \alpha_m & \alpha_t\end{bmatrix}^T$$

sẽ có được phương trình động học Euler-Lagrange của TRMS như sau:

$$M\ddot{q} + C\dot{q} + G = M_{ex} \quad (3)$$

trong đó

$$\ddot{q} = \begin{bmatrix}\ddot{\alpha}_v & \ddot{\alpha}_h & \ddot{\alpha}_m & \ddot{\alpha}_t\end{bmatrix}^T,\ \dot{q} = \begin{bmatrix}\dot{\alpha}_v & \dot{\alpha}_h & \dot{\alpha}_m & \dot{\alpha}_t\end{bmatrix}^T$$

$$G = \begin{bmatrix}b_2\sin\alpha_v + b_1\cos\alpha_v & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}^T$$

$$M_{ex} = \begin{bmatrix}M_v & M_h & M_m & M_t\end{bmatrix}^T$$

và

$$M = \begin{bmatrix} a_1 & z_1 & 0 & a_6 \\ z_2 & z_3 & a_7\cos\alpha_v & 0 \\ 0 & a_7\cos\alpha_v & a_7 & 0 \\ a_6 & 0 & 0 & a_6 \end{bmatrix}$$

$$z_1 = a_2\sin\alpha_v - a_3\cos\alpha_v$$

$$z_2 = a_2\sin\alpha_v - a_3\cos\alpha_v$$

$$z_3 = a_5 + a_4\cos^2\alpha_v$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & n_1 & 0 & 0 \\ n_2 & -a_4\sin\alpha_v\cos\alpha_v\dot{\alpha}_v & 0 & 0 \\ 0 & -a_7\dot{\alpha}_v\sin\alpha_v & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$n_1 = \sin\alpha_v(a_4\dot{\alpha}_h\cos\alpha_v + a_7\omega_m)$$

$$n_2 = -a_4\sin\alpha_v\cos\alpha_v\dot{\alpha}_h - a_7\omega_m\sin\alpha_v + \left(a_2\cos\alpha_v + a_3\sin\alpha_v\right)\dot{\alpha}_v$$

$$M_v = l_m k_{fv}\dot{\alpha}_m |\dot{\alpha}_m| w - k_{tr}\dot{\alpha}_t |\dot{\alpha}_t| - B_v\dot{\alpha}_v - \\ - F_v sign(\dot{\alpha}_v) - k_g l_m k_{fv}\dot{\alpha}_m |\dot{\alpha}_m| w\dot{\alpha}_h \cos\alpha_v$$

với

$$w = \frac{1}{1-\left(\frac{r_{mr}}{4\left(H + l_m \sin\alpha_v\right)}\right)^2}$$

$$M_h = l_t k_{fh}\dot{\alpha}_t |\dot{\alpha}_t| \cos\alpha_v - k_{tm}\dot{\alpha}_m |\dot{\alpha}_m| \cos\alpha_v - B_h\dot{\alpha}_h \\ - F_h sign(\dot{\alpha}_h) - C_c\left(\alpha_h - \alpha_{h0}\right)$$

$$M_m = \tau_m - sign(\dot{\alpha}_m) k_{tv}\dot{\alpha}_m^2 - B_{mr}\dot{\alpha}_m$$

$$M_t = \tau_t - sign(\dot{\alpha}_t) k_{th}\dot{\alpha}_t^2 - B_{tr}\dot{\alpha}_t$$

Như vậy, từ mô hình Euler-Lagrange thu được ở trên có thể thấy ngay được rằng hệ TRMS có dạng thiếu cơ cấu chấp hành với 2 đầu vào và 4 đầu ra.

2.2 Thiết kế bộ điều khiển

Trước tiên, mô hình (3) của hệ có thể viết lại như sau:

$$M\ddot{q} + C\dot{q} + G = M_{ex}$$

hay

$$\begin{cases} M_{11}\ddot{q}_1 + M_{12}\ddot{q}_2 + C_{11}\dot{q}_1 + C_{12}\dot{q}_2 + \phi_1 = 0 \\ M_{21}\ddot{q}_1 + M_{22}\ddot{q}_2 + C_{21}\dot{q}_1 + C_{22}\dot{q}_2 + \phi_2 = \begin{bmatrix}\tau_m \\ \tau_t\end{bmatrix} \end{cases} \quad (4)$$

trong đó

$$q_1 = \begin{bmatrix}\alpha_v & \alpha_h\end{bmatrix}^T,\ q_2 = \begin{bmatrix}\alpha_m & \alpha_t\end{bmatrix}^T$$

$$M_{11} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2\sin\alpha_v - a_3\cos\alpha_v \\ a_2\sin\alpha_v - a_3\cos\alpha_v & a_5 + a_4\cos^2\alpha_v \end{bmatrix}$$

$$M_{12} = \begin{bmatrix} 0 & a_6 \\ a_7\cos\alpha_v & 0 \end{bmatrix},\ M_{21} = \begin{bmatrix} 0 & a_7\cos\alpha_v \\ a_6 & 0 \end{bmatrix}$$

$$M_{22} = \begin{bmatrix} a_7 & 0 \\ 0 & a_6 \end{bmatrix}$$

và

$$C_{11} = \begin{bmatrix} 0 & \sin\alpha_v(a_4\dot{\alpha}_h\cos\alpha_v + a_7\omega_m) \\ x & -a_4\sin\alpha_v\cos\alpha_v\dot{\alpha}_v \end{bmatrix}$$

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

$$C_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, C_{21} = \begin{bmatrix} 0 & -a_7\dot{\alpha}_v\sin\alpha_v \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, C_{22} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

cũng như

$$\phi_1 = \begin{bmatrix} b_2\sin\alpha_v + b_1\cos\alpha_v - M_v \\ -M_h \end{bmatrix}$$

$$\phi_2 = \begin{bmatrix} sign(\omega_m)k_{tv}\omega_m^2 + B_{mr}\omega_m \\ sign(\omega_t)k_{th}\omega_t^2 + B_{tr}\omega_t \end{bmatrix}$$

Từ (4) suy ra được:

$$\begin{cases} M_{11}\ddot{q}_1 + M_{12}\ddot{q}_2 + C_{11}\dot{q}_1 + C_{12}\dot{q}_2 + \phi_1 = 0 \\ M_{21}\ddot{q}_1 + M_{22}\ddot{q}_2 + C_{21}\dot{q}_1 + C_{22}\dot{q}_2 + \phi_2 = \begin{bmatrix}\tau_m \\ \tau_t\end{bmatrix} \end{cases}$$

hay

$$\begin{cases} \ddot{q}_2 = -M_{12}^{-1}\left(M_{11}\ddot{q}_1 + C_{11}\dot{q}_1 + C_{12}\dot{q}_2 + \phi_1\right) \\ M_{21}\ddot{q}_1 + M_{22}\ddot{q}_2 + C_{21}\dot{q}_1 + C_{22}\dot{q}_2 + \phi_2 = \tau \end{cases} \quad (5)$$

trong đó

$$\tau = \begin{bmatrix}\tau_m \\ \tau_t\end{bmatrix}$$

Bài toán điều khiển TRMS được đặt ra ở đây là thành phần các biến khớp thứ nhất là q_1 phải bám tiệm cận theo được quỹ đạo mẫu cho trước là q_{1r}, trong khi không cần quan tâm tới thành phần biến khớp thứ hai là q_2. Khi đó ta có thể thấy ngay được rằng với bộ điều khiển thứ nhất (sau đây sẽ được gọi là bộ điều khiển vòng trong):

$$\begin{aligned} \tau &= M_{21}\ddot{q}_1 + C_{21}\dot{q}_1 + \phi_2 \\ &\quad - M_{22}M_{12}^{-1}\left(M_{11}\ddot{q}_1 + C_{11}\dot{q}_1 + C_{12}\dot{q}_2 + \phi_1\right) \\ &= \left(M_{21} - M_{22}M_{12}^{-1}M_{11}\right)\ddot{q}_1 + C_{21}\dot{q}_1 + C_{22}\dot{q}_2 \\ &\quad + \phi_2 - M_{22}M_{12}^{-1}\left(C_{11}\dot{q}_1 + C_{12}\dot{q}_2 + \phi_1\right) \end{aligned} \quad (6)$$

tức là:

$$\tau = D\ddot{q}_1 + \varphi(q,\dot{q}) \quad (7)$$

trong đó

$$\begin{cases} \varphi(q,\dot{q}) = C_{21}\dot{q}_1 + C_{22}\dot{q}_2 + \phi_2 \\ \qquad - M_{22}M_{12}^{-1}\left(C_{11}\dot{q}_1 + C_{12}\dot{q}_2 + \phi_1\right) \\ D = M_{21} - M_{22}M_{12}^{-1}M_{11} \end{cases}$$

hệ kín sẽ có mô hình biến khớp, được suy ra từ bộ điều khiển (7) và mô hình đối tượng (5) như sau:

$$D\ddot{q}_1 = Dv \quad \Leftrightarrow \quad \ddot{q}_1 = v \quad (8)$$

Nói cách khác, bộ điều khiển vòng trong (7) đã tuyến tính hóa được thành phần biến khớp q_1 của đối tượng điều khiển (4) trong toàn bộ không gian các biến khớp. Đó cũng chính là lý do bộ điều khiển vòng trong, lúc này được viết lại thành:

$$\tau = Dv + \varphi(q,\dot{q}) \quad (9)$$

có tên gọi là bộ điều khiển tuyến tính hóa chính xác.

Hiển nhiên, thành phần biến khớp q_1 mặc dù đã được tuyến tính hóa, song hệ vì có dạng tích phân bậc hai (8), nên không ổn định.

Tiếp theo, để điều khiển thành phần biến khớp q_1 không ổn định này bám tiệm cận theo được quỹ đạo mẫu q_{1r} cho trước, ta sẽ sử dụng thêm bộ điều khiển vòng ngoài:

$$v = \ddot{q}_{1r} + K_1 e_1 + K_2\dot{e}_1 \quad (10)$$

trong đó:

$$e_1 = q_{1r} - q_1$$

là ký hiệu của sai lệch bám và K_1, K_2 là hai ma trận đối xứng xác định dương tùy chọn.

Bộ điều khiển vòng ngoài (10) này sẽ làm cho sai lệch bám e_1 tiến tiệm cận về 0, vì từ (8) và (10) ta có:

$$\ddot{q}_1 = \ddot{q}_{1r} + K_1 e_1 + K_2 \dot{e}_1$$

tức là

$$\underline{0} = \ddot{e}_1 + K_1 e_1 + K_2 \dot{e}_1$$

hay hệ tự trị:

$$\begin{pmatrix} \dot{e}_1 \\ \ddot{e}_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & I \\ -K_1 & -K_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_1 \\ \dot{e}_1 \end{pmatrix} = K \begin{pmatrix} e_1 \\ \dot{e}_1 \end{pmatrix}$$

có:

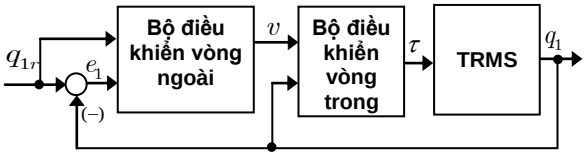
$$K = \begin{pmatrix} 0 & I \\ -K_1 & -K_2 \end{pmatrix}$$

là ma trận Hurwitz.

Khi đã bổ sung thêm bộ điều khiển mạch vòng ngoài, toàn bộ phần điều khiển của hệ sẽ có mô hình:

$$\tau = D\left(\ddot{q}_{1r} + K_1 e_1 + K_2 \dot{e}_1\right) + \varphi(q, \dot{q}) \qquad (11)$$

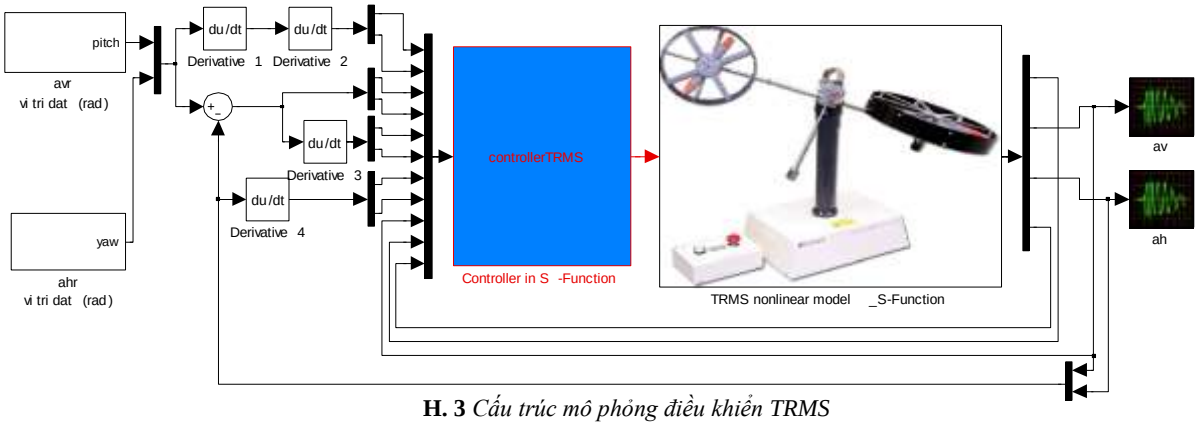
Hình H.2 mô tả toàn bộ hệ thống điều khiển bám được xây dựng dựa theo nguyên tắc tuyến tính hóa chính xác thành phần biến khớp q_1.



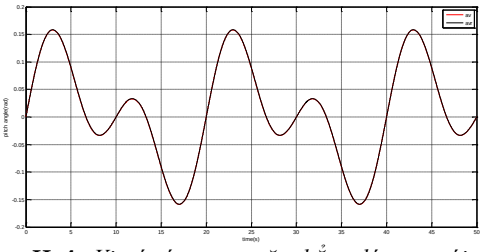
H. 2 *Cấu trúc điều khiển TRMS*

3. Kết quả mô phỏng

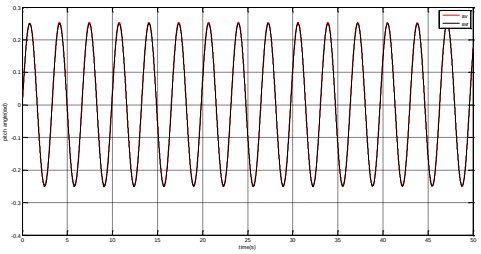
Để kiểm chứng và đánh giá hiệu quả của bộ điều khiển thiết kế cho TRMS tiến hành mô phỏng hệ thống sử dụng matlab-simulink dựa vào các tham số ở bảng 1, mô hình bộ điều khiển và đối tượng được viết dưới dạng S-Function. Để đơn giản tác giả lập trình bộ điều khiển vòng trong và vòng ngoài trong một S-Function. Vị trí góc đầu ra của hệ $\alpha_{v/h}$=*av/h*(α_v=pitch angle, α_h=yaw angle), vị trí đặt tương ứng q_{1r} =[avr ahr]. Để xét đến ảnh hưởng xen kênh của, chạy mô phỏng đồng thời 2 bậc tự do với 2 tín hiệu đặt đầu vào. Chọn K1=1.I, K2=100.I. Kết quả mô phỏng cho các đáp ứng đầu ra như sau:



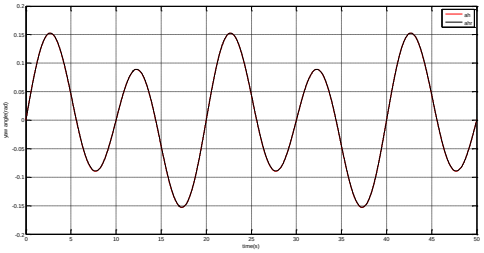
H. 3 *Cấu trúc mô phỏng điều khiển TRMS*



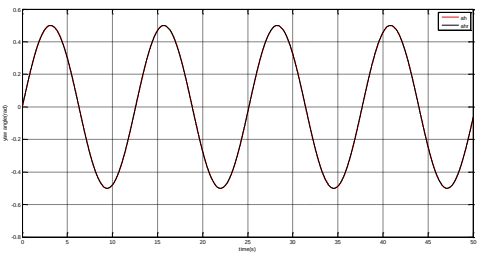
H. 4a *Vị trí góc trong mặt phẳng đứng α_v với tín hiệu đặt:*
0.09 sin(0.6283t)+ 0.09 sin(0.3142t)



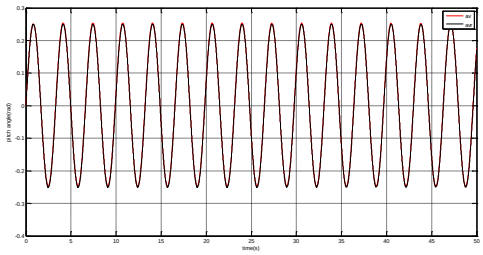
H. 5a *Vị trí góc trong mặt phẳng đứng α_v với tín hiệu đặt: 0.25 sin(1.9t)*



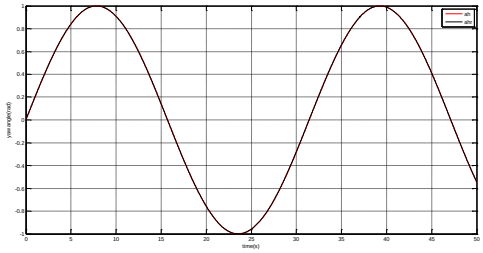
H. 4b *Vị trí góc trong mặt phẳng bằng α_h với tín hiệu đặt:*
0.12 sin(0.6283t)+ 0.045 sin(0.3142t)



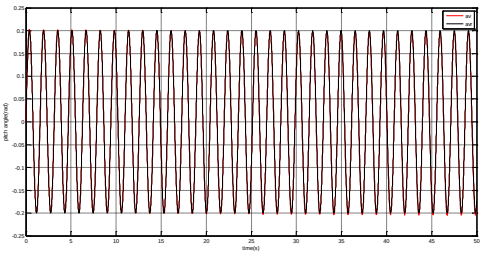
H. 5b *Vị trí góc trong mặt phẳng bằng α_h với tín hiệu đặt: 0.5 sin(0.2t)*



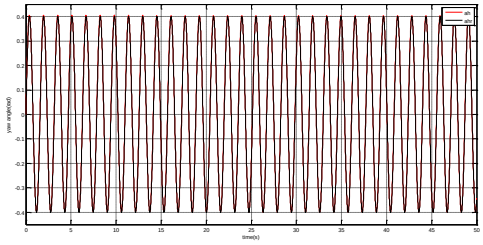
H. 6a *Vị trí góc trong mặt phẳng đứng α_v với tín hiệu đặt: 0.25 sin(1.9t)*



H. 6b *Vị trí góc trong mặt phẳng bằng α_h với tín hiệu đặt: 1 sin(0.5t)*



H. 7a *Vị trí góc trong mặt phẳng đứng α_v với tín hiệu đặt: 0.2 sin(4t)*



H. 7b *Vị trí góc trong mặt phẳng bằng α_h với tín hiệu đặt: 0.2 sin(4t)*

Bảng 1. *Thông số mô phỏng của TRMS*

l_t	0.282 m	k_g	0.05
l_m	0.254 m	h	6e-2 m
l_b	0.265 m	h_1	0.02 m
l_{cb}	0.25 m	m_{h1}	0.05 kg
r_{ms}	0.155 m	m_h	0.09 kg
r_{ts}	0.1 m	g	9.81 m/s^2
m_{tr}	0.221 kg	L_c	3e-2 m
m_{mr}	0.236 kg	r_{cb}	1e-2 m
m_{cb}	0.068 kg	H	0.5 m
m_m	0.014 kg	r_{mt}	0.007 m
m_t	0.015 kg	r_{mm}	0.007 m
m_b	0.022 kg	m_{mrr}	0.042 kg
m_{ts}	0.119 kg	m_{trr}	0.016 kg
m_{ms}	0.219 kg	k_{chp}	0.00854
J_{mr}	21.624e-5 kgm^2	J_{tr}	3.1432e-5kgm^2
B_{mr}	4.5e-5 kgm^2/s	B_{tr}	2.3e-5 kgm^2/s
k_{tv}	23.03e-6	k_{th}	10e-6
B_v	0.6e-2 Nms/rad	F_v	0.1e-2 Nms/rad
B_h	0.1 Nms/rad	F_h	0.01 Nms/rad
C_c	0.016 Nm/rad	α_{h0}	-0.4602 rad

4. Kết luận

Trong bài báo này, chuyển động theo hai bậc tự do của TRMS được xét đến. Mô hình toán học của TRMS dạng Euler-Lagrange được thiết kế sử dụng MATLAB/SIMULINK. Bộ điều khiển được thiết kế để điều khiển chuyển động trong hai mặt của hệ. Đặc tính của bộ điều khiển thiết kế được kiểm chứng với các tín hiệu đặt. Kết quả cho thấy rằng TRMS bám theo quỹ đạo yêu cầu một cách chính xác và hiệu quả. Trong các nghiên cứu tiếp theo tác giả sẽ hoàn thiện bộ điều khiển với thiết bị thực.

Tài liệu tham khảo:

[1] Feedback Instruments Ltd(2010) ,*Twin Rotor Mimo System Advanced Teaching Manual 1. 33-007-4M5.*

[2] Nguyễn Như Hiển, Đinh Văn Nghiệp, *Mô hình động học của hệ thống twin rotor MIMO*. Tạp chí tự động hóa ngày nay, Tháng 12/2014.

[3] Saber, R.O. (2001), *Nonlinear control of under-actuated mechanical systems with application to robotics and aerospace vehicles*, Dissertation MIT.

[4] Spong, M.W. (1994), *Partial feedback linearization of under-actuated mechanical systems* Proceedings if the IEEE Int. Conference on Intelligent Robotics and Systems, Vol. 1, pp. 314-321.

[5] Avila-Vilchis, J. C., Brogliato, B., Dzul, R., & Lozano, R(2003) *Nonlinear modelling and control of helicopters*. Automatica, 39(9), 1583–1596.

[6] Ahmad, S. M., Chipperfield, A. J., & Tokhi, M. O (2000) *Dynamic modelling and optimal control of a twin rotor MIMO system*. In Proceedings of the 2000 IEEE international conference on national aerospace and electronics (pp. 391–398).

[7] Ahmad, S. M., Shaheed, M. H., Chipperfield, A. J., & Tokhi, M. O (2000) *Nonlinear modelling of a twin rotor MIMO system using radial basis*

function networks. In Proceedings of the 2000 IEEE international conference on national aerospace and electronics (pp. 313–320).

Nguyễn Như Hiển nhận bằng đại học 1976 tại trường ĐH Cơ Điện Bắc Thái, bằng cao học ngành Tự động hóa năm 1997 và bằng tiến sỹ năm 2002 tại trường đại học Bách khoa Hà Nội. Hiện làm việc tại bộ môn Tự động hóa, trường đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên. Hướng nghiên cứu chính là điều khiển nâng cao cho các hệ chuyển động nhiều trục và điều khiển quá trình đa biến, điều khiển hệ thống năng lượng tái tạo.

Nguyễn Doãn Phước, tốt nghiệp Tổng hợp kỹ thuật Dresden năm 1981. Từ 1981-1982 là kỹ sư nghiên cứu và phát triển của VEB Robotron, CHDC Đức. Từ 1983 đến 1988 là cán bộ nghiên cứu Viện Hạt nhân Quân đội. Năm 1989-1990 là cán bộ nghiên cứu Viện Năng lượng nguyên tử Quốc gia. Từ 10.1990 đến 11.1993 là nghiên cứu sinh tại Viện Lý thuyết các hệ thống điều khiển, Tổng hợp kỹ thuật Dresden, CHLB Đức và bảo vệ học vị Dr.-Ing. năm 1994. Năm 1994-1996 là cán bộ nghiên cứu Viện Fraunhofer Dresden về Điều khiển, CHLB Đức. Từ năm 1997 đến nay là cán bộ giảng dạy của Đại học Bách khoa Hà Nội và được phong học hàm PGS năm 2003, GS năm 2013. Lĩnh vực nghiên cứu là: Điều khiển phi tuyến; Điều khiển thích nghi; Tối ưu hóa và điều khiển tối ưu.

Đinh Văn Nghiệp sinh năm 1981, nhận bằng tốt nghiệp đại học chuyên ngành điện khí hóa cung cấp điện năm 2005, bằng thạc sỹ về điều khiển và tự động hóa năm 2012 tại trường đại học Kỹ thuật Công nghiệp – Đại học Thái Nguyên. Hiện làm việc tại bộ môn Tự động hóa, trường đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên. Hướng nghiên cứu chính là điều khiển và tự động hóa cho các hệ chuyển động nhiều trục, robot và hệ thống tích hợp PLC.