

GIỚI THIỆU VỀ TWIN ROTOR MIMO SYSTEM INTRODUCING OF TWIN ROTOR MIMO SYSTEM

Nguyễn Như Hiển, Đinh Văn Nghiệp

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - Đại học Thái Nguyên

Email: nhuhiendhktcn@gmail.com; ngniepk36-tdh@tnut.edu.vn

Abstract

This paper introduces Twin Rotor MIMO System, cross-coupling, methods of decoupling in control.

Keywords

Twin Rotor MIMO System ,TRMS.

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu về Twin Rotor MIMO System, tác động xen kênh, phương pháp tách kênh trong điều khiển.

Từ khóa

Twin Rotor MIMO System ,TRMS.

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa		điểm quay
hiệu i			r_{cb}	m bán kính của đối trọng
$S_{v/h}$	kgm ²	Mô men động lượng trong mặt phẳng đứng/ngang	L_{cb}	m chiều dài của đối trọng
$u_{vv/hh}$	V	điện áp trên cực động cơ chính/phụ	F_v	Nm ma sát trượt khớp quay trong mặt phẳng đứng
$u_{v/h}$	V	điện áp điều khiển động cơ chính/phụ trong máy tính	F_h	Nm ma sát trượt của khớp quay trong mặt phẳng bằng
g	m/s ²	gia tốc trọng trường	$\alpha_{v/h}$	rad vị trí trong mặt phẳng đứng/ngang
m	kg	khối lượng	$\Omega_{v/h}$	rad/s tốc độ góc trong mặt phẳng đứng/ngang
m_t	kg	khối lượng phần phụ của thanh ngang	$U_{v/h}$	V Điện áp phản ứng động cơ chính/phụ
m_{tr}	kg	khối lượng động cơ phụ	$\omega_{m/t}$	rad/s tốc độ góc động cơ chính/phụ
m_{ts}	kg	khối lượng vành bảo vệ roto phụ	$J_{m/tr}$	kgm ² mô men quán tính của roto chính/phụ
m_m	kg	khối lượng phần chính của thanh ngang	M_v	Nm tổng hợp mô men trong mặt đứng(ảnh hưởng tới góc α_v)
m_{mr}	kg	khối lượng động cơ chính	M_h	Nm tổng hợp mô men trong mặt bằng(ảnh hưởng tới góc α_h)
m_{ms}	kg	khối lượng vành bảo vệ roto chính	$J_{v/h}$	kgm ² mô men quán tính đối với trục đứng/ngang
l_t	m	chiều dài phần phụ của thanh ngang		
l_m	m	chiều dài phần chính của thanh ngang		
m_b	kg	khối lượng của thanh đối trọng		
m_{cb}	kg	khối lượng của đối trọng		
l_b	m	chiều dài của thanh đối trọng		
l_{cb}	m	khoảng cách từ đối trọng đến		

Chữ viết tắt

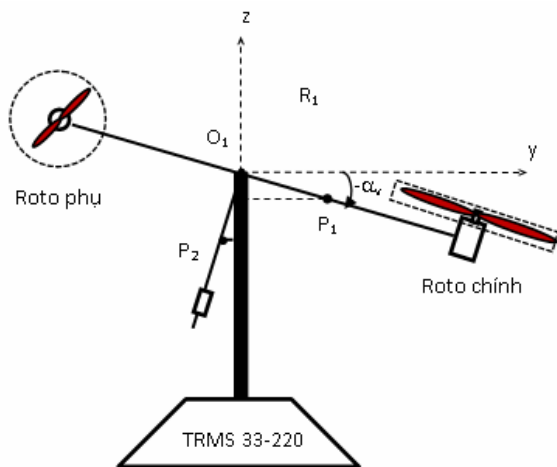
MIMO	multi input – multi output
TRMS	Twin Rotor MIMO System

1. Giới thiệu TRMS

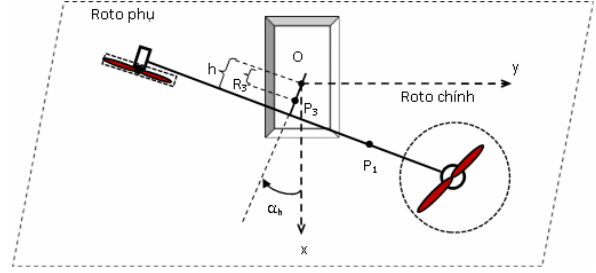


Hình 1. Hệ TRMS

Twin Rotor MIMO System (TRMS), như hình 1, là hệ thí nghiệm được phát triển bởi Feedback Instrument Ltd (Feedback Co., 1998) cho các thí nghiệm điều khiển hệ phi tuyến nhiều vào nhiều ra, hệ 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 rotor phụ. Cả hai rotor được truyền động bởi hai động cơ một chiều, có thể điều chỉnh tốc độ quay bằng phương pháp điều chỉnh điện áp vào.



Hình 2. Mặt chiếu đứng của TRMS



Hình 3. Mặt chiếu đứng của TRMS

2. Mô hình TRMS

TRMS có đặc điểm khí động học giống máy bay trực thăng. Mô hình toán được xây dựng với các giả thiết sau:

- Động học của cánh quạt được mô tả bằng các phương trình vi phân bậc nhất.
- Ma sát trong hệ là ma sát nhớt.
- Áp dụng các định đề của thuyết dòng chảy cho chuyển động của cánh quạt trong không khí.

Mô hình Newton phi tuyến của TRMS [1] :

$$(1) - (6) \quad \frac{dS_v}{dt} = -\frac{1}{2}\Omega_h^2 (A + B + C) \sin 2\alpha_v - \Omega_v k_v \quad (1)$$

$$+ l_m F_v(\omega_m) + g((A - B) \cos \alpha_v - C \sin \alpha_v)$$

$$\frac{d\alpha_v}{dt} = \Omega_v, \Omega_v = \frac{S_v + J_{tr} \omega_t}{J_v} \quad (2)$$

$$\frac{dS_h}{dt} = l_t F_h(\omega_t) \cos \alpha_v - \Omega_h k_h, \frac{d\alpha_h}{dt} = \Omega_h \quad (3)$$

$$\Omega_h = \frac{S_h + J_{mr} \omega_m \cos \alpha_v}{D \sin^2 \alpha_v + E \cos^2 \alpha_v + F} \quad (4)$$

$$\frac{du_{vv}}{dt} = \frac{1}{T_{mr}} (-u_{vv} + u_v), \omega_m = P_v(u_{vv}) \quad (5)$$

$$\frac{du_{hh}}{dt} = \frac{1}{T_{tr}} (-u_{hh} + u_h), \omega_t = P_h(u_{hh}) \quad (6)$$

$$A = \left(\frac{m_t}{2} + m_{tr} + m_{ts} \right) l_t; B = \left(\frac{m_m}{2} + m_{mr} + m_{ms} \right) l_m$$

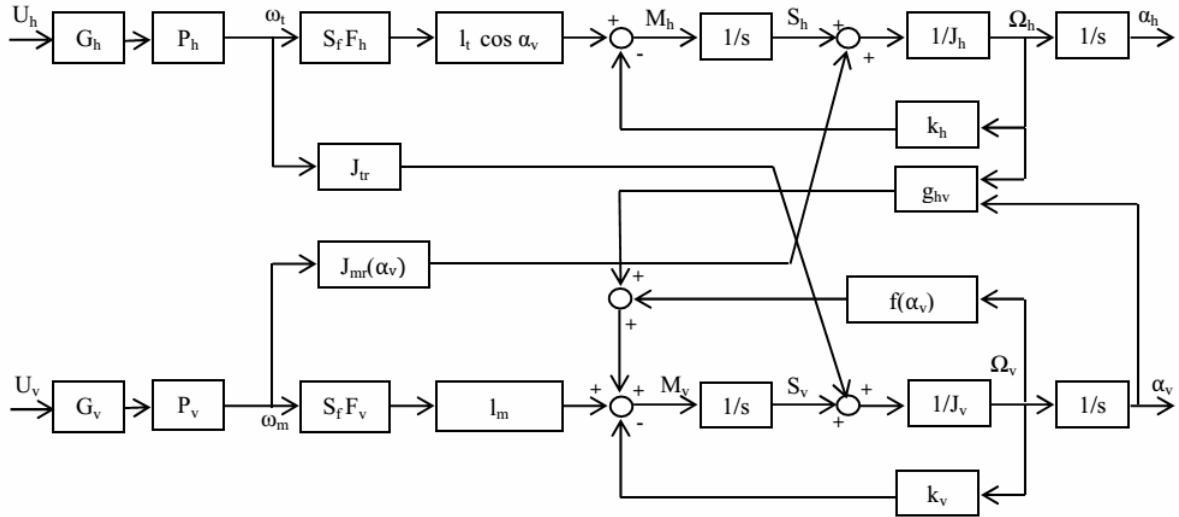
$$C = \left(\frac{m_b}{2} l_b + m_{cb} l_{cb} \right); D = \frac{m_b}{3} l_b^2 + m_{cb} l_{cb}^2$$

$$F = m_{ms} r_{ms}^2 + \frac{m_{ts}}{2} r_{ts}^2; J_h = D \cos^2 \alpha_v + E \sin^2 \alpha_v + F$$

$$E = \left(\frac{m_m}{3} + m_{mr} + m_{ms} \right) l_m^2 + \left(\frac{m_t}{3} + m_{tr} + m_{ts} \right) l_t^2$$

Nhận xét: do phải sử dụng đến một số giả thiết khi xây dựng mô hình nên cấu trúc của mô hình sẽ không đầy đủ. Mặt khác mô hình Newton này không xét đến ảnh hưởng của

chiều dài chốt quay. Vậy để phát triển thuật toán điều khiển cho TRMS có chất lượng đáp ứng đầu ra tốt hơn cần thiết phải có mô hình chính xác với ít các giả thiết. Trong nghiên cứu tiếp theo tác giả đề xuất mô hình Euler-Lagrange cho cho đối tượng.



Hình 4. Sơ đồ khối cấu trúc TRMS

Một dạng khác và được xấp xỉ mà nhà sản xuất cung cấp[3]:

$$I_1 \ddot{\alpha}_v = M_1 - M_{FG} - M_{B\alpha_v} - M_G \quad (7)$$

$$M_1 = a_1 \tau_1^2 + b_1 \tau_1; M_{FG} = M_g \sin \alpha_v \quad (8)$$

$$M_{B\alpha_v} = B_{1\alpha_v} \dot{\alpha}_v - \frac{0.0326}{2} \sin 2\alpha_v \dot{\alpha}_v^2 \quad (9)$$

$$M_G = k_{gv} M_1 \dot{\alpha}_h \cos \alpha_v; \tau_1 = \frac{k_1}{T_{11}s + T_{10}} u_v \quad (10)$$

$$I_2 \ddot{\alpha}_h = M_2 - M_{B\alpha_h} - M_R \quad (11)$$

$$M_{B\alpha_h} = B_{1\alpha_h} \dot{\alpha}_h; M_R = \frac{k_c (T_o s + 1)}{T_p s + 1} M_1 \quad (12)$$

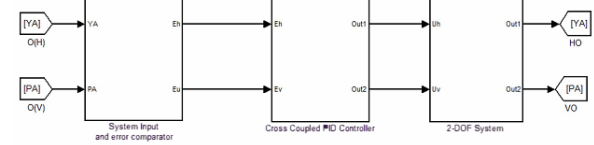
3. Phân tích về xen kênh

Mô hình toán và cấu trúc khối cho thấy TRMS là đối tượng phi tuyến có tác động xen kênh mạnh. Tốc độ góc của động cơ phụ ảnh hưởng đến chuyển vị góc trong mặt đứng. Ngược lại tốc độ góc của động cơ chính ảnh hưởng đến chuyển vị góc trong mặt bằng. Mặt khác các chuyển vị góc trong hai mặt cũng ảnh hưởng lẫn nhau.

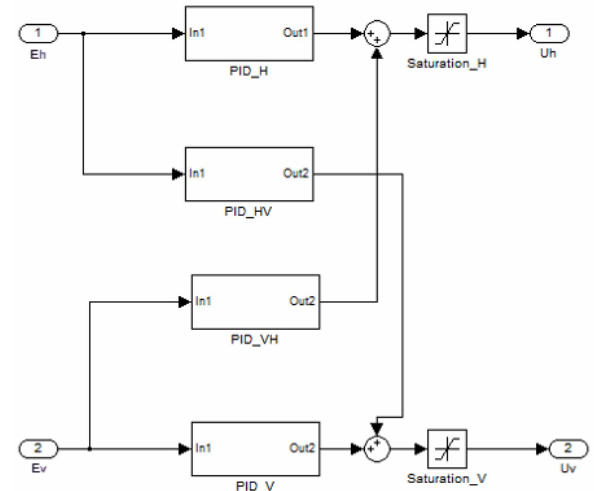
Để áp dụng được các phương pháp điều khiển kinh điển thì cần phải tách kênh. Hiện

nay trong điều khiển người ta có thể áp dụng các phương pháp tách kênh sau:

- Thiết kế bộ điều khiển để loại bỏ xen kênh[2].



Hình 5. Mô hình TRMS sử dụng bộ điều chỉnh xen kênh PID



Hình 6. Cấu trúc của bộ điều chỉnh xen kênh PID

- Mô hình TRMS được tách thành 2 mô hình một vào một ra tương ứng với 2 mặt phẳng, thành phần tác động xen kênh coi như là bất định hoặc nhiễu [4], [5], [6], [7].

Từ hệ phương trình trạng thái của TRMS(xấp xỉ):

$$\dot{x}_1 = x_2 \quad (13)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{a_1}{I_1} x_5^2 + \frac{b_1}{I_1} x_5 - \frac{M_g}{I_1} \sin x_1 - \frac{B_{1\alpha_v}}{I_1} x_2 + \frac{0.0326}{2I_1} \sin(2x_2) x_4^2 \quad (14)$$

$$-\frac{k_{gy}}{I_1} a_1 \cos(x_1) x_4 x_5^2 - \frac{k_{gy}}{I_1} b_1 \cos(x_1) x_4 x_5$$

$$\dot{x}_3 = x_4 \quad (15)$$

$$\dot{x}_4 = \frac{a_2}{I_2} x_6^2 + \frac{b_2}{I_2} x_6 - \frac{B_{1\alpha_v}}{I_2} x_4 - \frac{k_c a_1}{I_2} 1.75 x_5^2 - \frac{1.75}{I_2} k_c b_1 x_5 \quad (16)$$

$$\dot{x}_5 = -\frac{T_{10}}{T_{11}} x_5 + \frac{k_1}{T_{11}} u_v \quad (17)$$

$$\dot{x}_6 = -\frac{T_{20}}{T_{21}} x_5 + \frac{k_2}{T_{21}} u_h \quad (18)$$

Tách thành 2 hệ con ứng với 2 mặt phẳng, coi tác động xen kênh như là nhiễu:

$$\dot{X}_v = A_v X_v + B_v u_v + \Delta F_v \quad (19)$$

$$\dot{X}_h = A_h X_h + B_h u_h + \Delta F_h \quad (20)$$

Với

$$X_v = [x_1 \quad x_2 \quad x_5]^T, \Delta F_v = \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta f_v(X_v, u_v) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$X_h = [x_3 \quad x_4 \quad x_6]^T, \Delta F_h = \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta f_h(X_h, u_h) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$A_v = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -\frac{M_g}{I_1} & -\frac{B_{1\alpha_v}}{I_1} & \frac{b_1}{I_1} \\ 0 & 0 & -\frac{T_{10}}{T_{11}} \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$A_h = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{B_{1\alpha_h}}{I_2} & \frac{b_2}{I_2} \\ 0 & 0 & -\frac{T_{20}}{T_{21}} \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$B_v = \begin{bmatrix} b_{v11} \\ b_{v21} \\ b_{v31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u_v} \\ \frac{\partial f_2}{\partial u_v} \\ \frac{\partial f_5}{\partial u_v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{k_1}{T_{11}} \end{bmatrix} \quad (25)$$

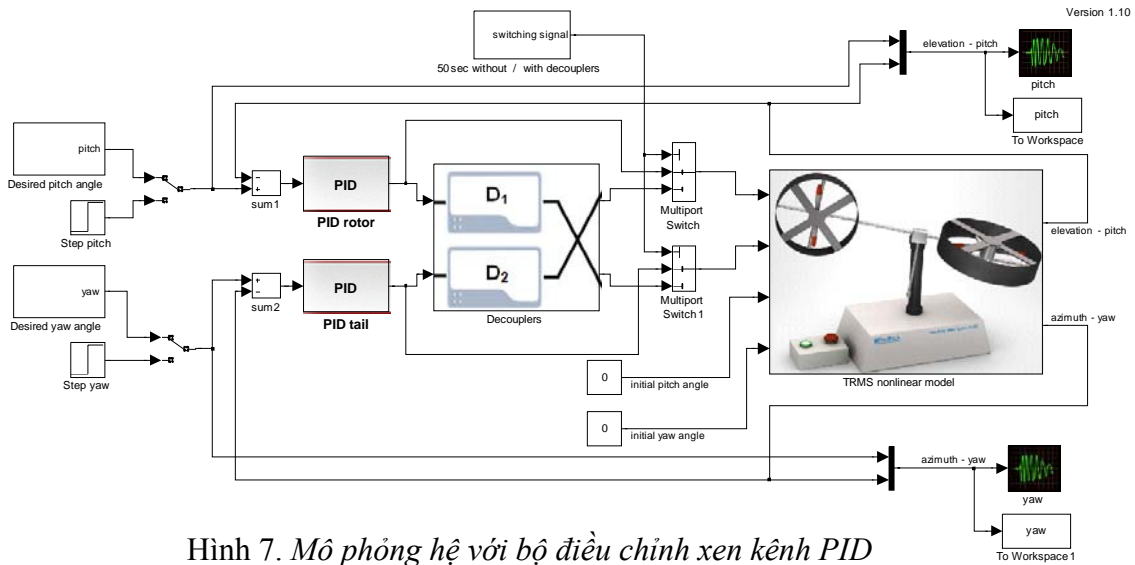
$$B_h = \begin{bmatrix} b_{h11} \\ b_{h21} \\ b_{h31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_3}{\partial u_h} \\ \frac{\partial f_4}{\partial u_h} \\ \frac{\partial f_6}{\partial u_h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{k_2}{T_{21}} \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$\Delta f_v(X_v, u_v) = \frac{a_1}{I_1} x_5^2 + \frac{b_1}{I_1} x_5 - \frac{M_g}{I_1} \sin x_1 - \frac{B_{1\alpha_v}}{I_1} x_2 + \frac{0.0326}{2I_1} \sin(2x_2) x_4^2 \quad (27)$$

$$-\frac{k_{gy}}{I_1} a_1 \cos(x_1) x_4 x_5^2 - \frac{k_{gy}}{I_1} b_1 \cos(x_1) x_4 x_5 - a_{v21} x_1 - a_{v22} x_2 - a_{v23} x_5$$

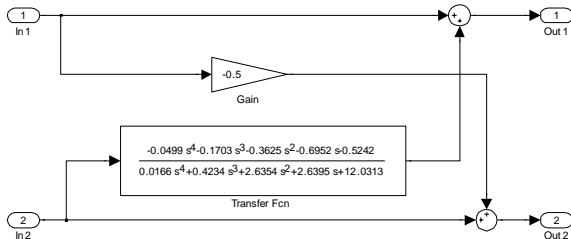
$$\Delta f_h(X_h, u_h) = \frac{a_2}{I_2} x_6^2 + \frac{b_2}{I_2} x_6 - \frac{B_{1\alpha_v}}{I_2} x_4 - \frac{k_c a_1}{I_2} 1.75 x_5^2 - \frac{1.75}{I_2} k_c b_1 x_5 - a_{h21} x_1 - a_{h22} x_2 - a_{h23} x_5 \quad (28)$$

4. Kết quả mô phỏng



Hình 7. Mô phỏng hệ với bộ điều chỉnh xen kênh PID

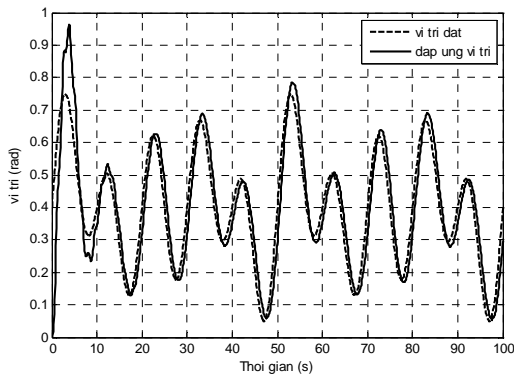
- Bộ điều chỉnh xen kênh D_1, D_2 được thiết kế sao cho khi thay đổi tín hiệu đặt của α_v thì chỉ làm thay đổi α_v mà không làm thay đổi α_h và ngược lại. Như vậy D_1, D_2 kết hợp lại thành bộ tách kênh giả lập.



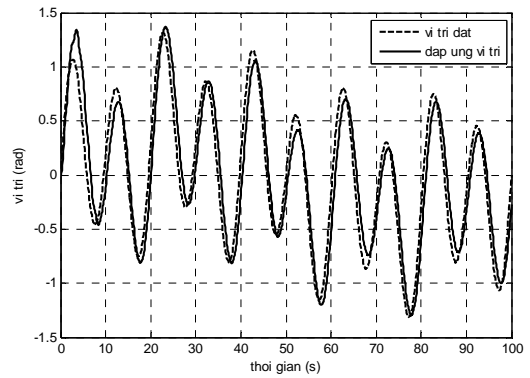
Hình 8. Cấu trúc và tham số bộ điều chỉnh tách kênh

- Tham số bộ điều chỉnh PID: Bộ điều chỉnh góc α_v (PID rotor) với $K_p=3, K_i=8, K_d=10$; Bộ điều chỉnh góc α_h (PID tail) với $K_p=2, K_i=0.5, K_d=5$.

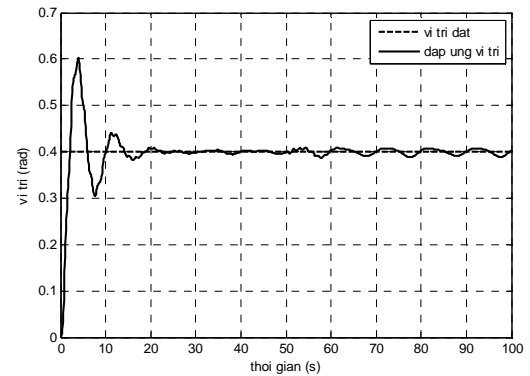
- Kết quả mô phỏng:



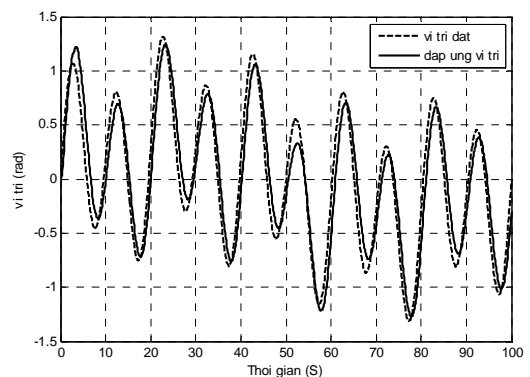
Hình 9. Vị trí góc α_v



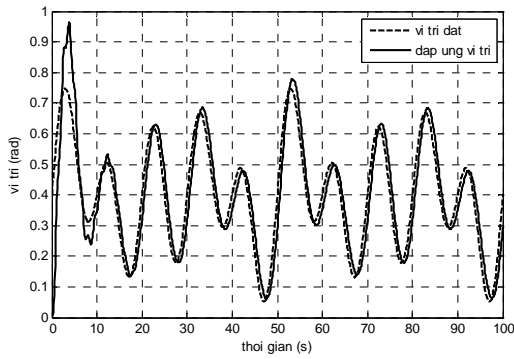
Hình 10. Vị trí góc α_h



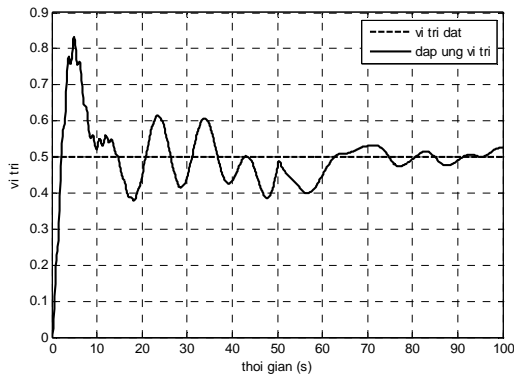
Hình 11. Vị trí góc α_v



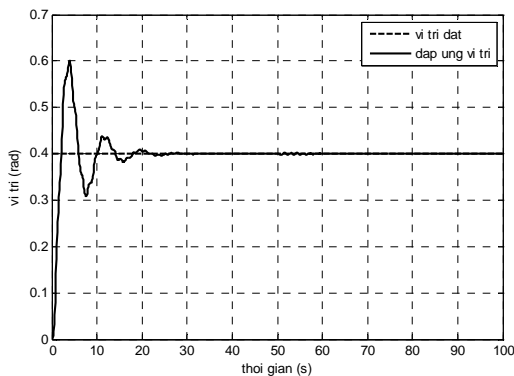
Hình 12. Vị trí góc α_h



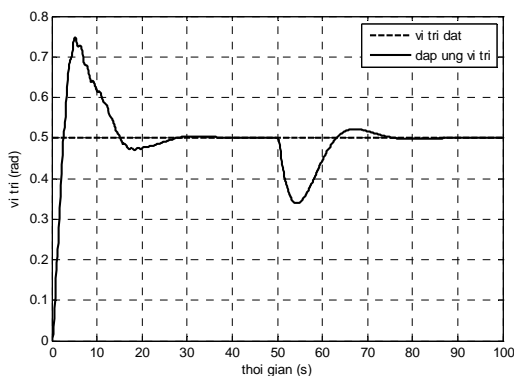
Hình 13. Vị trí góc α_v



Hình 14. Vị trí góc α_h



Hình 15. Vị trí góc α_v



Hình 16. Vị trí góc α_h

5. Kết luận

TRMS là một hệ phi tuyến mạnh nhiều vào nhiều ra có tác động xen kênh, do đó để làm đơn giản hóa bài toán thiết kế bộ điều khiển các nhà nghiên cứu chọn giải pháp tách kênh. Bộ điều chỉnh PID về cơ bản cho đáp ứng vị trí bám theo lượng đặt, khi có sự tham gia của bộ điều chỉnh tách kênh tác động xen kênh là giảm đáng kể. Tuy nhiên khi tách kênh có thể làm sai lệch cấu trúc mô hình của đối tượng. Vậy trong các nghiên cứu tiếp tác giả sẽ giải quyết bài toán thiết kế bộ điều khiển mà không dùng biện pháp tách kênh.

Tài liệu tham khảo

- [1] Feedback Instruments Ltd(2010) *Twin Rotor MIMO System Advanced Teaching Manual 1. 33-007-4M5*.
- [2] Durga Prasad G, P.S.Manoharan, A.P.S.Ramalakshmi. *PID Control Scheme for Twin Rotor MIMO System using a Real Valued Genetic Algorithm with a Predetermined Search Range*. 2013 International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC)
- [3] TRMS 33-949S User Manual, Feedback instruments Ltd., East Sussex, U.K.
- [4] C.-W. Tao, J.-S. Taur, Y.-H. Chang, and C.-W. Chang, "A novel fuzzysliding and fuzzy-integral-sliding controller for the twin-rotor multiinput-multi-output system," *IEEE Trans. on Fuzzy Syst.*, vol. 18, no. 5, pp. 893–905, Oct. 2010.
- [5] Deepak Kumar Saroj and Indrani Kar. *T-S Fuzzy Model Based Controller And Observer Design for A Twin Rotor MIMO System*.
- [6] Y. J. Huang, H. W. Wu, T. C. Kuo. *PID-based fuzzy sliding mode control for twin rotor multi-input multi-output systems*. IEEE 2013 Tencon – Spring.
- [7] Deepak Kumar Saroj, Indrani Kar và Vinay Kumar Pandey. *Sliding Mode Controller Design for Twin Rotor MIMO System with A Nonlinear State Observer*. 978-1-4673-5090-7/13. 2013