

ĐIỀU KHIỂN MỜ THÍCH NGHI MÔ HÌNH CẦN CẦU XOAY THE ADAPTIVE FUZZY CONTROLLER FOR A ROTARY CRANE MODEL

Nguyễn Thị Phương Hà, Lê Cao Khoa

Bộ môn Điều Khiển Tự Động , Khoa Điện Điện Tử, Trường ĐH Bách Khoa Tp.HCM.
Bộ môn Cơ Giới Hóa XN – XD , Khoa Cơ Khí, Trường ĐH Bách Khoa Tp.HCM.

TÓM TẮT

Bài báo trình bày bộ điều khiển thích nghi cho cần cầu xoay. Mục đích của bộ điều khiển này là giữ tới mức nhỏ nhất có thể được sự dao động của vật treo trong quá trình di chuyển và dập tắt nó khi đi đến đích nhằm làm giảm nguy cơ gây tai nạn cho người và các thiết bị trong vùng làm việc. Bộ điều khiển được thiết kế là bộ điều khiển mờ thích nghi trực tiếp. Các kết quả mô phỏng được thực hiện trên Matlab Simulink cho thấy bộ điều khiển dập tắt được dao động khá hiệu quả.

ABSTRACT

The paper presents the adaptive controller of rotary crane. The aim of this controller is that the load swing is kept small during the transfer process and completely vanishes at the destination to reduce the risk of people and equipments in the work space. The controller designed is the direct adaptive fuzzy control system. The simulation results conducted in Matlab Simulink environment have shown that the control system has reduced the load swing effectively.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cần cầu xoay là một thiết bị được sử dụng rộng rãi trong các công trường xây dựng, các nhà máy và các cảng. Với kích thước của các cần cầu ngày càng lớn và thời gian yêu cầu nâng chuyển ngày càng ngắn lại, việc điều khiển cần xoay trở thành nhiệm vụ khó khăn, đòi hỏi người công nhân vận hành phải có tay nghề cao. Do đó việc nghiên cứu các bộ điều khiển tự động nhằm hỗ trợ cho việc vận hành cần cầu một cách an toàn là cần thiết. Vấn đề về điều khiển cần cầu để chống dao động của vật treo theo phương tịnh tiến đã được đề cập trong một số bài báo [5], [6]. Những thử nghiệm về điều khiển neural, fuzzy thông minh cho cần cầu cũng đã được thực hiện [5], [7].

Mục đích của bài báo này là đề xuất bộ điều khiển cho cần cầu xoay nhằm di chuyển vật treo đến một điểm và sự dao động của vật treo trong quá trình di chuyển được giữ tới mức nhỏ nhất có thể. Để đạt được điều này yêu cầu có hai bộ điều khiển, một là bộ PID để đưa vật treo đến

điểm mong muốn và một là bộ điều khiển mờ thích nghi để hạn chế dao động của vật treo theo cả 2 phương: tịnh tiến và xoay. Bài báo này sử dụng mô hình cần cầu xoay 2 bậc tự do của tác giả Hanafy M. Omar [1] và bộ điều khiển mờ thích nghi trực tiếp của tác giả Li-Xin Wang [4]. Các kết quả mô phỏng cho thấy việc sử dụng bộ điều khiển mờ thích nghi để hạn chế dao động của vật nâng là cần thiết.

2. MÔ HÌNH CẦN CẦU XOAY

Cần cầu xoay là một hệ thống phi tuyến, bao gồm một xe con và một vật nặng treo trên sợi dây mềm. Xe di chuyển dọc theo phương ngang của thanh ray và bản thân thanh ray có thể xoay quay một khớp bản lề. Chiều dài của dây treo được điều khiển một cách độc lập nhờ một động cơ riêng.

Mô hình cần cầu xoay 2 bậc tự do[1]:

$$\ddot{x} + m_t g \phi = \bar{F}_x \quad (1)$$

$$L\ddot{\phi} + g\phi - \ddot{x} + L\ddot{\gamma}\theta = 0 \quad (2)$$

$$(1 + M_r x^2)\ddot{\gamma} - m_r g x \theta = \bar{T}_\gamma \quad (3)$$

$$L\ddot{\theta} + g\theta + \ddot{x}\gamma - L\ddot{\gamma}\phi = 0 \quad (4)$$

Trong đó:

$$m_t = \frac{m}{M}, \quad M_r = \frac{M}{J_o}, \quad m_r = \frac{m}{J_o}, \quad \bar{F}_x = \frac{F_x}{M}, \quad \bar{T}_\gamma = \frac{T_\gamma}{J_o}$$

m: Khối lượng vật treo

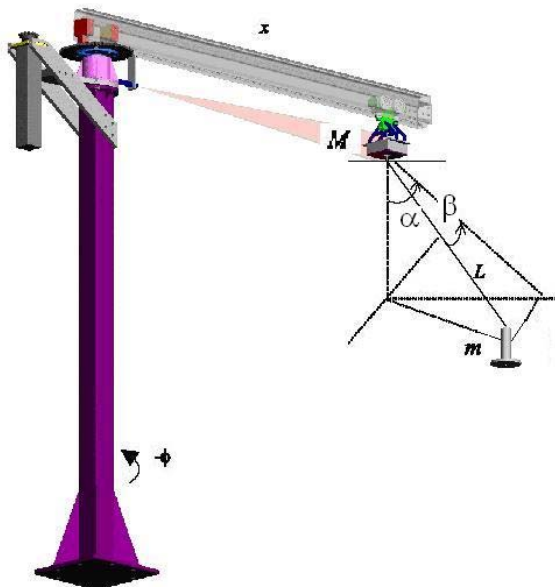
M: Khối lượng xe

x: Chuyển động tịnh tiến

ϕ : Chuyển động xoay

α : Góc lắc theo phương tịnh tiến

β : Góc lắc theo phương tiếp tuyến



Hình 1 Mô hình cân cầu xoay

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

Hai bộ điều khiển được sử dụng cho mỗi bậc tự do: Bộ điều khiển PID để đưa vật đến vị trí mong muốn, bộ điều khiển mờ thích nghi để bám theo tín hiệu điều khiển nhằm hạn chế sự dao động của vật treo do tác động của bộ điều khiển PID gây ra.

Xét một hệ phi tuyến được mô tả bởi phương trình vi phân: [4]

$$\begin{aligned} x^{(n)} &= f(x) + bu \\ y &= x \end{aligned} \quad (5)$$

Trong đó x là vector trạng thái đầu vào:

$$x = [x \quad \dot{x} \quad \dots \quad x^{(n-1)}]^{(n-1)T} \quad (6)$$

u là tín hiệu điều khiển, hàm phi tuyến f(x) được giả thiết là không biết, b là hằng số dương. Bộ điều khiển mờ thích nghi được tổng hợp sao cho hệ thống làm việc ổn định có tín hiệu đầu ra x bám theo một quỹ đạo cho trước.

Gọi tín hiệu mong muốn là:

$$x_d = [x_d \quad \dot{x}_d \quad \dots \quad x_d^{(n-1)}]^{(n-1)T} \quad (7)$$

Vector sai số:

$$\begin{aligned} e &= x - x_d \\ &= [x - x_d \quad \dot{x} - \dot{x}_d \quad \dots \quad x^{(n-1)} - x_d^{(n-1)}]^{(n-1)T} \\ &= [e \quad \dot{e} \quad \dots \quad e^{(n-1)}]^{(n-1)T} \end{aligned} \quad (8)$$

Cần thiết kế bộ điều khiển sao cho x bám theo tín hiệu chuẩn x_d nghĩa là:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0 \quad (9)$$

Bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hoá được đề xuất:

$$u^* = \frac{1}{b}(-f(x) + x_d^{(n)} - ke) \quad (10)$$

Khó khăn ở đây là hàm phi tuyến f(x) không biết. Do đó cần xấp xỉ luật điều khiển trên.

Có thể thực hiện được bằng hai cách:

Cách 1: Điều khiển mờ thích nghi gián tiếp: Dùng mô hình mờ hay mạng neural để xấp xỉ hàm phi tuyến f(x) sử dụng cho tín hiệu điều khiển dựa trên nguyên lý chắc chắn tương đương (certainly equivalent principle).

Cách 2: Điều khiển mờ thích nghi trực tiếp: Dùng mô hình mờ hay mạng neural để xấp xỉ trực tiếp luật điều khiển u.

Trong bài báo này sử dụng bộ điều khiển mờ thích nghi trực tiếp [4].

Hệ qui tắc mờ mô tả u(x) có dạng if then

$$u_D(x|\theta) = \frac{\sum_{l_1=1}^{m_1} \dots \sum_{l_n=1}^{m_n} y_u^{-l_1 \dots l_n} \left[\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^{l_i}}(x_i) \right]}{\sum_{l_1=1}^{m_1} \dots \sum_{l_n=1}^{m_n} \left[\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^{l_i}}(x_i) \right]} \quad (11)$$

Chọn $y_u^{-l_1 \dots l_n}$ là các thông số hiệu chỉnh

được cho vào vector $\theta \in R^{\prod_{i=1}^n m_i}$

và:

$$\xi(x) = \frac{\left[\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^{l_i}}(x_i) \right]}{\sum_{l_1=1}^{m_1} \dots \sum_{l_n=1}^{m_n} \left[\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^{l_i}}(x_i) \right]} \quad (12)$$

suy ra u được viết dưới dạng:

$$u_D(x|\theta) = \theta^T \xi(x) \quad (13)$$

Chọn hàm Lyapunov:

$$V = \frac{1}{2} e^T P e + \frac{b}{2\gamma} (\theta^* - \theta)^T (\theta^* - \theta) \quad (14)$$

Trong đó: P là nghiệm của phương trình Lyapunov $A^T P + P A = -Q$

γ là một hằng số dương.

Chọn luật điều khiển thích nghi theo tiêu

chuẩn Lyapunov $V \cdot \dot{V} < 0$ ta được

$$\dot{\theta} = \gamma e^T p_n \xi(x) \quad (15)$$

Với p_n là cột cuối cùng của ma trận P

*Giải thuật điều khiển:

-*Bước 1:* Với mỗi biến đầu vào $x_1 = \alpha$, $x_2 = \dot{\alpha}$ xác định 6 hàm liên thuộc dạng Gauss.

-*Bước 2:* Xây dựng hệ mờ $u_D(x|\theta)$ từ

$\prod_{i=1}^n m_i$ luật sau:

IF x_1 is $A_1^{l_1}$ and ... and x_n is $A_n^{l_n}$, THEN

u_D is $S^{l_1 \dots l_n}$.

Sử dụng phương pháp suy diễn tích, mờ hoá singleton, giải mờ bằng phương pháp trọng tâm được: (11)

-*Bước 3:* Tính $\xi(x)$ theo (12)

Xác định p_n

Thông số được hiệu chỉnh dựa vào luật thích

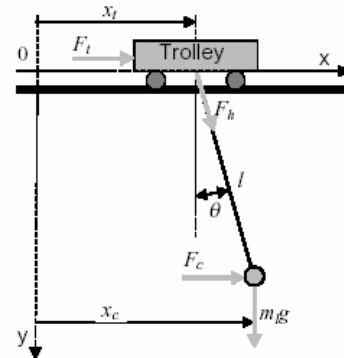
nghi $\dot{\theta} = \gamma e^T p_n \xi(x)$.

-*Bước 4:* Lấy tích $\xi(x)$ và θ được $u_D(x|\theta)$ (13)

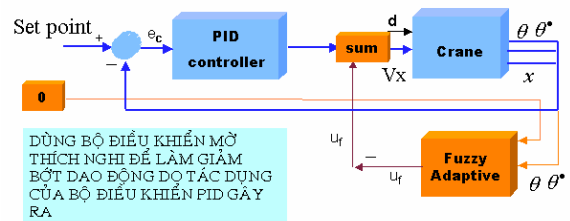
4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Sau đây là kết quả mô phỏng trên Matlab-Simulink 6.5 cho hai chuyển động tịnh tiến và xoay. Khảo sát mỗi chuyển động với hai trường hợp tín hiệu đặt.

4.1 Chuyển động tịnh tiến



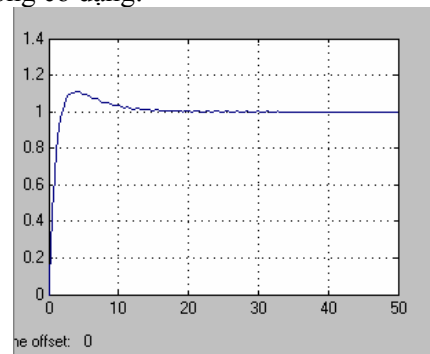
Hình 2 Mô hình xe con chuyển động tịnh tiến.



Hình 3 Sơ đồ điều khiển

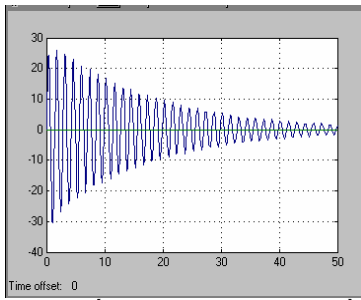
Một số các kết quả mô phỏng:

* Trường hợp 1: Cho xe con chạy tới một khoảng là 1m rồi dừng. Khi đó đáp ứng của hệ thống có dạng:

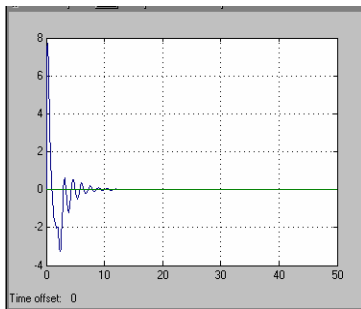


Hình 4 Đáp ứng của hệ thống sử dụng bộ điều khiển PID với giá trị đặt là 1m

Trong trường hợp này góc lắc của vật treo là:



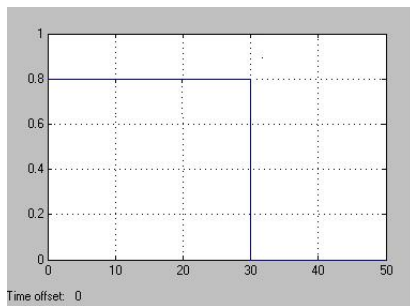
Hình 5a Góc lắc khi không có bộ điều khiển thích nghi.



Hình 5b Góc lắc khi có bộ điều khiển thích nghi.

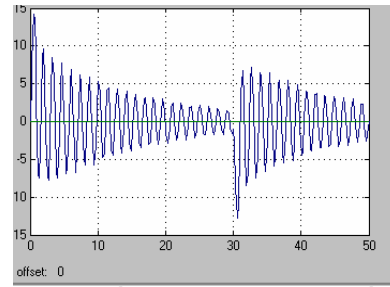
Nhận xét: Sau chu kỳ dao động thứ hai biên độ dao động giảm đi đáng kể và tắt hoàn toàn khi đến đích.

*Trường hợp 2: Để xem khả năng bám của bộ điều khiển nhanh hay chậm, xét tín hiệu điều khiển có dạng:

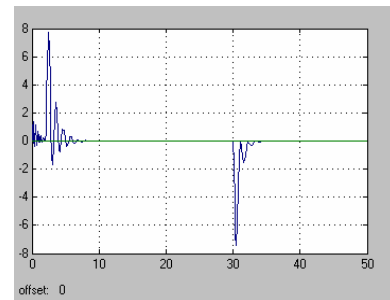


Hình 6 Tín hiệu điều khiển

Trong trường hợp này góc lắc của vật treo sẽ là:



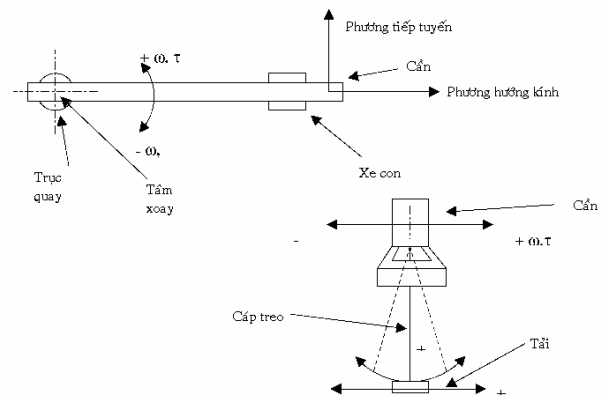
Hình 7a Góc lắc khi không có bộ điều khiển thích nghi



Hình 7b Góc lắc khi có bộ điều khiển thích nghi

Nhận xét: Hình 7a- Biên độ dao động khá lớn: $(+15^{\circ}, -15^{\circ})$. Dưới tác dụng của bộ điều khiển thích nghi (Hình 7b) thì góc lắc giảm đi đáng kể còn khoảng $(-8^{\circ}, +8^{\circ})$.

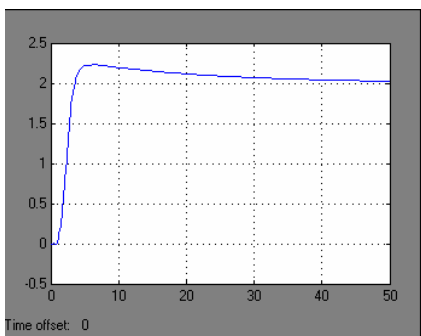
4.2 Chuyển động xoay



Hình 8 Mô hình của chuyển động xoay

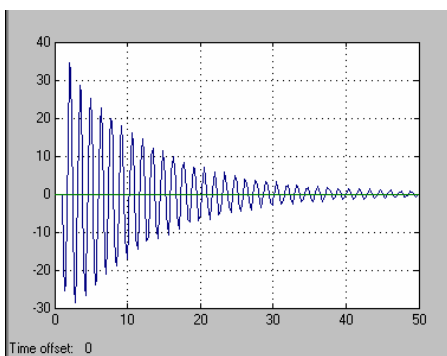
Sơ đồ điều khiển: Sử dụng sơ đồ điều khiển như Hình1. Khảo sát hệ thống trong hai trường hợp của tín hiệu đặt:

*Trường hợp 1: Cho hệ thống quay đi 1 góc là 2 rad rồi dừng. Khi đó đáp ứng của hệ thống có dạng:

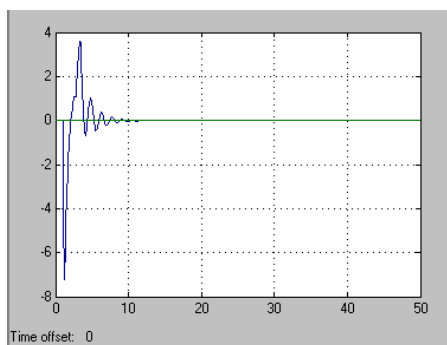


Hình 9 Đáp ứng của hệ thống sử dụng bộ điều khiển PID với giá trị đặt là 2 rad

Dưới đây là kết quả mô phỏng góc lắc của vật treo tương ứng với các trường hợp không có (Hình 10a) hoặc có bộ điều khiển thích nghi (Hình 10b). Biên độ dao động khá lớn: $(-30^{\circ}, +30^{\circ})$. Nhưng với tác dụng của bộ điều khiển thích nghi thì góc lắc sẽ giảm đi đáng kể còn khoảng $(-8^{\circ}, +4^{\circ})$.

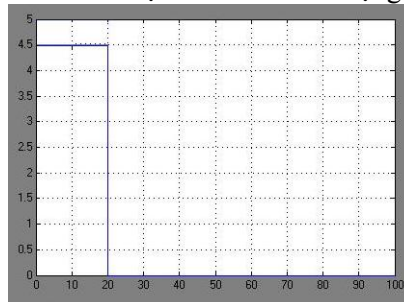


Hình 10a Góc lắc khi không có bộ điều khiển thích nghi



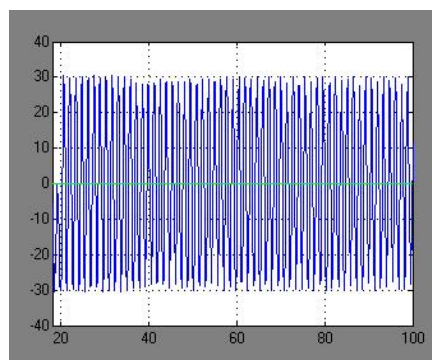
Hình 10b Góc lắc khi có bộ điều khiển thích nghi

*Trường hợp 2: Cho hệ thống quay theo chiều nào đó trong một khoảng thời gian rồi dừng. Khi đó tín hiệu điều khiển có dạng:

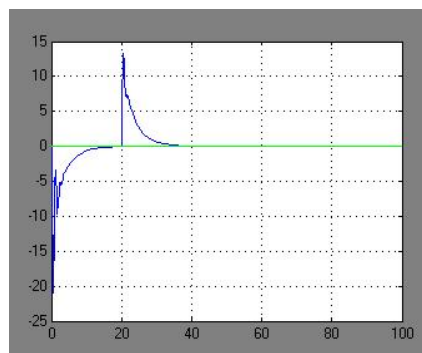


Hình 11 Tín hiệu điều khiển

Vật treo sẽ dao động với góc lắc là:



Hình 12a

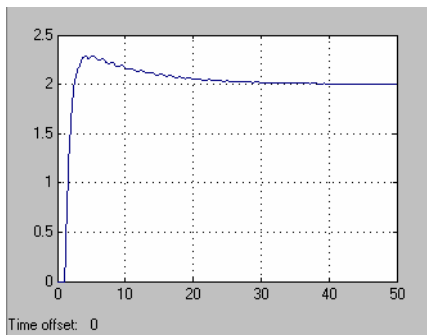


Hình 12b

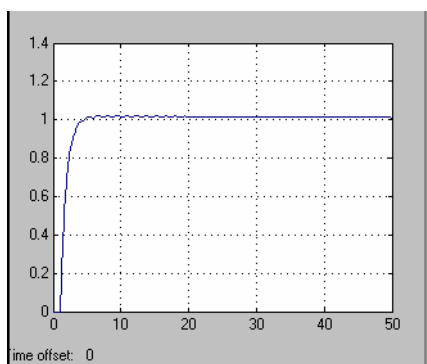
Nhận xét: Biên độ dao động khá lớn $(-30^{\circ}, +30^{\circ})$ và thời gian dao động rất lâu (Hình 12a). Khi đưa bộ điều khiển mờ thích nghi vào thì dao động được dập tắt sau khoảng 40s (Hình 12b). Như vậy trong trường hợp này việc sử dụng bộ điều khiển mờ thích nghi là cần thiết.

4.3 Kết hợp chuyển động theo 2 phương

Hệ thống đồng thời thực hiện cả 2 chuyển động : tịnh tiến theo phương x một đoạn là 1m và quay một góc là 2rad. Đáp ứng của hệ thống như hình vẽ:



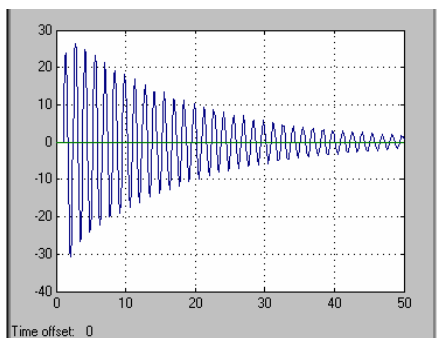
Hình 13a Đáp ứng khi quay thanh ray một góc 2 rad



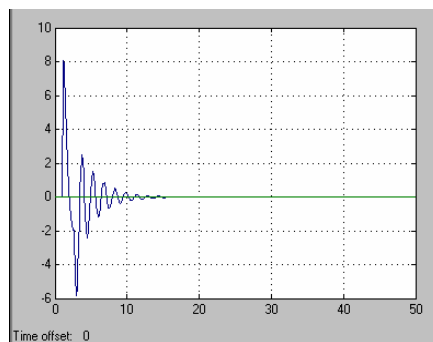
Hình 13b Đáp ứng khi tịnh tiến xe một đoạn là 1m.

Tương ứng với hai phương chuyển động sẽ là các góc lắc của vật treo nằm trong mặt phẳng theo phương tịnh tiến và góc lắc nằm trong mặt phẳng vuông góc với phương tịnh tiến.

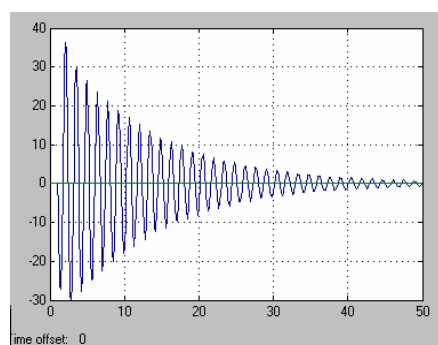
Sau đây là góc lắc nằm trong mặt phẳng theo phương tịnh tiến và phương tiếp tuyến với 2 trường hợp không có và có bộ điều khiển thích nghi:



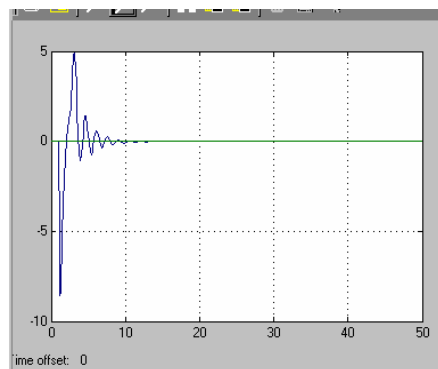
Hình 14a Góc lắc trong phương tịnh tiến khi không có bộ điều khiển thích nghi



Hình 14b Góc lắc trong phương tịnh tiến khi có bộ điều khiển thích nghi



Hình 15a Góc lắc theo phương tiếp tuyến khi không có bộ điều khiển thích nghi



Hình 15b Góc lắc theo phương tiếp tuyến khi có bộ điều khiển thích nghi

Nhận xét: Bộ điều khiển thích nghi đã làm giảm thiểu dao động của vật treo theo cả hai phương và dao động được dập tắt hoàn toàn khi đến đích.

5. Kết luận

Các mô phỏng trên máy tính cho thấy rằng các bộ điều khiển được thiết kế đã đáp ứng được yêu cầu. Bộ điều khiển mờ thích nghi đã bám theo tốt tín hiệu đặt trong hai trường hợp và

hệ thống hoạt động ổn định. Do đó việc sử dụng bộ điều khiển mờ thích nghi để hạn chế dao động của vật nâng là cần thiết. Để có thể đánh giá chính xác hơn, bộ điều khiển mờ thích nghi này cần được kiểm chứng bằng mô hình thực nghiệm của cần cầu xoay. Chương trình điều khiển trên máy tính giao tiếp với đối tượng thông qua card PCI và Matlab Realtime Workshop.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hanafy M. Omar, Control of Gantry and Tower Cranes, Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 2003.
2. Eihab M. Abdel-Rahman, Ali H. Nayfeh, Ziyad N. Masoud, Dynamics And Control Of cranes: A Review, 2001.
3. Yonggon Lee Stanislaw H. ÿ Zak, Uniformly Ultimately Bounded Fuzzyadaptive Tracking Controllers For Uncertain Systems, Purdue University, West Lafayette, 2003.
4. L.-X. Wang, A Course In Fuzzy Systems And Control. Upper Saddle River, NJ 07458: Prentice Hall PTR, 1997.
5. Mafouf M., Kee C.H., Abbod M.F., Fuzzy Logic-based anti-sway control design for OverheadCrane, Neural Computing and Application, 2000.
6. Auernig J.W., Troger H. 1987, Time optimal control of Overhead cranes with Hoisting of the load. Automatica, 1987.
7. Benhidjeb A., Gissinger G.L., Fuzzy control of an Overhead crane performance comparison with classic control, 1995.