

SLIDING MODE CONTROL BASED ON DISTURBANCE OBSERVER AND QUASI-SLIDING MODE FOR TWO_TANK INTERACTING SYSTEM

Pham Thanh Tung^{1*}, Nguyen Chi Ngon²

¹Vinh Long University of Technology Education

²Can Tho University

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 18/12/2021	This article presents a method to design a sliding mode control based on disturbance observer and Quasi-sliding mode (SMC_DO_Q) for two_tank interacting system. In process industries like petroleum refineries, chemical, paper industries, water treatment industries the control of liquid level in a tank system is a major concern. The sliding mode control guarantees the actual liquid level follows the desired level in a finite time. The disturbance observer will estimate the disturbance and uncertainty, and the compensation will be realized in the feedback control. The Quasi-sliding mode is used to overcome the chattering phenomena in the sliding mode control. Simulation results in MATLAB/Simulink show the performance of the proposed controller and are compared with Fuzzy Logic Controller, Fuzzy-PID Controller, Fuzzy-Optimized model reference adaptive control based on the Lyapunov rules and Sliding Mode Control using Conditional Integrators without the overshoot, the rising time achieves 0.3183(s), the settling time is 0.5102(s) and the steady-state error is eliminated.
Revised: 16/02/2022	
Published: 23/02/2022	
KEYWORDS	
Sliding mode control	
Disturbance observer	
Two_tank interacting	
QUASI sliding mode	
MATLAB/Simulink	

ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT DỰA VÀO BỘ QUAN SÁT NHIỄU VÀ CHẾ ĐỘ QUASI HỆ THỐNG BỒN ĐÔI TƯƠNG TÁC

Phạm Thanh Tùng^{1*}, Nguyễn Chí Ngôn²

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

²Trường Đại học Cần Thơ

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 18/12/2021	Bài báo này trình bày phương pháp thiết kế bộ điều khiển trượt dựa vào bộ quan sát nhiễu và chế độ Quasi hệ thống bồn đôi tương tác. Điều khiển mức chất lỏng trong một hệ thống bồn chứa là sự quan tâm lớn trong các ngành công nghiệp chế biến như dầu khí, nhà máy lọc dầu, hóa chất, công nghiệp giấy, các ngành công nghiệp xử lý nước. Bộ điều khiển trượt đảm bảo vị trí mức chất lỏng thực tế bám theo vị trí mong muốn trong thời gian hữu hạn. Bộ quan sát nhiễu sẽ ước lượng nhiễu và thành phần không chắc chắn và phương pháp bù sẽ được thực hiện trong điều khiển hồi tiếp. Chế độ trượt Quasi được sử dụng để khắc phục hiện tượng chattering trong điều khiển trượt. Các kết quả mô phỏng với MATLAB/Simulink cho thấy hiệu quả của bộ điều khiển đề xuất và được so sánh với bộ điều khiển mờ, PID-mờ, điều khiển thích nghi mô hình tham chiếu tối ưu mờ dựa vào các luật Lyapunov và điều khiển trượt sử dụng tích hợp điều kiện với độ vọt lố là 0(%), thời gian tăng đạt 0,3183(s), thời gian xác lập là 0,5102(s) và sai số xác lập bị triệt tiêu.
Ngày hoàn thiện: 16/02/2022	
Ngày đăng: 23/02/2022	
TỪ KHÓA	
Điều khiển trượt	
Bộ quan sát nhiễu	
Chế độ Quasi	
Bồn đôi tương tác	
MATLAB/Simulink	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.5360>

* Corresponding author. Email: tungpt@vlute.edu.vn

1. Giới thiệu

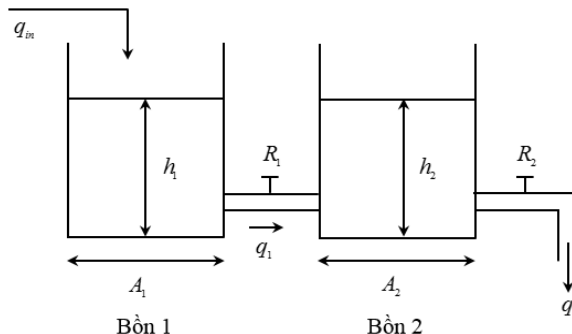
Điều khiển mức chất lỏng trong một hệ thống bồn chứa là sự quan tâm lớn trong các ngành công nghiệp chế biến như dầu khí, nhà máy lọc dầu, hóa chất, công nghiệp giấy, các ngành công nghiệp xử lý nước [1]. Quá trình các ngành công nghiệp này yêu cầu chất lỏng được bơm và lưu trữ trong các bồn chứa, sau đó được bơm sang bồn khác. Hạn chế chính là thuộc tính vật lý tức là chiều cao của bồn để tránh nước tràn và cũng để tránh các mối nguy hiểm trong nhà máy [2]. Mục tiêu của bài báo là quan tâm đến mức chất lỏng trong giới hạn nhất định. Chiều cao mong muốn được hiểu là điểm đặt. Biến ngõ vào là dòng chảy vào bồn chứa còn được gọi là biến được điều khiển.

Trong điều khiển quá trình, điều khiển mức chất lỏng của hệ thống bồn đôi tương tác là rất khó, vì đây là hệ thống không chắc chắn [2]. Do đó, điều khiển mức chất lỏng được quan tâm đặc biệt trong kỹ thuật điều khiển hệ thống. Một vài giải thuật điều khiển đã được sử dụng, tiêu biểu như điều khiển mức chất lỏng sử dụng bộ điều khiển thông minh [1], bộ điều khiển PID-mờ [2], [3], điều khiển thích nghi mờ [4], điều khiển thích nghi mô hình tham chiếu tối ưu mờ dựa vào các luật Lyapunov [5], [6] sử dụng điều khiển trượt tích hợp điều kiện, điều khiển trượt bậc hai [7]. Chất lượng điều khiển mức chất lỏng của các công bố nêu trên đạt hiệu quả tốt, tuy nhiên, nhiều và thành phần không chắc chắn lại chưa được quan tâm, xem xét. Do đó, nghiên cứu này đề xuất sử dụng bộ điều khiển trượt dựa vào bộ quan sát nhiễu và chế độ Quasi áp dụng cho hệ thống. Bộ điều khiển trượt đảm bảo vị trí mức chất lỏng thực tế bám theo vị trí mong muốn trong thời gian hữu hạn. Bộ quan sát nhiễu sẽ ước lượng nhiễu và thành phần không chắc chắn và phương pháp bù sẽ được thực hiện trong điều khiển hồi tiếp. Chế độ trượt Quasi được sử dụng để khắc phục hiện tượng chattering trong điều khiển trượt. Đây là hiện tượng có thể gây hư hỏng các thành phần của hệ thống như cơ cấu chấp hành.

Bài báo được tổ chức gồm 5 phần: mô hình toán học của hệ thống được trình bày trong phần 2, phần 3 trình bày phương pháp thiết kế bộ điều khiển trượt dựa vào bộ quan sát nhiễu và chế độ Quasi, kết quả mô phỏng và đánh giá được trình bày trong phần 4 và phần 5 là kết luận.

2. Mô hình toán học của hệ thống bồn đôi tương tác

Mô hình hệ thống bồn đôi tương tác được trình bày như Hình 1 [1], [8]. Trong Hình 1, cấu trúc liên kết là sự bố trí nối tiếp 2 bồn chứa chất lỏng. Đầu tiên, chất lỏng chảy vào bồn 1, sau đó qua bồn 2. Ngõ ra của mỗi bồn có lực cản dòng chảy do các van chi phối [1]. Chiều cao của mức chất lỏng là h_1 (cm) trong bồn 1 và h_2 (cm) trong bồn 2. Lưu lượng thể tích vào bồn 1 là q_{in} (cm^3/min), tốc độ thể tích dòng chảy từ bồn 1 là q_1 (cm^3/min) và tốc độ thể tích dòng chảy từ bồn 2 là q_0 (cm^3/min). Diện tích của bồn 1 là A_1 (cm^2) và bồn 2 là A_2 (cm^2). R_1 và R_2 là lực cản dòng chảy của chất lỏng (s/m^2) ra khỏi bồn 1 và bồn 2.



Hình 1. Mô hình hệ thống bồn đôi tương tác [1], [8]

Hàm truyền đạt của hệ thống bồn đôi tương tác như (1) [1], [8]:

$$G = \frac{h_2}{q_{in}} = \frac{R_2}{T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2 + A_1 R_2) s + 1} \quad (1)$$

Với hằng số thời gian của bồn 1 là $T_1 = A_1 R_1$ và hằng số thời gian của bồn 2 là $T_2 = A_2 R_2$

Từ (1) ta có (2):

$$\ddot{h}_2 = -a\dot{h}_2 - bh_2 + cq_{in} - d \quad (2)$$

$$\text{Trong đó: } a = \frac{T_1 + T_2 + A_1 R_2}{T_1 T_2}; b = \frac{1}{T_1 T_2}; c = \frac{R_2}{T_1 T_2}$$

Với h_2 là vị trí mức chất lỏng của bồn 2 – ngõ ra, d bao hàm nhiều ngoài và các yếu tố bất định khác. Mục tiêu trong nghiên cứu này là điều khiển ổn định mức chất lỏng trong bồn 2.

3. Thiết kế bộ điều khiển trượt dựa vào bộ quan sát nhiễu và chế độ Quasi

3.1. Thiết kế và phân tích bộ quan sát nhiễu

Bộ quan sát nhiễu được đề xuất bởi Atsuo và cộng sự như (3) và (4) [9]:

$$\dot{\hat{d}} = k_1 (\hat{\omega} - \dot{h}_2) \quad (3)$$

$$\dot{\hat{\omega}} = -\hat{d} + cq_{in} - k_2 (\hat{\omega} - \dot{h}_2) - a\dot{h}_2 - bh_2 \quad (4)$$

Trong đó: $\hat{d}$ là ước lượng của d và $\hat{\omega}$ là ước lượng của $\dot{h}_2$, $k_1 > 0, k_2 > 0$

Hàm Lyapunov được định nghĩa như (5):

$$V_1 = \frac{1}{2k_1} \tilde{d}^2 + \frac{1}{2} \tilde{\omega}^2 \quad (5)$$

Với $\tilde{d} = d - \hat{d}, \tilde{\omega} = \dot{h}_2 - \hat{\omega}$

Đạo hàm của (5) ta có (6):

$$\dot{V}_1 = \frac{1}{k_1} \tilde{d} \dot{\tilde{d}} + \tilde{\omega} \dot{\tilde{\omega}} = \frac{1}{k_1} \tilde{d} (\dot{d} - \dot{\hat{d}}) + \tilde{\omega} (\ddot{h}_2 - \dot{\hat{\omega}}) \quad (6)$$

Từ (3) và (4), ta có (7):

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 &= \frac{1}{k_1} \tilde{d} \dot{\tilde{d}} - \frac{1}{k_1} \tilde{d} \dot{\hat{d}} + \tilde{\omega} \left(\ddot{h}_2 - (-\hat{d} + cq_{in} - k_2 (\hat{\omega} - \dot{h}_2) - a\dot{h}_2 - bh_2) \right) \\ &= \frac{1}{k_1} \tilde{d} \dot{\tilde{d}} - \frac{1}{k_1} \tilde{d} k_1 (\hat{\omega} - \dot{h}_2) + \tilde{\omega} (-a\dot{h}_2 - bh_2 + cq_{in} - d - (-\hat{d} + cq_{in} - k_2 (\hat{\omega} - \dot{h}_2) - a\dot{h}_2 - bh_2)) \\ &= \frac{1}{k_1} \tilde{d} \dot{\tilde{d}} - \tilde{d} (\hat{\omega} - \dot{h}_2) + \tilde{\omega} (-d + \hat{d} + k_2 (\hat{\omega} - \dot{h}_2)) \\ &= \frac{1}{k_1} \tilde{d} \dot{\tilde{d}} + \tilde{d} \tilde{\omega} + \tilde{\omega} (-\tilde{d} - k_2 \tilde{\omega}) = \frac{1}{k_1} \tilde{d} \dot{\tilde{d}} - k_2 \tilde{\omega}^2 \leq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Giả sử nhiễu d là tín hiệu thay đổi chậm và d bị giới hạn. Khi k_1 có giá trị tương đối lớn, ta được $\frac{1}{k_1} \dot{\tilde{d}} \approx 0$. Tại cùng thời gian, k_2 cũng có giá trị tương đối lớn, ta có (8):

$$\dot{V}_1 = \frac{1}{k_1} \tilde{d} \dot{\tilde{d}} - k_2 \tilde{\omega}^2 \leq 0 \quad (8)$$

Nhiều d được ước lượng bằng bộ quan sát nhiễu được thiết kế và phương pháp bù sẽ được thực hiện trong điều khiển hồi tiếp.

3.2. Thiết kế bộ điều khiển trượt

Mặt trượt được thiết kế như (9) [10]:

$$s = \dot{e} + ce \quad (9)$$

Với $e = h_{2d} - h_2$, $c > 0$

Đạo hàm của mặt trượt như (10):

$$\dot{s} = \ddot{e} + c\dot{e} = \ddot{h}_{2d} - \ddot{h}_2 + c\dot{e} = \ddot{h}_{2d} + a\dot{h}_2 + bh_2 - cq_{in} + d + c\dot{e} \quad (10)$$

Luật tiếp cận tốc độ hằng như (11):

$$\dot{s} = -\eta \text{sign}(s) \quad (11)$$

Bộ điều khiển trượt dựa vào bộ quan sát nhiễu như (12):

$$q_{in} = \frac{1}{c} [\ddot{h}_{2d} + a\dot{h}_2 + bh_2 + \hat{d} + c\dot{e} + \eta \text{sign}(s)] \quad (12)$$

Hàm Lyapunov được định nghĩa như (13):

$$V_2 = \frac{1}{2} s^2 \quad (13)$$

Đạo hàm của (13) như (14):

$$\dot{V}_2 = s\dot{s} = s[\ddot{h}_{2d} + a\dot{h}_2 + bh_2 - cq_{in} + d + c\dot{e}] = s[d - \hat{d} - \eta \text{sign}(s)] = \tilde{d}s - \eta|s| \leq 0 \quad (14)$$

Với $\tilde{d} = d - \hat{d}$, $\eta \geq |\tilde{d}|$

Hàm Lyapunov của toàn bộ hệ thống được mô tả như (15):

$$V = V_1 + V_2 = \frac{1}{2k_1} \tilde{d}^2 + \frac{1}{2} \tilde{\omega}^2 + \frac{1}{2} s^2 \quad (15)$$

Từ (8) và (14), ta có: $\dot{V} \leq 0$

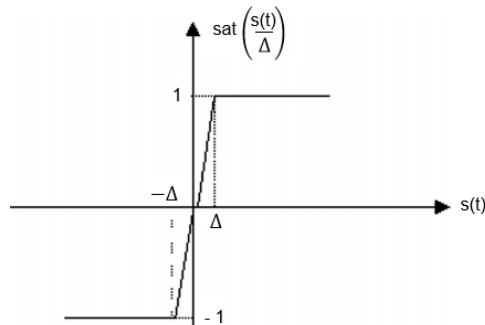
3.3. Bộ điều khiển trượt dựa vào bộ quan sát nhiễu và chế độ Quasi

Trong các hệ thống kỹ thuật, hiện tượng chattering có thể gây hư hỏng các thành phần của hệ thống như cơ cấu chấp hành [10]. Để hạn chế hiện tượng này, chế độ trượt Quasi được đề cập và sử dụng. Trong chế độ trượt Quasi, hàm bão hòa $\text{sat}(s)$ và hàm relay được sử dụng thay vì hàm $\text{sign}(s)$ trong (12).

Hàm bão hòa như (16) và tín hiệu như Hình 2 [10]:

$$\text{sat}(s) = \begin{cases} 1 & s > \Delta \\ ks & |s| \leq \Delta, k = \frac{1}{\Delta} \\ -1 & s < -\Delta \end{cases} \quad (16)$$

Trong đó: Δ là lớp biên



Hình 2. Tín hiệu hàm bão hòa

Bản chất của hàm bão hòa là: ngoài lớp biên, điều khiển chuyển mạch được lựa chọn, trong lớp biên, điều khiển hồi tiếp thông thường được thông qua. Vì vậy, hiện tượng chattering được hạn chế một cách triệt để.

Hàm relay như (17) [10]:

$$\theta(s) = \frac{s}{|s| + \varepsilon} \quad (17)$$

Trong đó: ε là hằng số dương rất nhỏ

Lúc này, bộ điều khiển trượt dựa vào bộ quan sát nhiễu và chế độ Quasi hệ thống bồn đôi tương tác như sau:

Với hàm bão hòa như (18):

$$q_{in} = \frac{1}{c} \left[\ddot{h}_{2d} + a\dot{h}_2 + bh_2 + \hat{d} + c\dot{e} + \eta \text{sat}(s) \right] \quad (18)$$

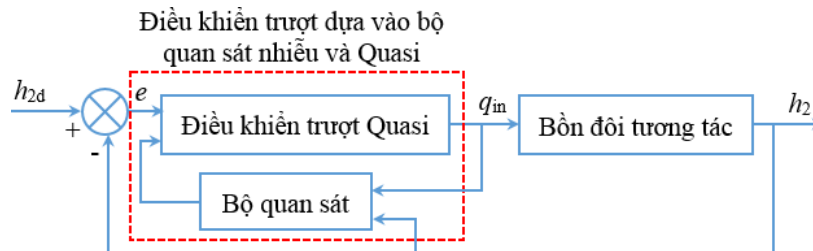
Với hàm relay như (19):

$$q_{in} = \frac{1}{c} \left[\ddot{h}_{2d} + a\dot{h}_2 + bh_2 + \hat{d} + c\dot{e} + \eta \frac{s}{|s| + \varepsilon} \right] \quad (19)$$

Bộ điều khiển trượt dựa vào bộ quan sát nhiễu và chế độ Quasi như (18) và (19) đảm bảo mức chất lỏng thực tế của hệ thống bồn đôi tương tác hội tụ về mức chất lỏng mong muốn trong thời gian hữu hạn, bền vững với nhiễu và thành phần không chắc chắn, hạn chế hiện tượng chattering xảy ra trong điều khiển trượt.

4. Kết quả mô phỏng và đánh giá

Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển trượt dựa vào bộ quan sát nhiễu và chế độ Quasi được trình bày như Hình 3:



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển trượt dựa vào bộ quan sát nhiễu và chế độ Quasi

Các thông số của hệ thống được trình bày như Bảng 1 [8] và Bảng 2 trình bày các thông số của bộ điều khiển đề xuất. Các thông số này được lựa chọn dựa vào phương pháp thử và sai trong quá trình mô phỏng kết hợp với quan sát đáp ứng của hệ thống để lựa chọn các giá trị phù hợp.

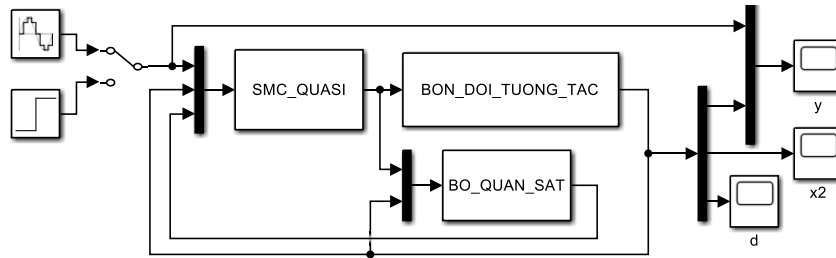
Bảng 1. Các thông số của hệ thống bồn đôi tương tác [8]

Thông số	A_1	A_2	R_1	R_2
Giá trị	0,0145	0,0145	1478,57	642,86
Đơn vị	m^2	m^2	sec/m^2	sec/m^2

Bảng 2. Các thông số của bộ điều khiển đề xuất

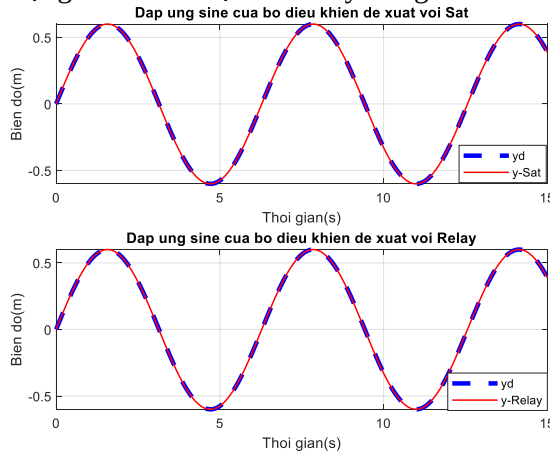
Thông số	Ý nghĩa	Giá trị
k_1	Hệ số ước lượng của d	5000
k_2	Hệ số ước lượng của $\dot{h}_2$	5
c	Hệ số của mặt trượt	50
η	Hệ số của luật tiếp cận tốc độ hằng	50
δ	Hệ số lớp biên	0,1
ε	Hằng số dương của hàm relay	0,5

Sơ đồ mô phỏng MATLAB/Simulink bộ điều khiển đề xuất cho hệ thống bồn đôi tương tác với $d = 100\sin(0,5t)$ được trình bày như Hình 4.

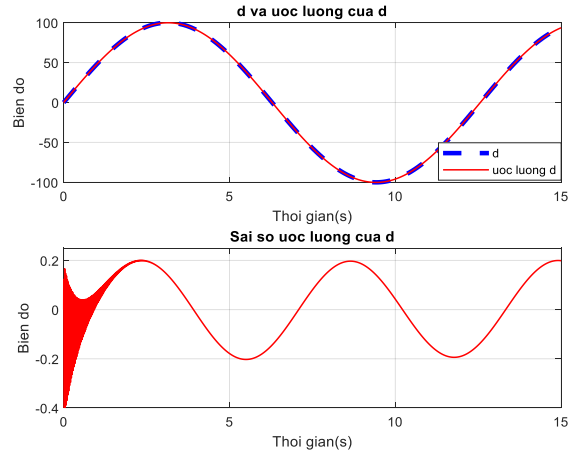


Hình 4. Sơ đồ MATLAB/Simulink bộ điều khiển đề xuất

Đáp ứng sine của bộ điều khiển trượt dựa vào bộ quan sát nhiễu và chế độ Quasi (hàm bão hòa và hàm relay) được trình bày như Hình 5. Qua đáp ứng ở Hình 5, vị trí mức chất lỏng thực tế h_2 bám theo mức chất lỏng mong muốn ($h_{2d} = 0,6(m)$) trong thời gian hữu hạn với sai số bám hội tụ về 0. Điều này cho thấy, hiệu quả của bộ điều khiển đề xuất trong điều khiển bám hệ thống bồn đôi tương tác. Đồng thời, bộ quan sát nhiễu cũng khẳng định vai trò ước lượng trong ước lượng nhiễu và thành phần không chắc chắn d với hiệu quả xấp xỉ đạt 99,98(%). Kết quả ước lượng và sai số được trình bày trong Hình 6.

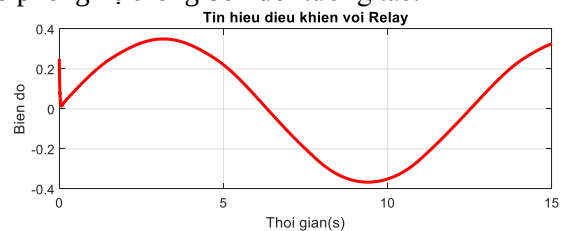
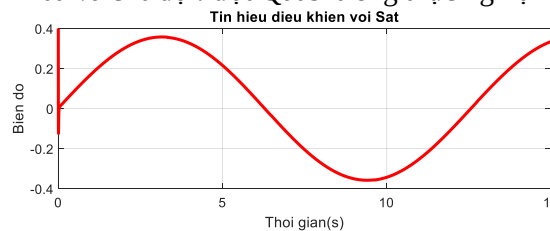


Hình 5. Đáp ứng sine của bộ SMC_DO_Q



Hình 6. Kết quả và sai số ước lượng d

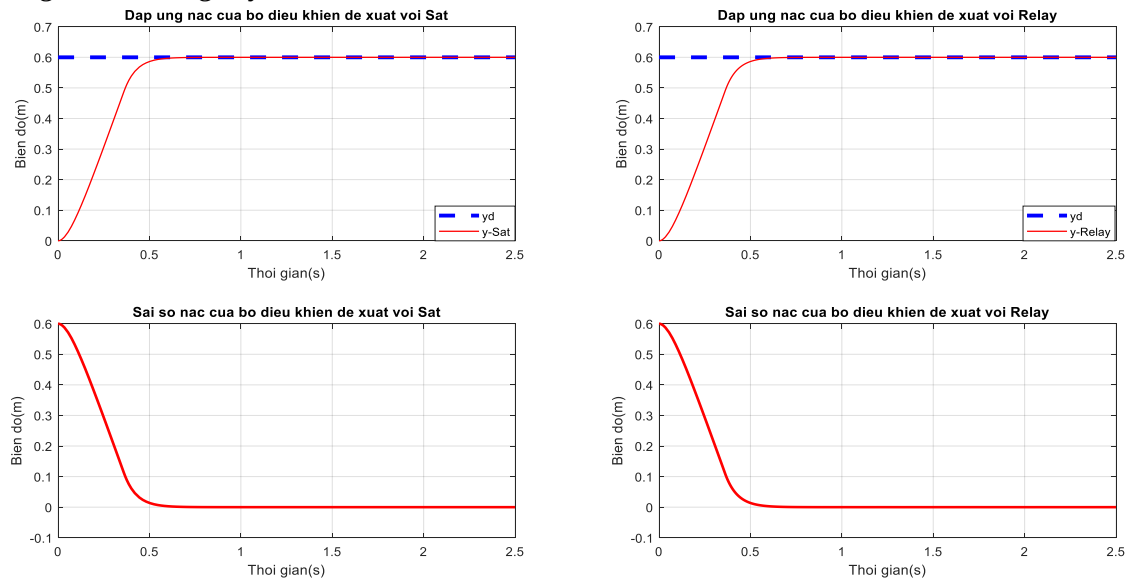
Hình 7 trình bày tín hiệu điều khiển của bộ điều khiển đề xuất. Quan sát Hình 7 ta thấy rằng, bộ điều khiển SMC_DO_Q đã khắc phục tốt hiện tượng chattering quanh mặt trượt của tín hiệu điều khiển. Điều này chứng tỏ hiệu quả của sự kết hợp giữa điều khiển trượt dựa vào bộ quan sát nhiễu và chế độ trượt Quasi trong thực nghiệm mô phỏng hệ thống bồn đôi tương tác.



Hình 7. Tín hiệu điều khiển của bộ SMC_DO_Q

Đáp ứng nấc và sai số của bộ SMC_DO_Q được trình bày như Hình 8. Mức chất lỏng thực tế vẫn hội tụ về mức chất lỏng tham chiếu trong thời gian hữu hạn với thời gian tăng đạt 0,3183(s), thời gian xác lập là 0,5102(s), không có độ vọt lố và sai số xác lập tiến về 0. Các chỉ tiêu này của bộ điều khiển đề xuất được trình bày ở Bảng 3 và được so sánh với bộ điều khiển mờ [1], PID-mờ [2], điều khiển thích nghi mô hình tham chiếu tối ưu mờ dựa vào các luật Lyapunov [5] và điều khiển trượt sử dụng tích hợp điều kiện [6]. Qua các chỉ tiêu ở Bảng 3, ta thấy rằng các chỉ

tiêu đạt được của bộ SMC_DO_Q tốt hơn các chỉ tiêu của các công bố [1], [2], [5] và [6] khi áp dụng cho hệ thống này.

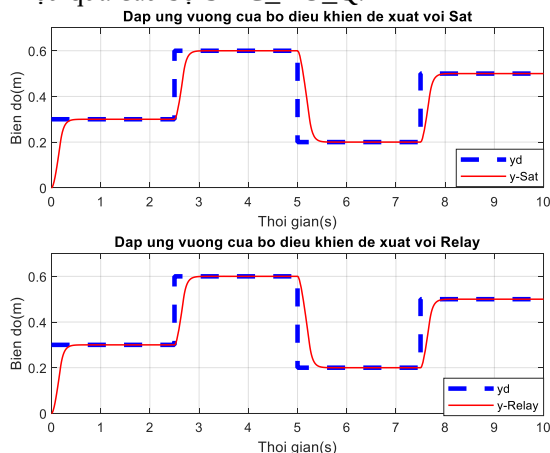


Hình 8. Đáp ứng nấc và sai số của bộ SMC_DO_Q

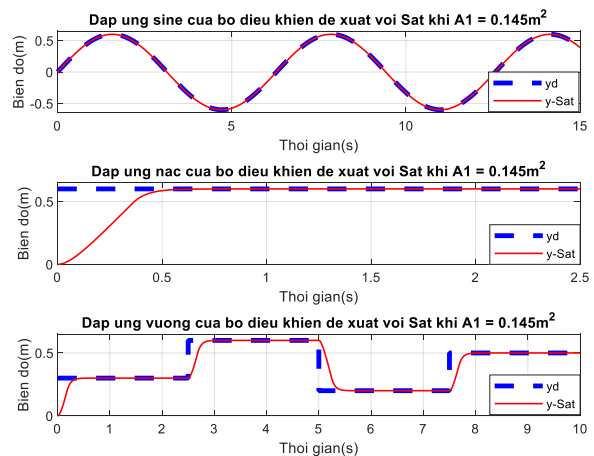
Bảng 3. Các chỉ tiêu của bộ SMC_DO_Q

Các chỉ tiêu chất lượng	SMC_DO_Q	Điều khiển thích nghi mô hình tham chiếu tối ưu mờ dựa vào các luật Lyapunov [5]	PID-mờ [2]	Điều khiển mờ [1]	Điều khiển trượt sử dụng tích hợp điều kiện [6]
Thời gian xác lập (s)	0,5102	5,8708	4,2	30	330
Thời gian tăng (s)	0,3183	3,0678	1,3	-	87,184
Sai số xác lập (m)	0	-8,1561e-6	0	-	-
Độ vọt lố (%)	0	0	20,2	4	0,6

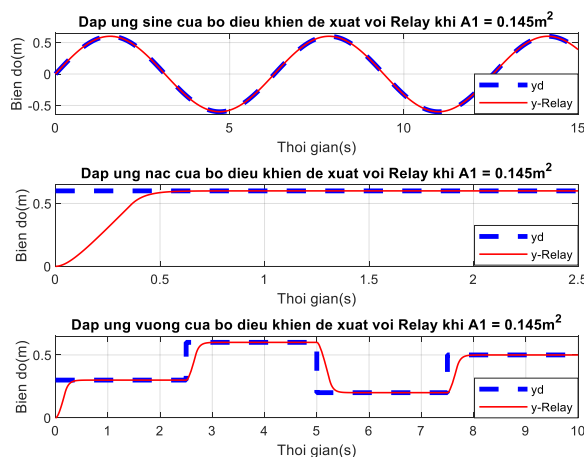
Hình 9 trình bày đáp ứng xung vuông của bộ điều khiển đề xuất. Đáp ứng thực tế của hệ thống vẫn hội tụ về tín hiệu đặt trước trong thời gian hữu hạn với sai số tiến về 0 khi mức chất lỏng mong muốn thay đổi tại các thời điểm 2,5(s), 5(s) và 7,5(s). Điều này càng khẳng định thêm sự hiệu quả của bộ SMC_DO_Q.



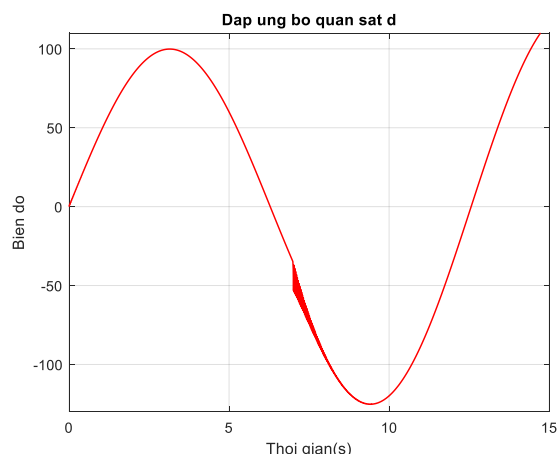
Hình 9. Đáp ứng xung vuông của bộ điều khiển đề xuất



Hình 10. Đáp ứng sine, nấc và xung vuông của bộ SMC_DO_Q khi $A_1 = 0,145(m^2)$ với hàm bão hòa

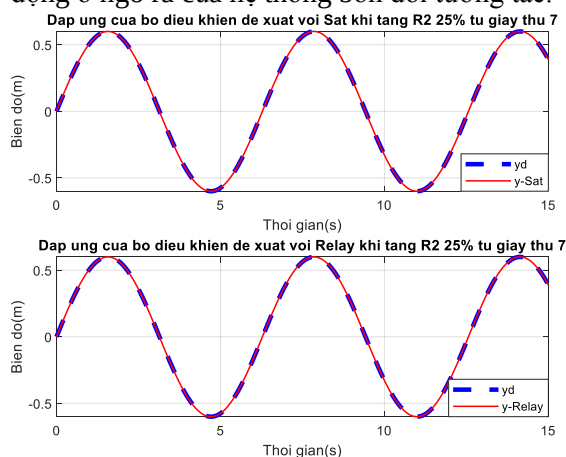


Hình 11. Đáp ứng sine, nấc và xung vuông của bộ SMC_DO_Q khi $A_1 = 0,145(m^2)$ với hàm relay

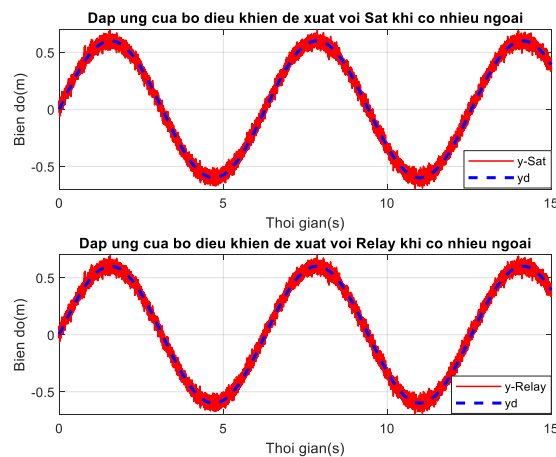


Hình 12. Đáp ứng bộ quan sát khi tăng giá trị R_2 lên 25% tại $t = 7 \div 15(s)$

Các đáp ứng sine, hàm nấc và xung vuông của bộ SMC_DO_Q khi A_1 tăng từ $A_1 = 0,0145(m^2)$ lên $A_1 = 0,145(m^2)$ với hàm bão hòa như Hình 10 và hàm relay như Hình 11. Với những ngõ vào khác nhau, đáp ứng thực tế của hệ thống vẫn bám theo mức chất lỏng mong muốn. Hình 12 trình bày đáp ứng của bộ quan sát khi tăng giá trị của lực cản dòng chảy (R_2) lên 25% tại $t = 7 \div 15(s)$ của thời gian mô phỏng. Lúc này, đáp ứng của bộ quan sát sẽ thay đổi, tuy nhiên đáp ứng của bộ điều khiển đề xuất vẫn đảm bảo với sai số hội tụ về 0 và được trình bày như Hình 13. Hình 14 trình bày đáp ứng của bộ điều khiển đề xuất khi giả lập nhiễu cảm biến tác động ở ngõ ra của hệ thống bồn đôi tương tác.



Hình 13. Đáp ứng của bộ SMC_DO_Q khi tăng giá trị R_2 lên 25% tại $t = 7 \div 15(s)$



Hình 14. Đáp ứng của bộ SMC_DO_Q khi giả lập nhiễu cảm biến

Từ hình 13 và 14 cho thấy, đáp ứng thực tế của hệ thống vẫn hội tụ về mức chất lỏng mong muốn ngay cả khi giá trị của lực cản dòng chảy thay đổi và có nhiễu ngoài. Điều này chứng tỏ tính bền vững của bộ điều khiển đề xuất với hệ thống.

5. Kết luận

Bài báo đã thiết kế bộ điều khiển trượt dựa vào bộ quan sát nhiễu và chế độ Quasi áp dụng điều khiển bám mức chất lỏng cho hệ thống bồn đôi tương tác. Bộ điều khiển trượt đã đảm bảo

mức chất lỏng thực tế hội tụ về mức chất lỏng tham chiếu, bộ quan sát nhiễu đã xấp xỉ nhiễu và thành phần không chắc chắn đạt hiệu quả 99,98(%), chế độ Quasi với hàm bão hòa và hàm relay đã khắc phục hiệu quả hiện tượng chattering quanh mặt trượt. Các kết quả mô phỏng đạt được với MATLAB/Simulink cho thấy hiệu quả, sự phù hợp và tính bền vững của bộ điều khiển đề xuất ngay cả khi diện tích của bồn 1, giá trị của lực cản dòng chảy thay đổi và nhiễu ngoài tác động. Các chỉ tiêu chất lượng đạt được của bộ điều khiển đề xuất tốt hơn bộ điều khiển mờ, PID-mờ, điều khiển thích nghi mô hình tham chiếu tối ưu mờ dựa vào các luật Lyapunov và điều khiển trượt sử dụng tích hợp điều kiện. Trong thời gian tới, nghiên cứu sẽ ứng dụng các công cụ tính toán mềm để cải tiến hiệu suất và thực nghiệm trên mô hình thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] S. Gomathy and M. P. Maheswari, "Level control for interacting tank system using intelligent controller," *International Journal of Current Engineering and Scientific Research (IJCESR)*, vol. 6, no. 6, pp. 71-75, 2019.
- [2] K. Pravallika and G. V. Krishna, "Fuzzy-PID controller for coupled two tank interacting system," *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, vol. 10, no. 3, pp. 8817-8830, 2020.
- [3] T. L. Mien, "Liquid Level Control of Coupled-Tank System Using Fuzzy-PID Controller," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 6, no. 11, pp. 459-464, 2017.
- [4] M. E. Echsony, N. Wahyudi, and N. A. Hidayatullah, "Setting liquid level coupled tank using fuzzy adaptive control," *Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science*, vol. 1, no. 1, pp. 37-41, 2018.
- [5] D. D. Dinakin and P. O. Oluseyi, "Fuzzy-Optimized model reference adaptive control of interacting and noninteracting processes based on MIT and Lyapunov rules," *Turkish Journal of Engineering*, vol. 5, no. 4, pp. 141-153, 2021.
- [6] S. B. Prusty, S. Seshagiri, U. C. Pati, and K. K. Mahapatra, "Sliding mode control of coupled tank systems using conditional integrators," *Journal of Automatica Sinica*, vol. 7, no. 1, pp. 118-125, 2020.
- [7] B. A. Reddy and P. V. Krishna, "Comparison of Second Order Sliding Mode Control Strategies for Coupled Tank System," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 8, no. 6S3, pp. 344-349, 2019.
- [8] M. Changela and A. Kumar, "Designing a Controller for Two Tank Interacting System," *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 4, no. 5, pp. 589-593, 2015.
- [9] J. Liu and X. Wang, *Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems*, Springer, 2011.
- [10] J. Liu, *Sliding mode control using MATLAB*, Published by Elsevier Inc, 2017.