

ÁP DỤNG GIẢI THUẬT MỜ ĐIỀU KHIỂN HỆ PHI TUYẾN-HỆ BỒN QUADRUPLE

Nguyễn Hoàng Dũng¹

ABSTRACT

PI (Proportional Integral) controller is able to control a linear plant with good quality performance (fast transitional response and zero equal setting error). Therefore the controller has commonly used in industrial processes. PI controller is suitable for linear plants. With nonlinear plants, the classical controller can not insure the control quality at all equal state points. As a result, the paper presents method of using fuzzy PI controller for MIMO (Multi-input multi-output) nonlinear system and applying the way for controlling quadruple tank system. Fuzzy PI controller is built by using Mamdani fuzzy model and classical PI controller. The practical results were tested with simulink of Matlab. Basing on the result, fuzzy PI indefectibly controls the nonlinear system.

Keyword: *fuzzy logic, fuzzy control, nonlinear system control, system modeling, PI, PD, PID, quadruple tank*

Title: *A method of applying fuzzy algorithm for controlling nonlinear system-quadruple tank model*

TÓM TẮT

Bộ điều khiển PI có khả năng điều khiển hệ thống với chỉ tiêu chất lượng tốt (đáp ứng quá độ nhanh và triệt tiêu được sai số xác lập). Do đó bộ điều khiển này được sử dụng rất phổ biến trong các quá trình công nghiệp. Bộ điều khiển PI thường áp dụng tốt đối với những đối tượng tuyến tính. Đối với các đối tượng là phi tuyến, bộ điều khiển kinh điển này không thể đảm bảo được chất lượng điều khiển tại mọi điểm làm việc. Do đó, bài báo đề cập đến giải pháp PI mờ cho hệ phi tuyến MIMO và áp dụng phương pháp này để điều khiển hệ bồn quadruple. Sử dụng mô hình mờ Mamdani kết hợp với bộ điều khiển PI kinh điển để tạo ra bộ điều khiển mờ PI. Kết quả thí nghiệm được kiểm chứng bằng phần mềm mô phỏng Matlab. Thực nghiệm cho thấy bộ điều khiển PI mờ có thể điều khiển tốt đối tượng phi tuyến hệ MIMO.

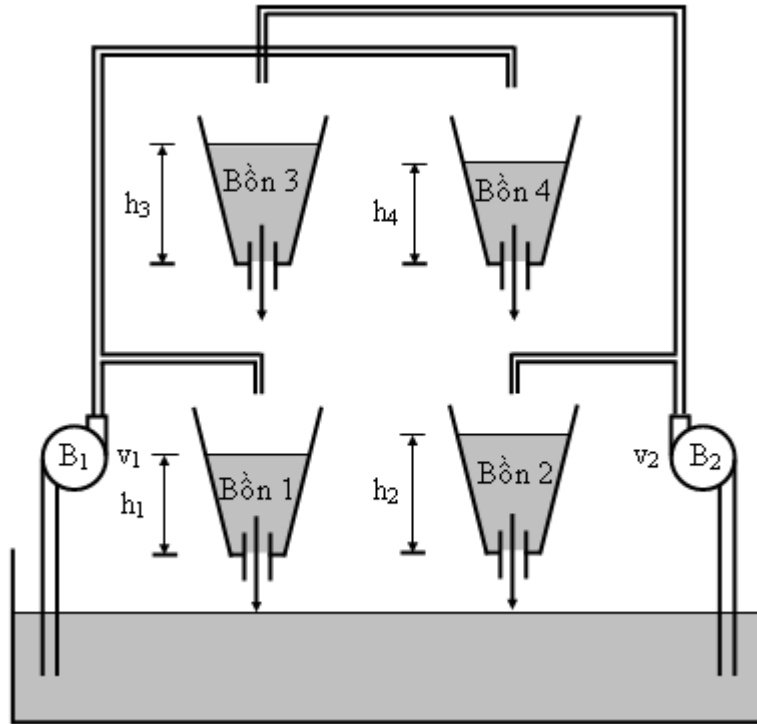
Từ khóa: *logic mờ, điều khiển mờ, điều khiển hệ phi tuyến, mô hình hóa hệ thống, PI, PD, PID, quadruple tank*

1 GIỚI THIỆU

Hệ bồn chứa liên kết (quadruple tank) được mô tả trong Hình 1. Mục đích là điều khiển mực chất lỏng trong bồn 1 (h_1) và bồn 2 (h_2) theo giá trị đặt trước. Bằng cách áp điện thế vào 2 bơm (B_1 và B_2) để điều khiển lưu lượng chất lỏng trong hai bồn nói trên. Mức điện thế này chính là hai tín hiệu ngõ vào điều khiển bơm (mức điện thế v_1 và v_2) và hai ngõ ra là mực chất lỏng trong bồn 1 và bồn 2. Máy bơm 1 (B_1) sẽ bơm chất lỏng lên bồn 1 và bồn 4, máy bơm 2 sẽ bơm lên bồn 2 và bồn 3. Các bơm phải được điều chỉnh để tránh trường hợp các bồn bị tràn. Tóm lại, hệ bồn chứa liên kết là hệ MIMO với những ràng buộc điều khiển biết trước.

¹ Bộ Môn Viễn Thông và Kỹ Thuật Điều Khiển, Khoa Công Nghệ Thông Tin và Truyền Thông, Đại Học Cần Thơ

(Arjin Numsomran *et al.*, 2000) và (Karl Henrik Johansson *et al.*, 2000) đã điều khiển hệ bồn bằng cách sử dụng bộ điều khiển PI. Và (J. Felder *et al.*, 2006) đưa ra phương pháp LQR (Linear Quadratic Regulator) để giải quyết bài toán này. Đối với các đối tượng là hệ đa biến phi tuyến, các bộ điều khiển cổ điển không đáp ứng được chỉ tiêu chất lượng. Do đó (Nguyễn Thúc Loan *et al.*, 2002) đã dùng mô hình mờ Mamdani kết hợp với điều khiển dự báo dựa vào mô hình MPC (Model Predictive Control) để điều khiển hệ phi tuyến. Bài báo này áp dụng mô hình mờ Mamdani (dùng phương pháp suy diễn Max-Min và giải mờ trọng tâm) kết hợp với bộ điều khiển PI cổ điển để tạo ra bộ điều khiển PI mờ.



Hình 1: Hệ bồn liên thông Quadruple

2 ĐẶC TÍNH ĐỘNG HỌC CỦA HỆ BỒN QUADRUPLE

(Huỳnh Thái Hoàng, 2006), (Effendi Rusli *et al.*, 2002), (J. Felder *et al.*, 2006), (Arjin Numsomran *et al.*, 2000), và (Amit Pandey, 2004) đã đưa ra phương trình động học của hệ bồn quadruple. Và phương trình động học của hệ bồn được biểu diễn dưới dạng phương trình trạng thái:

$$\begin{aligned}
 \dot{h}_1 &= -\frac{c_1 a_1}{A_1} \sqrt{2gh_1} + \frac{c_3 a_3}{A_1} \sqrt{2gh_3} + \frac{\alpha_1 k_1}{A_1} v_1 \\
 \dot{h}_2 &= -\frac{c_2 a_2}{A_2} \sqrt{2gh_2} + \frac{c_4 a_4}{A_2} \sqrt{2gh_4} + \frac{\alpha_2 k_2}{A_2} v_2 \\
 \dot{h}_3 &= -\frac{c_3 a_3}{A_3} \sqrt{2gh_3} + \frac{(1-\alpha_2)k_2}{A_3} v_2 \\
 \dot{h}_4 &= -\frac{c_4 a_4}{A_4} \sqrt{2gh_4} + \frac{(1-\alpha_1)k_1}{A_4} v_1
 \end{aligned} \tag{1}$$

Trong đó:

A_i : Tiết diện ngang của bồn thứ i

$$A_i = w \left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{h_{\max}} h_i + L_{\min} \right) \text{ với } i = \overline{1,4} \quad (2)$$

a_i : Tiết diện ngang của van xả của bồn thứ i

h_i : Chiều cao của mực chất lỏng ở bồn thứ i

Điện thế áp vào bơm là v_i tương ứng với dòng chảy chất lỏng vào bồn thứ i là $k_i v_i$. Giá trị $\alpha_1, \alpha_2 \in [0,1]$ là tỷ lệ phân lưu lượng của từng máy bơm. Giá trị này phụ thuộc nhiều vào đặc tính động học của máy bơm. Do đó sẽ được chọn và thử sai trong khi thực hiện mô hình. Lưu lượng đến bồn 1 là $\alpha_1 k_1 v_1$ và lưu lượng chảy vào bồn 4 là $(1-\alpha_1) k_1 v_1$. Tương tự như thế đối với bồn 2 và bồn 3 lần lượt có lưu lượng là $\alpha_2 k_2 v_2$ và $(1-\alpha_2) k_2 v_2$.

Các thông số vật lý của hệ bồn liên kết được liệt kê trong Bảng 1.

Bảng 1: Các thông số sử dụng cho mô hình hệ bồn quadruple

Ký hiệu	Ý nghĩa	Giá trị	Đơn vị
W	Chiều rộng, tiết diện ngang của bồn	9	cm
Lmax	Chiều dài lớn nhất của tiết diện ngang	18	cm
Lmin	Chiều dài nhỏ nhất của tiết diện ngang	9	cm
hmax	Chiều cao cực đại của bồn chứa	40	cm
K1, K2	Lưu lượng bơm cực đại của bơm 1, 2	150	cm ³ /s
a ₁	Tiết diện van xả bồn 1	0,5	cm
a ₂	Tiết diện van xả bồn 2	0,4	cm
a ₃	Tiết diện van xả bồn 3	0,7	cm
a ₄	Tiết diện van xả bồn 4	0,8	cm
C1, C2, C3, C4	Lần lượt là hệ số xả của bồn 1, 2, 3, 4	0,8	v/cm
α_1	Tỷ lệ phân lưu lượng bơm 1	0,8	cm ²
α_2	Tỷ lệ phân lưu lượng bơm 2	0,7	cm ²
g	Gia tốc trọng trường	981	cm/s ²

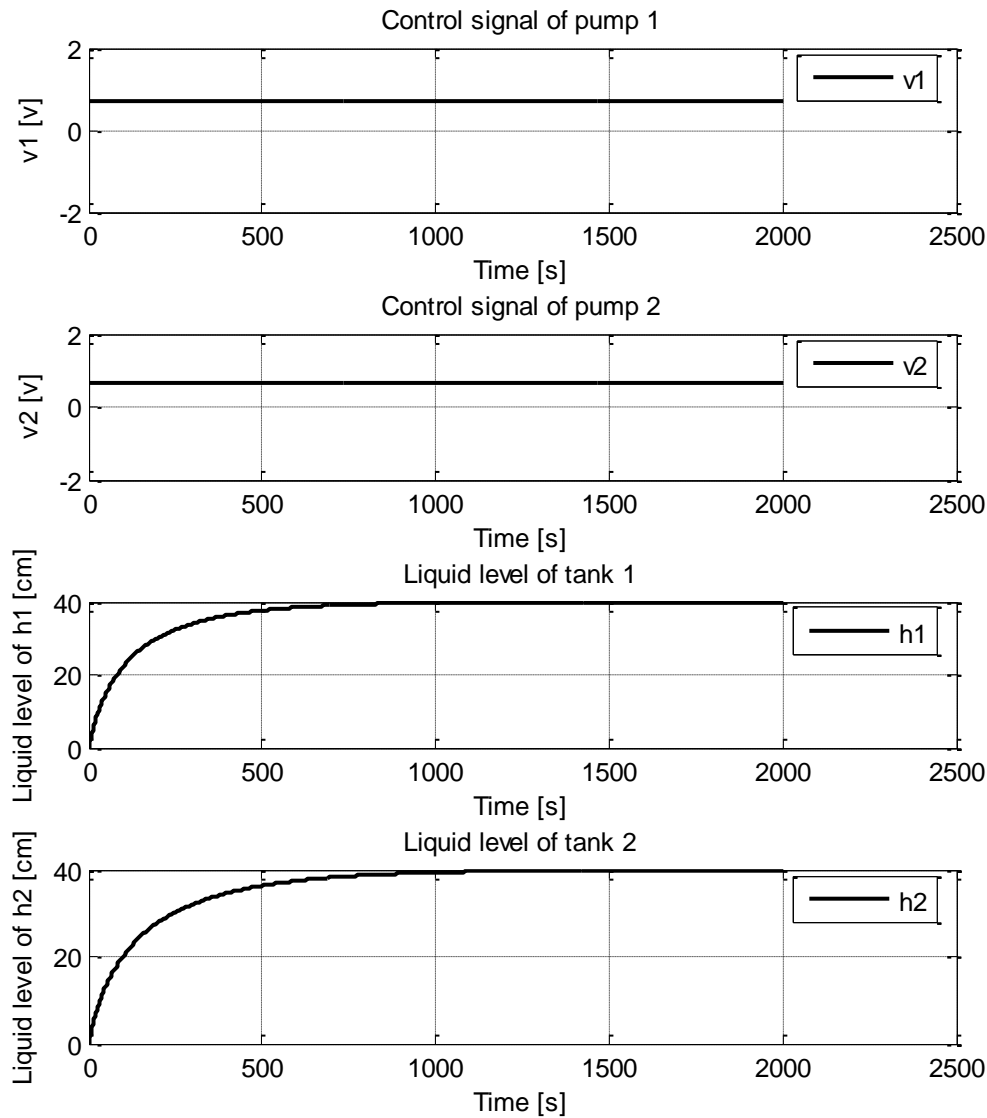
Điểm cân bằng của hệ bồn liên thông được xác định dựa vào phương trình

$$\dot{h}_i = f(h_i) = 0$$

Suy ra điểm cân bằng:

$$x_e = \begin{bmatrix} \bar{v}_1 \\ \bar{v}_2 \\ \bar{h}_1 \\ \bar{h}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,6873 \\ 0,6574 \\ 40 \\ 40 \end{bmatrix}$$

Khi tín hiệu nấc vào với biên độ $v_1=0,6873$ và $v_2=0,6574$, mực chất lỏng ở bồn 1 và 2 đạt cực đại (xem Hình 2). $V_i \in [0,1]$ là mức điện áp đặc trưng để mô phỏng. Tuy nhiên trong thực tế mức điện áp này thay đổi tùy theo đặc tính của từng máy bơm.

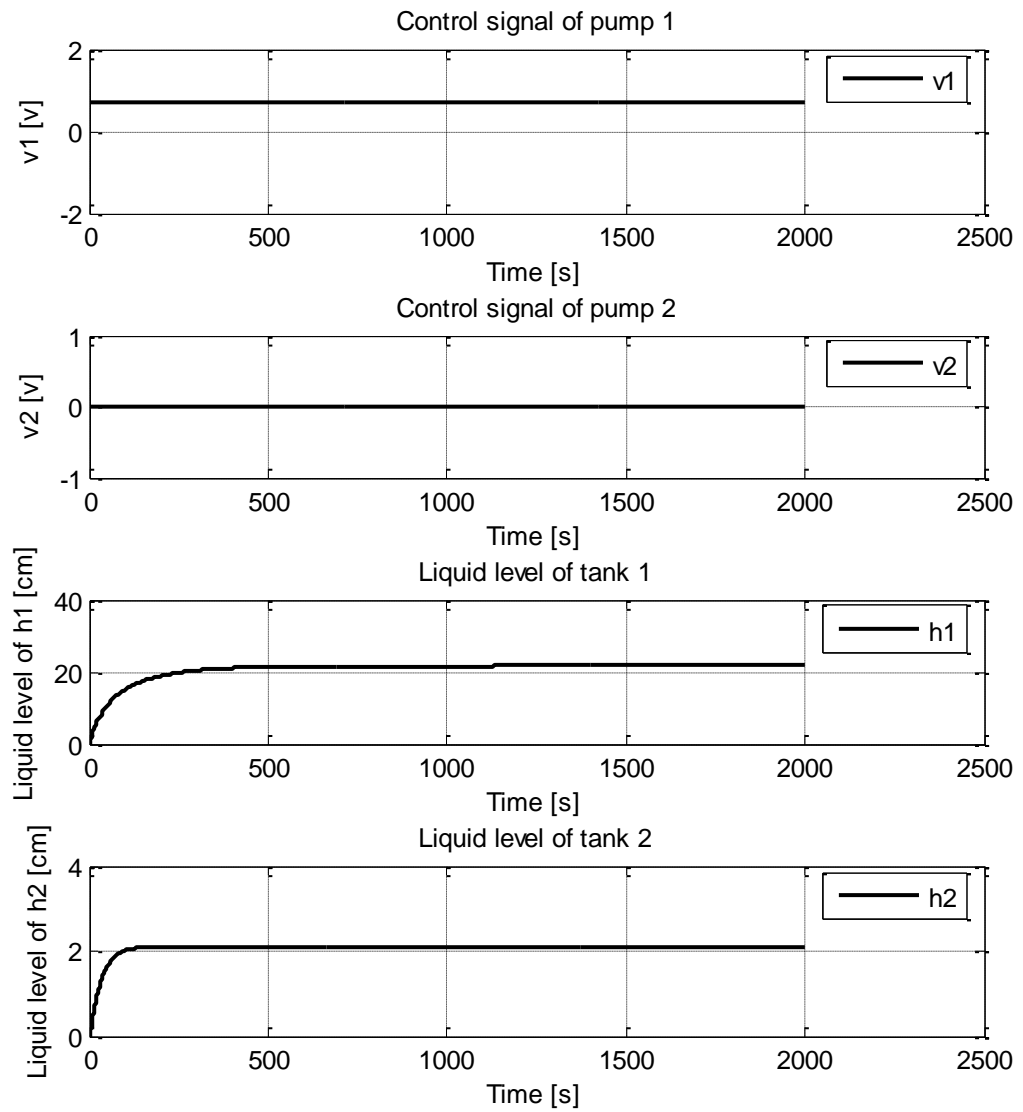


Hình 2: Đáp ứng nấc mực chất lỏng ở bồn 1 và 2

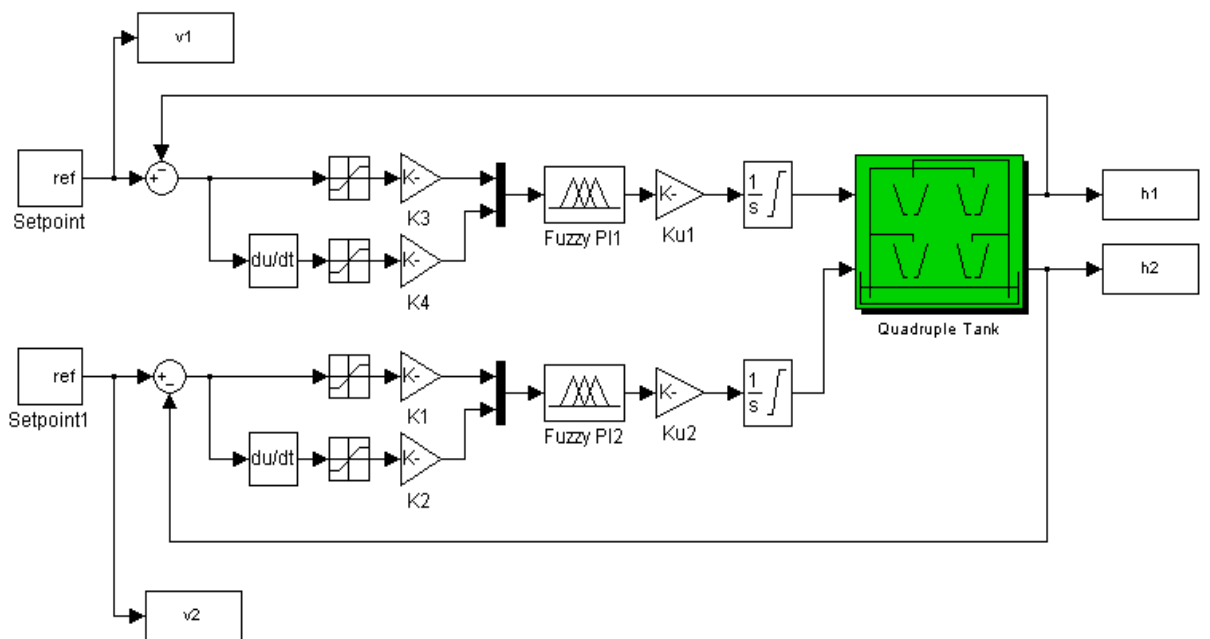
Khi cho tín hiệu nấc vào với biên độ $v_1=0,6873$ và tắt bơm 2 $v_2=0$, mực chất lỏng ở 2 bồn giảm xuống. Mực chất lỏng ở bồn 2 khác không là do bơm 1 đưa chất lỏng vào bồn 4 và đổ về bồn 2. Do đó mức chất lỏng trong bồn 2 rất ít. Bồn 1 nước ít hơn so với trị cực đại là do bơm 2 không dẫn chất lỏng đến bồn 3 để xả vào bồn 1 mà chỉ có lượng chất lỏng được bơm trực tiếp từ bơm 1 (xem Hình 3).

3 THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN PI MỜ

Hệ bồn liên kết là hệ MIMO hai ngõ vào và hai ngõ ra. Áp dụng phương pháp điều khiển tách rời của (Huỳnh Thái Hoàng, 2006) và (Effendi Rusli *et al.*, 2002) (sử dụng hai bộ điều khiển SISO (Single-input single-output)) để kiểm soát mực chất lỏng ở bồn 1 và bồn 2. Mỗi bộ điều khiển sẽ kiểm soát một bồn. Sơ đồ simulink mô phỏng điều khiển hệ thống như Hình 4.



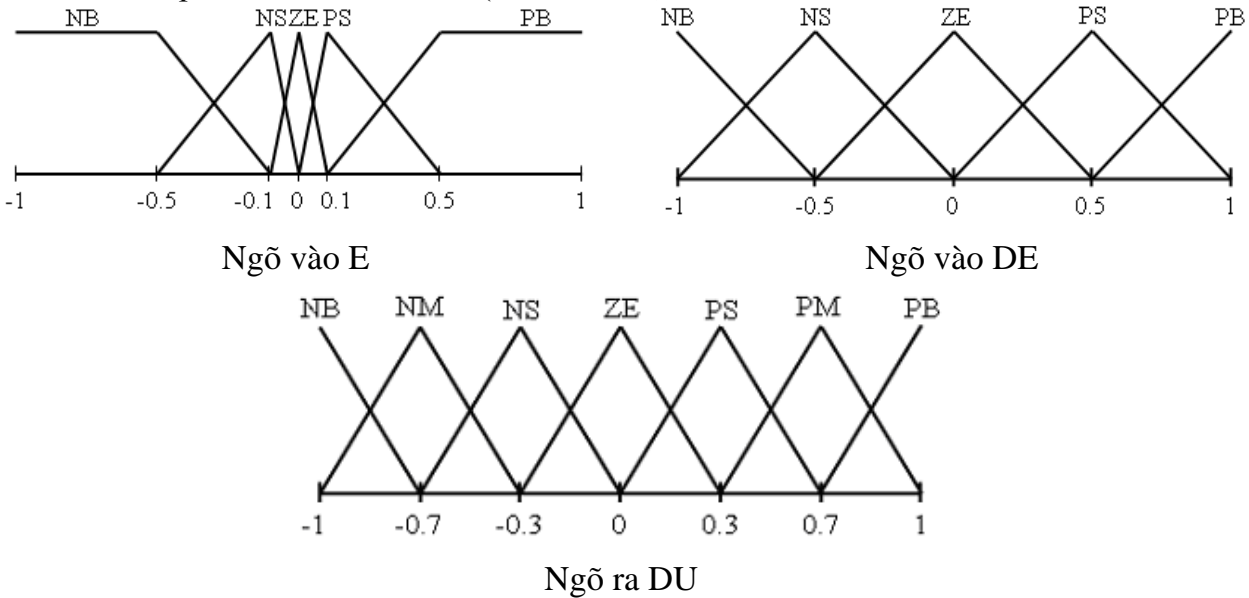
Hình 3: Đáp ứng nấc mực chất lỏng ở bồn 1 và 2



Hình 4: Sơ đồ mô phỏng hệ bồn Quadruple dùng bộ điều khiển PI mờ

Bộ điều khiển mờ có hai ngõ vào là sai số ($E \in [0,1]$) và vi phân sai số ($DE \in [0,1]$), tín hiệu ra là vi phân điện áp điều khiển ($DU \in [0,1]$). Các tín hiệu vào ra được chuẩn hóa về giá trị thuộc $[0,1]$. Vì mức chất lỏng cực đại tại các bồn là $0 \leq h_i \leq 40\text{cm}$ ($i = \overline{1,4}$) nên hệ số chuẩn hóa $k_1 = \frac{1}{40}$, chọn hệ số $k_2 = 1$ (hệ số này phụ thuộc vào tính chất động học của hệ thống). Hệ số $k_u = 0,6$ được chọn trong quá trình tinh chỉnh chất lượng của hệ thống điều khiển.

Vì hệ bồn liên kết có tính chất phi tuyến cao nên ta chọn số tập mờ của biến vào là 5 và số tập mờ của biến ra là 7 (xem Hình 5).



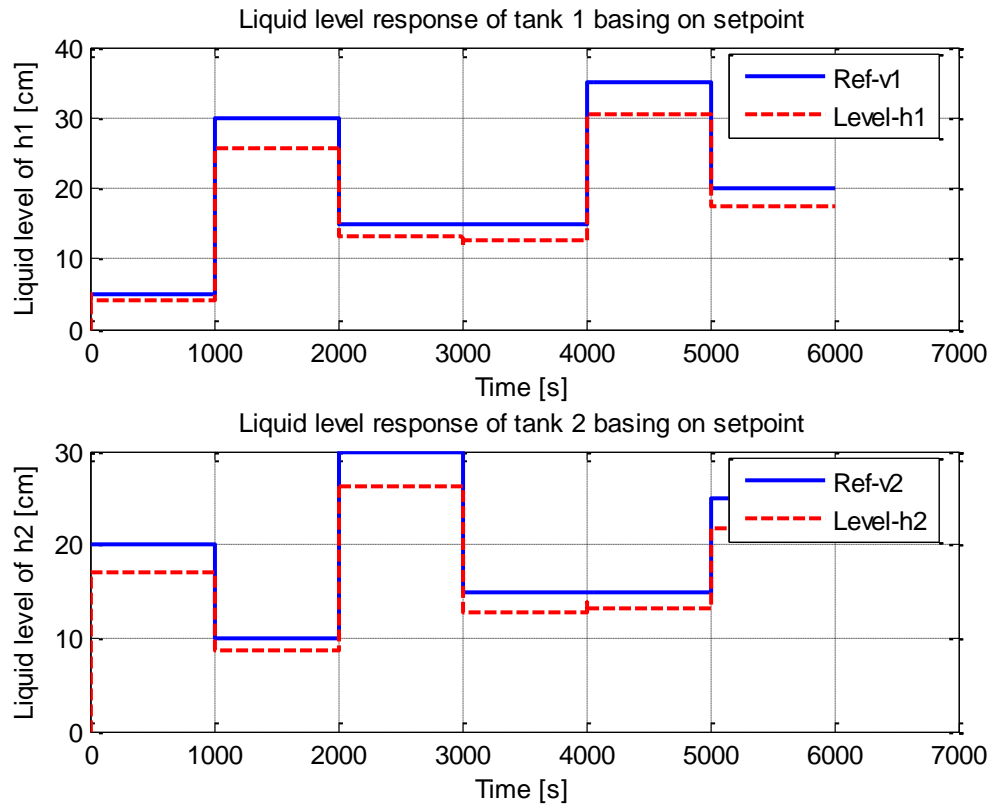
Hình 5: Tập mờ vào ra

Hệ qui tắc điều khiển và các tập mờ được thiết kế dựa trên kinh nghiệm và bằng phương pháp thử sai (xem Bảng 2).

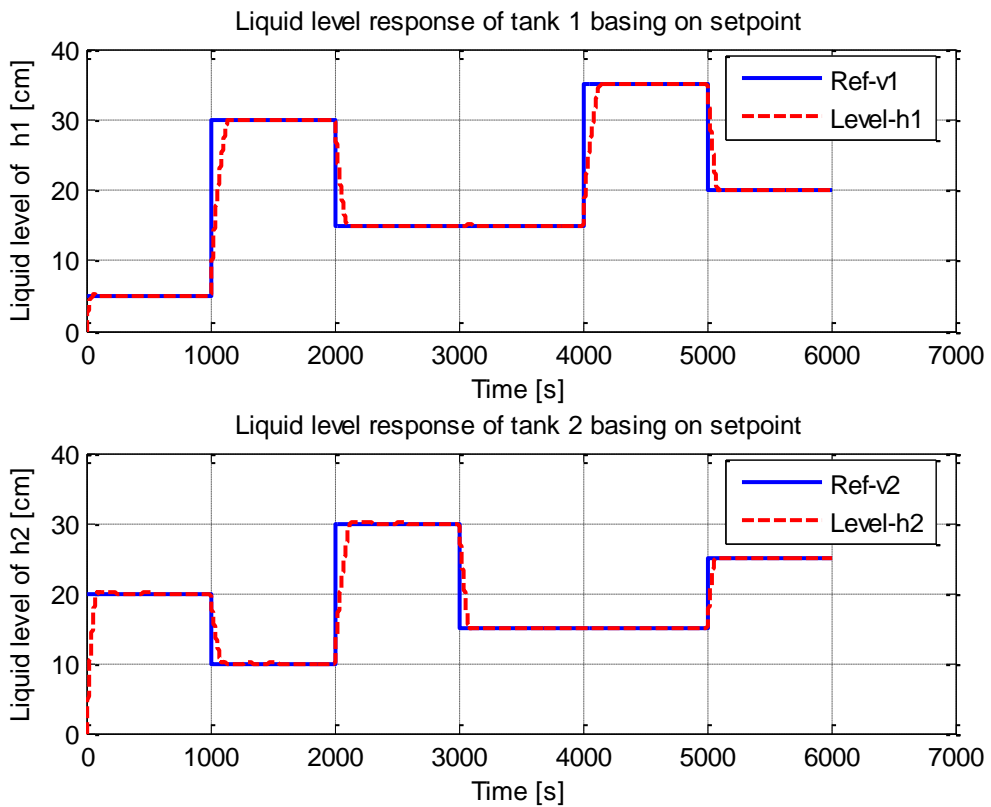
Bảng 2: Bảng luật điều khiển hệ bồn Quadruple

		E				
		NB	NS	ZE	PS	PB
DE	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
	NS	NB	NM	NS	ZE	PS
	ZE	NM	NS	ZE	PS	PM
	PS	NS	ZE	PS	PM	PB
	PB	ZE	PS	PM	PB	PB

Hình 7 là kết quả điều khiển hệ bồn liên kết dùng thuật toán PI mờ. Từ vị trí ban đầu $h_1=0$ và $h_2=0$, mức chất lỏng bám theo giá trị đặt rất tốt, đáp ứng không có độ vọt lố. Hình 6 là kết quả điều khiển hệ bồn liên kết dùng thuật toán PI cổ điển. Từ kết quả cho thấy, đáp ứng có thời gian quá độ rất nhanh. Tuy nhiên không khử được độ vọt lố và sai số giữa tín hiệu đặt và đáp ứng của đối tượng là khá lớn.



Hình 6: Đáp ứng mực chất lỏng ở bồn 1 và 2 dùng bộ điều khiển PI kinh điển



Hình 7: Đáp ứng mực chất lỏng ở bồn 1 và bồn 2 dùng bộ điều khiển PI mờ

4 KẾT LUẬN

Bằng cách sử dụng mô hình mờ Mamdani (phương pháp suy diễn MAX-MIN và giải mờ trọng tâm) kết hợp với bộ điều khiển PI cổ điển đã tạo ra được bộ điều khiển PI mờ cho hệ phi tuyến. Bộ điều khiển mờ PI cho đáp ứng của đối tượng bám theo tín hiệu đặt mong muốn, có sai số xác lập bằng zero. Trong khi dùng bộ điều khiển PI kinh điển sẽ cho đáp ứng có thời gian quá độ nhanh, nhưng có độ vọt lố và đáp ứng của đối tượng không bám tốt theo tín hiệu đặt mong muốn. Bên cạnh những kết quả đạt được, bộ điều khiển PI mờ có thời gian quá độ lớn. Tuy nhiên, điều này cũng phù hợp với thực tế bởi vì sau một khoảng thời gian thì chất lỏng trong các bồn mới được bơm đến vị trí định trước, chứ không thể ra lệnh bơm là có thể đạt được trị mong muốn ngay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Huỳnh Thái Hoàng, 2006. *Hệ thống điều khiển thông minh*, Đại Học Bách Khoa TPHCM, Đại Học Quốc Gia, p190-275
- Nguyễn Thúc Loan, Nguyễn Thị Phương Hà, Huỳnh Thái Hoàng, 2002. *Điều khiển dự báo hệ phi tuyến dựa vào mô hình mờ*, Đại Học Bách Khoa TPHCM, p1-2
- Effendi Rusli, Siong Ang, Richard D. Braatz, 2002. *A quadruple tank process experiment*. Department of Chemical and Biomolecular Engineering, University of Illinois at Urban-Champaign, p6-21
- Karl Henrik Johansson, Alexander Horch, Olle Wijk, Anders Hansson, 2000. *Teaching multivariable control using the quadruple-tank process*. Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California, Berkeley, p1-6
- J. Felder, C.Hersberger, D.Ambühl, M. Benz, 2006. *Praktikum mess und regeltechnik anleitung zum versuch quadruple tank*. Institut für mess und regeltechnik, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, p2-16
- Arjin Numsomran, Kritchai Withephanich, Thanit Trisuwannawat, Kittitiraseseth, 2000. *IP controller design for quadruple tank system*. Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Nakhonnayok, Thailand, p1-6
- Amit Pandey, 2004. *Fault detectio of multivariable system using its directional properties*. Msc thesis, B.Tech, Indian Institute of Technology Guwahati, India, p25-32