

## ĐIỀU KHIỂN MỜ HỆ ỔN ĐỊNH NHIỆT ĐỘ RT040

Phan Thị Diễm Hương<sup>1</sup> và Nguyễn Chí Ngôn<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lớp Kỹ thuật Điều khiển K35, Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

<sup>2</sup> Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

### Thông tin chung:

Ngày nhận: 17/02/2013

Ngày chấp nhận: 19/08/2013

### Title:

Fuzzy control for RT040 temperature control unit

### Từ khóa:

Bộ điều khiển mờ, bộ điều khiển PI, điều khiển nhiệt độ

### Keywords:

Fuzzy controller, PI controller, Temperature control

### ABSTRACT

*This study aims to design and apply a fuzzy controller on the RT040 Gunt-Hamburg Temperature Control Unit. The controller consists of a traditional PI controller and a fuzzy reasoning. The PI part is the main controller and the fuzzy reasoning part is used for tuning the parameters of the PI controller around the Ziegler-Nichols values, so called the fuzzy PI controller. Experimental results showed that the proposed fuzzy PI controller has suitable rise time and settling time, no overshoots, and zero steady-state errors. It is also adapting to the change of the system by noises better than the traditional PI controller.*

### TÓM TẮT

*Nghiên cứu này nhằm mục tiêu thiết kế và kiểm nghiệm bộ điều khiển mờ áp dụng cho hệ ổn định nhiệt độ RT040 của hãng Gunt-Hamburg, Đức. Bộ điều khiển bao gồm hai thành phần, đó là một bộ điều khiển PI kinh điển và một bộ suy diễn mờ. Trong đó, bộ điều khiển PI giữ vai trò là bộ điều khiển chính để kiểm soát đối tượng và bộ suy diễn mờ dùng để tinh chỉnh thông số của bộ điều khiển PI xung quanh giá trị kinh điển thu được từ phương pháp thực nghiệm Ziegler-Nichols, gọi chung là bộ điều khiển PI mờ. Kết quả thực nghiệm trên hệ RT040 cho thấy bộ điều khiển PI mờ đã thiết kế cho đáp ứng với thời gian tăng và thời gian xác lập hợp lý, không xuất hiện vọt lố và sai số xác lập được triệt tiêu. Ngoài ra, bộ điều khiển PI mờ cũng thích nghi tốt hơn với sự tác động của nhiễu lên hệ thống so với bộ điều khiển PI kinh điển.*

## 1 GIỚI THIỆU

Với cấu trúc đơn giản, khả năng điều khiển hiệu quả và phạm vi ứng dụng rộng nên bộ điều khiển tích phân tỉ lệ, gọi tắt là bộ điều khiển PI (Proportional-Integral controller) được sử dụng phổ biến trong công nghiệp (Johnson, M.A. and M.H. Moradi, 2005; Leonid Reznik, 1997). Tuy nhiên, với việc thiết lập các hệ số của bộ điều khiển PI cố định, trong nhiều trường hợp nó tỏ ra kém hiệu quả khi đặc tính động của đối tượng thay đổi (Jan Jantzen, 1998). Vấn đề đặt ra là làm thế nào để có thể thay đổi tham số của bộ điều

kiển thích nghi với sự thay đổi của đối tượng hoặc với sự tác động của các điều kiện bên ngoài một cách đơn giản và hiệu quả. Ngoài ra, một vấn đề cần quan tâm nữa đó là việc chỉnh định bộ điều khiển PI trong trường hợp này chỉ cần dựa trên sự biến đổi đáp ứng của hệ thống mà không cần biết trước phương trình toán của đối tượng, vốn khó đạt được một cách chính xác trong thực tế (Schleicher, M. and F. Blasinger, 2003).

Trong quá trình phát triển các kỹ thuật điều khiển thông minh, logic mờ được ứng dụng thành công trong nhiều lĩnh vực với vai trò của một bộ

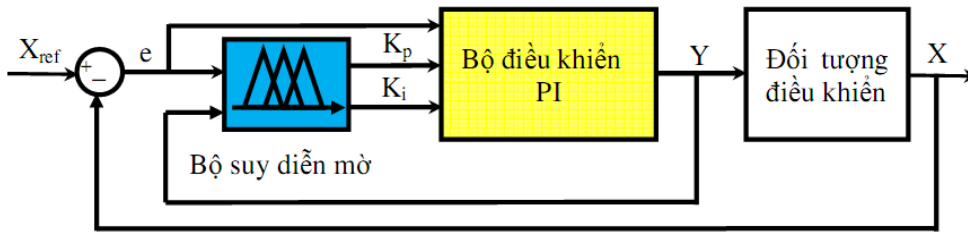
quan sát. Cơ chế suy diễn mờ được xem là một phương pháp đơn giản và hiệu quả để tinh chỉnh các bộ điều khiển kinh điển (Leonid Reznik, 1997; Jan Jantzen, 1998).

Nghiên cứu này sử dụng một bộ quan sát mờ để xác định tham số của bộ điều khiển PI, gọi tắt là bộ điều khiển PI mờ, áp dụng cho hệ ổn định nhiệt độ RT040 của hãng Gunt-Hamburg, Đức (G.U.N.T. Gerätebau GmbH, 2004). Nghiên cứu nằm trong chuỗi hoạt động nỗ lực biến phòng thí nghiệm Điều khiển quá trình công nghiệp, thuộc Bộ môn Tự động hóa, Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ trở thành một phòng thí nghiệm điều khiển thông minh, với cơ chế điều khiển mờ có kiểm chứng trên thiết bị thực tế.

## 2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Phương tiện nghiên cứu

Bộ điều khiển PI mờ trong nghiên cứu này là sự kết hợp giữa bộ điều khiển PI kinh điển và bộ suy diễn mờ. Bộ điều khiển được thiết lập trên phần mềm MATLAB/ Simulink, phiên bản sinh viên 2012a và công cụ logic mờ (Fuzzy Logic Toolbox). Bộ điều khiển được thực nghiệm trên hệ ổn định nhiệt độ RT040 của hãng Gunt-Hamburg, với cấu trúc điều khiển được thiết lập như Hình 1. Trong đó, đối tượng điều khiển là hệ ổn định nhiệt độ RT040, với  $X$  là đáp ứng thực tế của đối tượng,  $X_{ref}$  là tín hiệu tham khảo,  $e$  là sai biệt giữa  $X_{ref}$  và  $X$ , và  $Y$  là tín hiệu điều khiển được xác lập bởi bộ điều khiển PI mờ.



Hình 1: Mô hình tổng quát của hệ thống điều khiển

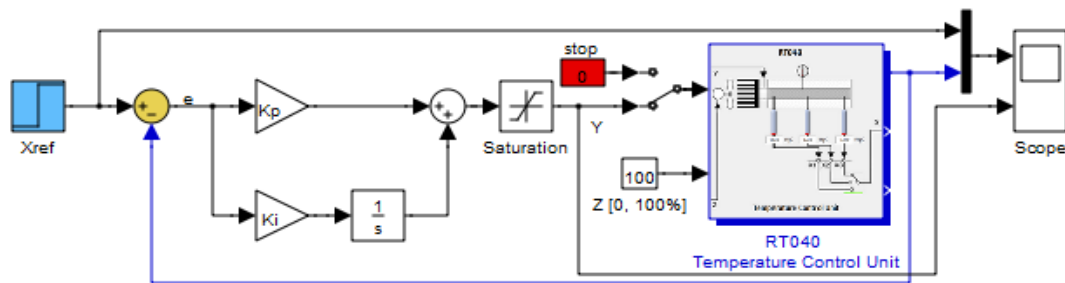
### 2.1 Bộ điều khiển PI kinh điển

Bộ điều khiển PI được thực hiện bởi (Johnson M.A. & M.H. Moradi, 2005):

$$Y(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (1)$$

$$e(t) = X_{ref}(t) - X(t)$$

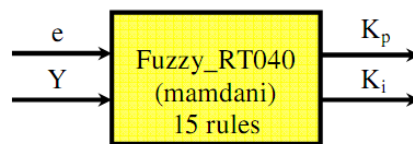
với  $K_p$  và  $K_i$  lần lượt là độ lợi tỉ lệ và độ lợi tích phân của bộ điều khiển. Sơ đồ điều khiển PI kinh điển được thực hiện như Hình 2. Nhiệm vụ của người thiết kế bộ điều khiển là xác định bộ giá trị  $\{K_p, K_i\}$  thỏa yêu cầu về chất lượng điều khiển.



Hình 2: Điều khiển PI kinh điển

### 2.1 Bộ điều khiển PI mờ

Bộ điều khiển mờ nhằm mục tiêu cung cấp cấp giá trị  $\{K_p, K_i\}$  cho bộ điều khiển PI, dựa theo điều kiện hiện tại của  $\{e, Y\}$ . Bộ điều khiển mờ sẽ có 2 ngõ vào và 2 ngõ ra, như Hình 3.

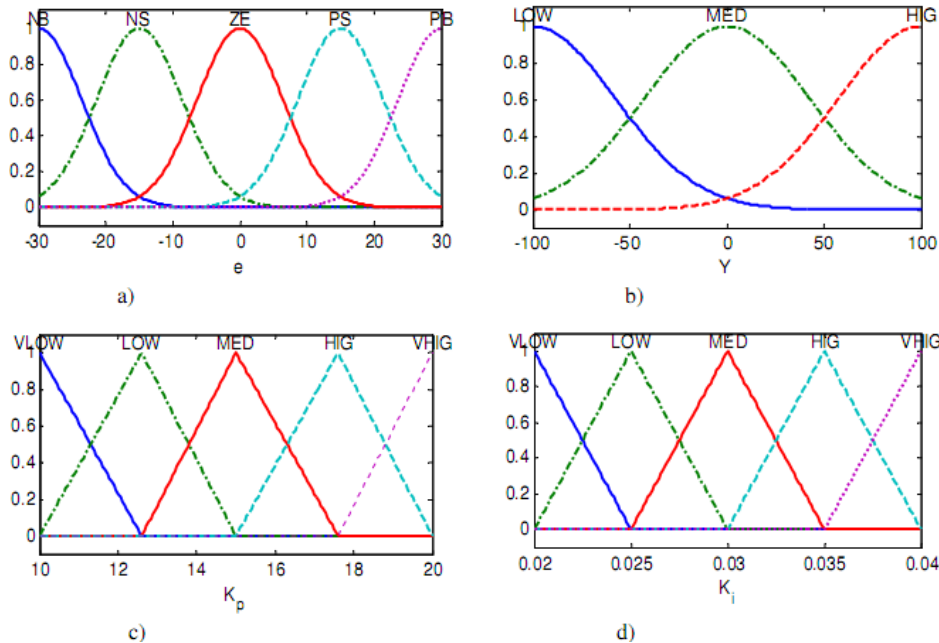


Hình 3: Cấu trúc bộ điều khiển mờ

Ở cấu trúc Hình 3, qua thực nghiệm, ngõ vào thứ nhất của bộ điều khiển mờ là  $e$ , được mờ hóa bởi 5 tập {NB, NS, ZE, PS, PB} và ngõ vào thứ hai là  $Y$ , được mờ hóa bởi 3 tập {LOW, MED, HIG}, xem Hình 4a và 4b. Trong đó, NB là âm nhiều, NS là âm ít, ZE là zero, PS là dương ít, PB là dương nhiều, LOW là thấp, MED là vừa và HIG là cao. Dạng hàm liên thuộc của các tập mờ ngõ vào là hàm Gauss, được xác định trong khoảng  $e \in [-30,30]$ ,  $Y \in [-100,100]$ . Hai ngõ ra của bộ điều khiển mờ lần lượt là  $K_p$  và  $K_i$  đều

được mờ hóa bởi 5 tập {VLOW, LOW, MED, HIG, VHIG}, Hình 4c và 4d. Trong đó, VLOW là rất thấp, LOW là thấp, MED là vừa, HIG là cao và VHIG là rất cao. Dạng hàm liên thuộc của các tập mờ ngõ ra là dạng tam giác, được xác định trong khoảng  $K_p \in [10,20]$ ,  $K_i \in [0.02,0.04]$ .

Các giới hạn vật lý của  $K_p$  và  $K_i$  được chọn đủ rộng xung quanh giá trị thực nghiệm Ziegler–Nichols, đã được trình bày tại (Nguyễn Chí Ngôn, 2011).



Hình 4: Hàm liên thuộc ngõ vào và ngõ ra của bộ điều khiển mờ

Dựa vào các đặc tính cơ bản của bộ điều khiển PI (Ogata, 2009), các luật điều khiển mờ được thiết kế thông qua thực nghiệm như trong Bảng 1. Nguyên tắc xây dựng bộ luật điều khiển được mô tả như sau: nếu thời gian tăng của đáp ứng lớn, tức đáp ứng của hệ thống chậm ( $e=NB, NS$ ), thì  $K_p$  và  $K_i$  được hiệu chỉnh tăng bởi {HIG, VHIG}. Ngược lại, nếu thời gian tăng của đáp ứng nhỏ, tức đáp ứng của hệ thống nhanh ( $e=PS, PB$ ) thì  $K_p$  và  $K_i$  được hiệu chỉnh giảm bởi {MED, LOW}. Nếu đáp ứng bị vọt lố ( $e=PS, PB$ ) thì  $K_p$  và  $K_i$  được giảm xuống bởi {LOW, VLOW}. Một luật điều khiển cụ thể được phát biểu như (2). Bộ luật được áp dụng để tạo ra tín hiệu điều khiển tại mỗi thời điểm lấy mẫu, với thời gian lấy mẫu là  $T_s=0,5$  giây. Ngõ vào  $Y$  chủ yếu đóng vai trò hỗ

trợ bộ điều khiển ra quyết định trong thời gian quá độ. Ở thời điểm xác lập, gần như luôn nhận được  $Y=MED$ , lúc này ngõ ra của bộ điều khiển mờ chủ yếu tùy thuộc ngõ vào  $e$ . Ở thời điểm quá độ, trạng thái tín hiệu điều khiển  $Y=HIGH$  (đang tăng) hay  $Y=LOW$  (đang giảm) là cơ sở để tinh chỉnh bộ luật điều khiển, nhằm đạt được chất lượng điều khiển tốt nhất.

Bảng 1: Luật điều khiển

$K_p/K_i$	Y		
	LOW	MED	HIGH
NB	VHIGH/HIGH	HIGH/MED	LOW/HIGH
NS	HIGH/MED	MED/LOW	LOW/MED
ZE	MED/LOW	LOW/VLOW	VLOW/LOW
e PS	MED/VLOW	MED/LOW	LOW/VLOW
PB	MED/MED	LOW/VLOW	LOW/MED

If  $e=NS$  and  $Y=MED$  Then  $K_p=MED$  and  $K_i=LOW$  (2)

Cơ chế suy diễn mờ được chọn là MAX-PROD và giải mờ theo nguyên lý trung bình của phương pháp cực đại, được xác định bởi (3):

$$\{K_p, K_i\} = \frac{\sum_{i=1}^R b_i \mu_i}{\sum_{i=1}^R \mu_i} \quad (3)$$

với  $b_i$  và  $\mu_i$  lần lượt là hoành độ điểm trung bình và giá trị của hàm liên thuộc ngõ ra xác định bởi luật thứ  $i$  trong  $R$  luật tác động tại thời điểm xem xét.

### 3 KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Bộ điều khiển PI mờ được thực nghiệm trên hệ ổn định nhiệt độ RT040 của hãng Gunt-Hamburg, Đức. Hệ RT040 có cấu trúc như Hình 5a, gồm các ngõ vào-ra như sau:  $Y$  là công suất của bộ nung nếu  $0 < Y \leq 100\%$  hoặc là công suất bộ làm lạnh nếu  $-100\% \leq Y \leq 0$ ;  $Z$  là công suất của quạt tản nhiệt

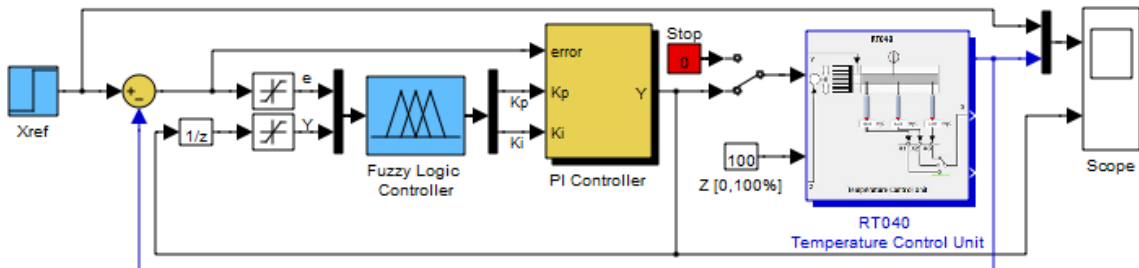
$Z \in [0, 100\%]$ ;  $X_1, X_2, X_3$  là nhiệt độ đáp ứng của hệ tương ứng với 3 vị trí cảm biến, như Hình 5b. Sơ đồ điều khiển được thiết lập như Hình 6, với miền xác định của các biến vào-ra, đặc biệt là  $K_p$  và  $K_i$  được xác định đủ rộng xung quanh giá trị Ziegler-Nichols, như sau:

$$e \in [-30, 30]; Y \in [-100, 100]; K_p \in [10, 20]; K_i \in [0.02, 0.04]$$

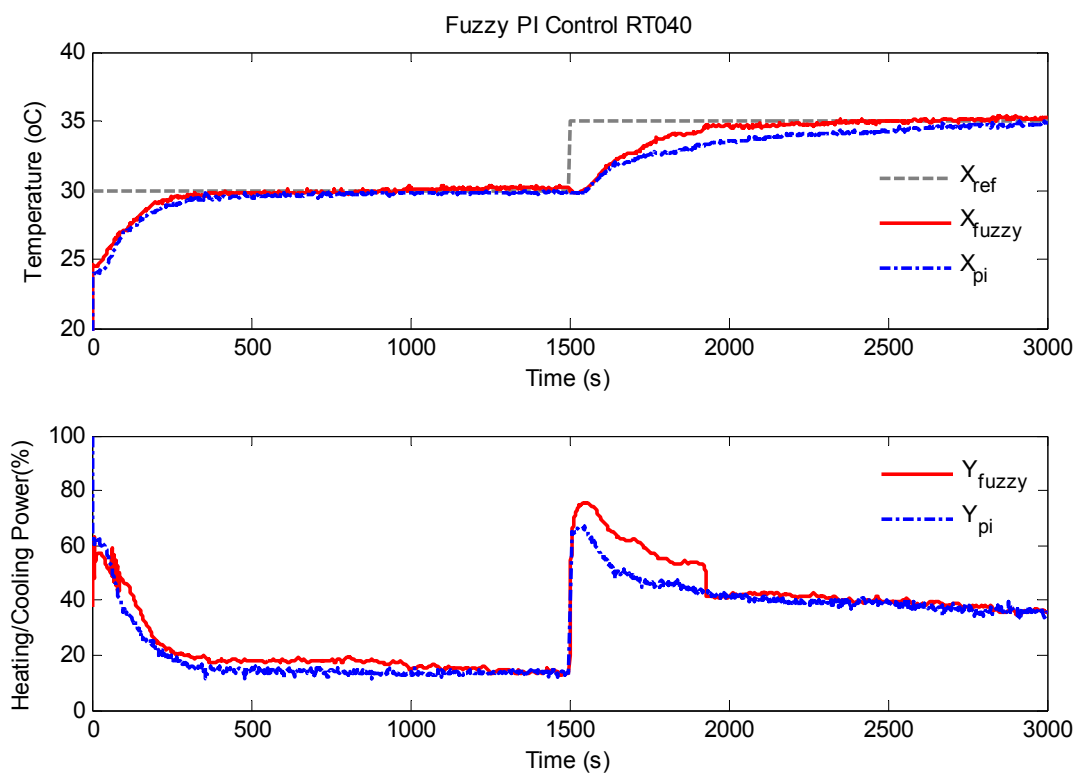
Ở đây ngõ ra  $X_1$  được dùng để minh họa đáp ứng của hệ thống. Với công suất của quạt tản nhiệt (giả lập nhiễu tác động) lần lượt đặt ở  $Z=100\%$  (công suất quạt tối đa),  $Z=50\%$  (1/2 công suất),  $Z=0\%$  (quạt không hoạt động). Thực nghiệm được tiến hành với cả hai bộ điều khiển là bộ điều khiển PI kinh điển và bộ điều khiển PI mờ ứng với sự biến thiên của  $Z$ , tương ứng cho kết quả như Hình 7, Hình 8 và Hình 9. Ở đây,  $X_{fuzzy}$  ký hiệu cho đáp ứng của hệ thống khi áp dụng bộ điều khiển PI mờ và  $X_{pi}$  ký hiệu cho đáp ứng của hệ thống trong trường hợp áp dụng bộ điều khiển PI kinh điển. Chất lượng vượt trội của bộ điều khiển PI mờ so với bộ điều khiển PI kinh điển ứng với sự thay đổi của nhiễu, khi  $X_{ref}=35^\circ C$  được so sánh như Bảng 2.



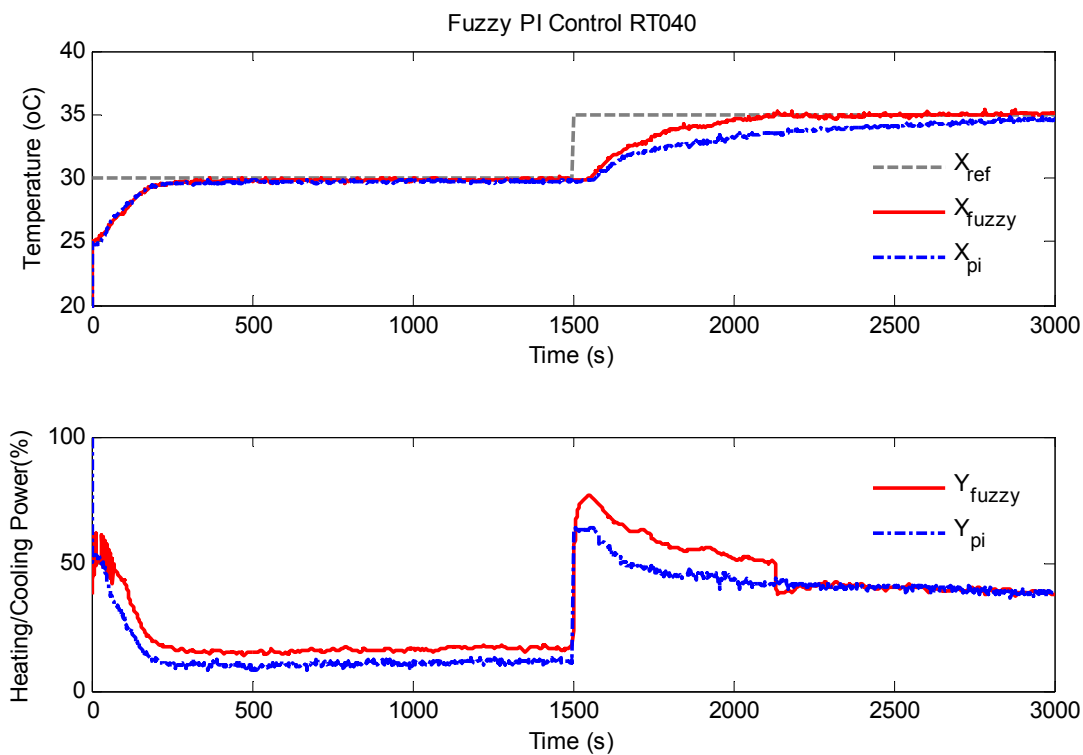
Hình 5: Hệ ổn định nhiệt độ RT040



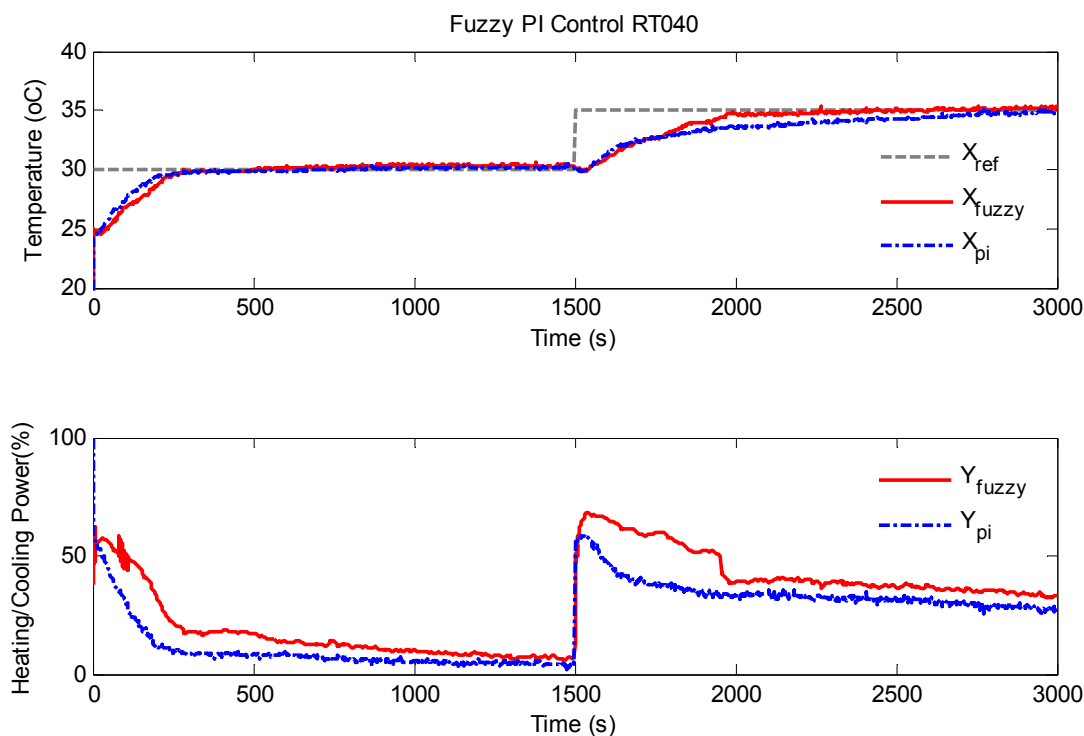
Hình 6: Sơ đồ điều khiển PI mờ hệ ổn định nhiệt độ RT040



Hình 7: So sánh kết quả điều khiển hệ ổn định nhiệt độ RT040 với Z=100%



Hình 8: So sánh kết quả điều khiển hệ ổn định nhiệt độ RT040 với Z=50%



Hình 9: So sánh kết quả điều khiển hệ ổn định nhiệt độ RT040 với Z=0%

Bảng 2: Các thông số về chất lượng của bộ điều khiển

	Bộ điều khiển PI mờ			Bộ điều khiển PI kinh điển		
	Z=100%	Z=50%	Z=0%	Z=100%	Z=50%	Z=0%
Thời gian tăng (s)	600	400	350	1000	1100	1000
Thời gian xác lập (s)	750	500	450	1200	1300	1200
Sai số xác lập (°C)	0	0	0	1	1	1
Độ vọt lố (°C)	0	0	0	0	0	0

Từ Bảng 2 ta thấy bộ điều khiển PI mờ thích ứng tốt hơn so với bộ điều khiển PI kinh điển, dưới tác động của nhiễu. Cụ thể, ta thấy bộ điều khiển PI mờ có thời gian tăng và thời gian xác lập nhanh hơn bộ điều khiển PI kinh điển. Ngoài ra, bộ điều khiển PI mờ triệt tiêu được sai số xác lập cũng như không có độ vọt lố, còn bộ điều khiển PI kinh điển thì có sai số xác lập khoảng 1°C.

#### 4 KẾT LUẬN

Qua thực nghiệm, ta thấy bộ điều khiển PI mờ đã thiết kế hoạt động tốt trên hệ ổn định nhiệt độ RT040. Kỹ thuật điều khiển này có ưu điểm là thiết kế và thực hiện bộ quan sát mờ đơn giản mà không cần quan tâm đến cấu trúc bên trong của đối tượng điều khiển. Kết quả thực nghiệm cho thấy đáp ứng của thiết bị RT040 bám tốt tín hiệu tham khảo với thời gian tăng và thời gian xác lập

hợp lý; đáp ứng không có vọt lố cũng như triệt tiêu được sai số xác lập. So với bộ điều khiển PI kinh điển thì bộ điều khiển PI mờ thích ứng tốt hơn dưới sự tác động làm thay đổi đặc tính động của đối tượng. Cùng với kết quả công bố tại (Nguyễn Chí Ngôn, 2011), nghiên cứu này góp phần hoàn thiện việc chuyển đổi phòng thí nghiệm điều khiển quá trình với kỹ thuật điều khiển PID kinh điển của đơn vị, trở thành một phòng thí nghiệm thông minh với kỹ thuật điều khiển mờ.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. G.U.N.T. Gerätebau GmbH, 2004. *Experiment Instructions - RT 010 - RT 060 Principles of Control Engineering*. Barsbüttel Germany, Publication-no.: 918.000 00 A 0X0 02 (A).

2. Jan Jantzen, 1998. *Tuning Of Fuzzy PID Controllers*, Technical University of Denmark, Department of Automation, Denmark.
3. Johnson M.A. and M.H. Moradi, 2005. *Chapter 8, in: PID Control - New Identification and Design Methods*, pp. 297-337, Springer-Verlag London Limited, ISBN-10: 1-85233-702-8.
4. Leonid Reznik, 1997. *Fuzzy Controllers*. Newnes, 307 pages. ISBN: 0-7506-3429-4.
5. Schleicher, M. and F. Blasinger, 2003, *Control Engineering*. JUMO GmbH & Co. KG, Fulda, Germany, pp.45-56.
6. Nguyễn Chí Ngôn , 2011. Bộ điều khiển PI mờ: Từ thiết kế đến ứng dụng. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, 2011:18a, trang 82-92.
7. Ogata, K., 2009. *Modern Control Engineering*. Prentice Hall, 5 ed., 2009, 912 pages. ISBN-13: 978-0136156734.