

ĐIỀU KHIỂN ỔN ĐỊNH NHIỆT ĐỘ LÒ SẤY NÔNG SẢN BẰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN THÔNG MINH

● TRIỆU QUỐC HUY

TÓM TẮT:

Bài viết nghiên cứu thiết kế và ứng dụng bộ điều khiển thông minh vào điều khiển ổn định nhiệt độ của lò sấy nông sản, đồng thời so sánh với bộ điều khiển PID thông thường. Dựa trên nguyên lý của phương pháp điều khiển PID theo Ziegler - Nichols, tác giả thực hiện phân tích mô hình và tính toán các thông số K_p , K_i , K_d . Từ đó, đề xuất giải pháp sử dụng bộ điều khiển PID - Mờ tạo thành bộ điều khiển thông minh. Quá trình nghiên cứu được thực hiện bởi phương pháp mô phỏng với sự hỗ trợ của phần mềm Matlab. Các kết quả nghiên cứu đã cho thấy, bộ điều khiển thông minh đạt chất lượng điều khiển tốt hơn bộ điều khiển PID thông thường. Đặc biệt là độ vọt lố và thời gian xác lập được cải thiện đáng kể.

Từ khóa: mô hình toán lò nhiệt, điều khiển tự động, điều khiển PID, điều khiển Mờ, điều khiển thông minh.

1. Đặt vấn đề

Lò sấy nông sản được xem như một loại lò nhiệt, là một trong các thiết bị được sử dụng rộng rãi trong sản xuất và đời sống. Đã có nhiều bộ điều khiển nhiệt độ được chế tạo, cũng như nhiều phương pháp điều khiển hiện đại đã và đang được nghiên cứu nhằm ngày càng nâng cao chất lượng cho các bộ điều khiển này. Một phương pháp điều khiển rất nổi tiếng được biết đến và đã trở thành phương pháp kinh điển để điều khiển nhiệt độ của lò nhiệt cũng như nhiều thiết bị khác trong công nghiệp là PID (Proportional Integral Derivative). Tuy nhiên, thiết kế bộ điều khiển PID liên quan đến phương trình toán học, động học, hàm truyền và việc chọn các hệ số K_p , K_i , K_d phải qua rất nhiều khâu tính toán. Khi thực hiện điều khiển thiết bị, người điều khiển chủ yếu dựa trên các thông số này để chỉnh định đáp ứng ngõ ra của đối tượng cần điều khiển sao cho ổn định như mong muốn, phương pháp này

chỉ áp dụng cho hệ thống điều khiển các đối tượng đơn giản. Hơn nữa, các thông số K_p , K_i và K_d tìm được chưa phải là các thông số tối ưu. Trong khi đó, điều khiển Logic Mờ được xem là một trong các phương pháp điều khiển thông minh nhờ vào ưu điểm khi thiết kế không nhất thiết phải biết trước mô hình toán, mà chỉ cần sự hiểu biết về phương thức hoạt động của đối tượng, đồng thời thể hiện qua các biến ngôn ngữ. Trong nhiều trường hợp, khả năng nhận dạng đối tượng qua mô hình toán là cực kỳ khó khăn và đôi khi không thể điều khiển được với các bộ điều khiển thông thường. Điểm mạnh của bộ điều khiển Mờ là sử dụng điều khiển các đối tượng phức tạp, các đối tượng mà việc xây dựng mô hình toán cực kỳ khó khăn.

Từ các ưu điểm của bộ điều khiển Mờ, nhằm mục đích cải thiện hiệu quả của bộ điều khiển PID kinh điển, cùng với xu hướng ứng dụng công nghệ kỹ thuật cao vào sản xuất nông nghiệp ngày càng

gia tăng, đặc biệt là trong thời kỳ cách mạng công nghiệp 4.0, đã thúc đẩy tác giả thực hiện nghiên cứu này. Điểm mới của nghiên cứu là đề xuất mô hình điều khiển thông minh mà cụ thể là bộ điều khiển PID - Mờ để điều khiển ổn định nhiệt độ của lò sấy nông sản. Từ đó giúp tiết kiệm năng lượng cũng như tăng độ an toàn trong quá trình vận hành hệ thống. Hơn nữa, kết quả nghiên cứu chứng tỏ bộ điều khiển đề xuất đạt hiệu quả tốt hơn bộ điều khiển PID thông thường.

2. Tổng quan nghiên cứu

PID từ lâu đã được xem như là một phương pháp điều khiển kinh điển của kỹ thuật điều khiển tự động, vì có nhiều ưu điểm như: có khả năng điều khiển ổn định hệ thống với sai số thấp, tăng tốc độ đáp ứng nhanh. Tuy nhiên, bộ điều khiển PID gần như chỉ áp dụng được với đối tượng tuyến tính và có mô hình toán ở dạng hàm truyền rõ ràng, đối với những đối tượng có tính phi tuyến cao thì không thể điều khiển được chỉ bằng phương pháp PID đơn lẻ. Để khắc phục nhược điểm này của bộ điều khiển PID, các tác giả ở công trình nghiên cứu [1] đã đề xuất giải pháp kết hợp PID với bộ “điều khiển cuốn chiếu” (Backstepping Controller) để điều khiển robot 2 bánh tự cân bằng bám quỹ đạo cho trước. Kết quả nghiên cứu cho thấy, bộ điều khiển kết hợp PID và “điều khiển cuốn chiếu” có thể điều khiển robot bám quỹ đạo cực kỳ tốt với góc nghiêng nhỏ hơn 30o. Nhược điểm của phương pháp này là không thể ổn định được hệ thống khi góc nghiêng của robot là tương đối lớn.

Bên cạnh giải pháp kết hợp PID với các phương pháp điều khiển phi tuyến để điều khiển các đối tượng phức tạp, với sự phát triển mạnh mẽ và nhanh chóng của khoa học kỹ thuật đã cho ra đời nhiều phương pháp điều khiển thông minh, và điều khiển Mờ được xem là một trong những phương pháp đó. Điều khiển Mờ có đặc điểm là phỏng theo quá trình xử lý thông tin và ra quyết định điều khiển giống như con người. Phương pháp này rất thích hợp để điều khiển các đối tượng phức tạp, không xác định được mô hình toán. Tuy nhiên, bộ điều khiển Mờ trực

tiếp thường được thiết kế dựa vào kinh nghiệm chuyên gia và mang tính “thử sai”. Do đó, khi gặp các đối tượng phức tạp, người thiết kế sẽ mất rất nhiều thời gian mà kết quả có được lại không tối ưu.

Để khắc phục nhược điểm này của bộ điều khiển Mờ trực tiếp, đã có nhiều công trình nghiên cứu kết hợp bộ điều khiển Mờ với các bộ điều khiển khác, nhằm tối ưu hóa chất lượng điều khiển, như: điều khiển ổn định tốc độ động cơ DC với bộ điều khiển PID Mờ lai [2-4]; kết hợp bộ điều khiển Mờ và thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO) để tự chỉnh định và tối ưu hóa các thông số của bộ điều khiển PID, giúp robot bám quỹ đạo cho trước [5]; hay kết hợp 3 bộ điều khiển là trượt - Mờ - PID để khắc phục hiện tượng dao động tần số cao của bộ điều khiển trượt [6].

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Mô hình toán học lò nhiệt

Mô hình toán học của lò nhiệt được xác định bằng phương pháp thực nghiệm. Cấp nhiệt độ tối đa cho lò (công suất P = 100%), nhiệt độ của lò tăng dần và đạt đến ngưỡng bảo sau một khoảng thời gian nhất định. Mô hình hệ thống lò nhiệt và đặc tính nhiệt độ theo thời gian được biểu diễn như Hình 1.

Hàm truyền của lò nhiệt được cho bởi:

G(s) = (Ke^(-Ts)) / (T2s + 1) (1)

Tuyến tính hóa hệ thống ta được:

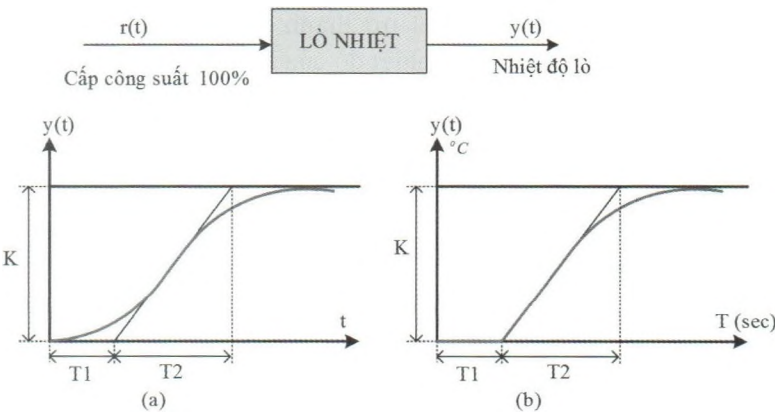
G(s) = K / [(T1s + 1)*(T2s + 1)] (3)

Từ (3) suy ra hàm truyền lò nhiệt tuyến tính là:

G(s) = 200 / [(60s + 1)*(720s + 1)] (4)

Hình 1: Sơ đồ khối và đặc tính thời gian của lò nhiệt

(a) Đặc tính chính xác (b) Đặc tính gần đúng



Bảng 1. Các thông số của lò nhiệt

STT	Kí hiệu	Ý nghĩa	Giá trị	Đơn vị
1	K	Độ lợi (giá trị đặt)	200	°C
2	T1	Thời gian trễ	Max = 60	giây
3	T2	Thời gian quán tính	Max = 720	giây

Với các thông số của hệ thống được chọn như Bảng 1.

Giải thuật điều khiển PID kinh điển được biểu diễn như sau:

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(x)dx + K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{5}$$

Suy ra Hàm truyền Bộ điều khiển PID là:

$G_{PID} = K_p + K_I/S + K_D S \tag{6}$

Trong đó:

$K_p = 1.2*(T_2/T_1 K) = 0.072 \tag{7}$

$K_I = K_p/2T_1 = 0.0006 \tag{8}$

$K_D = K_p*(0.5T_2) = 2.16 \tag{9}$

3.2. Giải pháp đề xuất

Mô hình hệ thống điều khiển ổn định nhiệt độ của lò sấy với bộ điều khiển thông minh PID-Mờ được thiết kế dựa trên nguyên lý như Hình 2. Áp dụng mô hình Mờ Mamdani gồm có hai ngõ vào và một ngõ ra. Trong đó, đầu vào thứ nhất của bộ Mờ là “e(t)”, là sai lệch giữa nhiệt độ đặt và nhiệt độ thực, đầu vào thứ hai của bộ Mờ là [de(t)/dt], là nhiệt độ biến thiên theo thời gian [de(t)/dt] của sai

lệch sai lệch độ. Đầu ra của bộ Mờ là hệ số chỉnh định các hệ số K_p, K_I và K_D. Căn cứ vào kết quả mô phỏng điều khiển tốc độ với bộ điều khiển PID kinh điển ứng với các giá trị nhiệt độ, ta có thể xác định được miền giới hạn đối của các biến vào và ra trong hệ thống điều khiển Mờ.

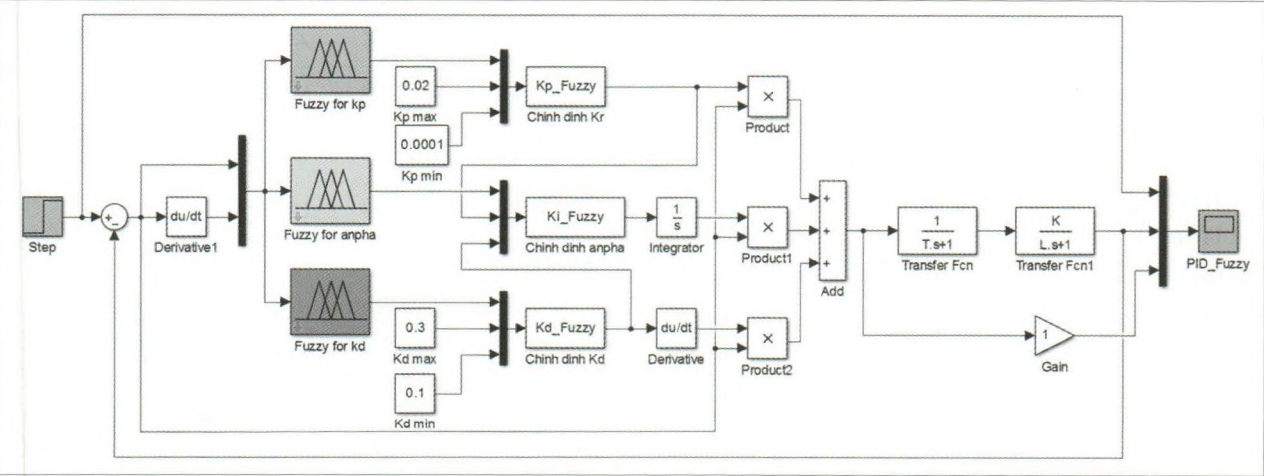
- 3.2.1. Định nghĩa các biến vào/ra bộ Mờ.
- Đầu vào: gồm có 2 biến là sai lệch và đạo hàm sai lệch nhiệt độ.
 - + Sai lệch: ET = (nhiệt độ đặt) - (nhiệt độ đo); (chu kỳ lấy mẫu T = 1s)
 - + Đạo hàm của sai lệch

$$DET = \frac{ET(1 + 1) - ET(i)}{T}$$

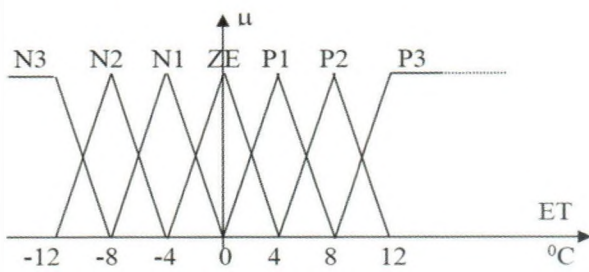
- Đầu ra: có 3 biến của 3 bộ Mờ, lần lượt là K_p, K_I và K_D.
- Số lượng biến ngôn ngữ được chọn là 7, cụ thể là: Âm nhiều (N3); Âm vừa (N2); Âm ít (N1); Zero (ZE); Dương ít (P1); Dương vừa (P2); Dương nhiều (P3).

- 3.2.2. Xác định tập Mờ cho các biến vào/ra
- Miền giá trị các biến vào:
 - + Sai lệch ET: ET ∈ [-12 12]
 - + Đạo hàm của sai lệch: DET ∈ [-0.6 0.6]
 - Miền giá trị biến ra: Hệ số K_p ∈ [0 1], K_I ∈ [0 2], K_D ∈ [0 1]
 - Tập Mờ các biến vào:
 - + Sai lệch ET = {N3, N2, N1, ZE, P1, P2, P3}
- Biểu diễn hàm liên thuộc tập Mờ của biến ET như Hình 3.
- + Tốc độ của sự thay đổi DET = DET = {N3, N2, N1, ZE, P1, P2, P3}

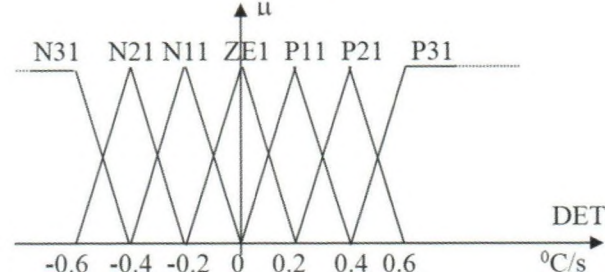
Hình 2: Sơ đồ điều khiển nhiệt độ lò sấy bằng bộ điều khiển thông minh



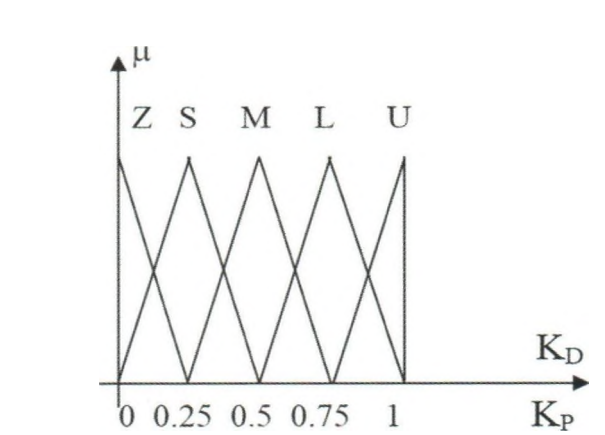
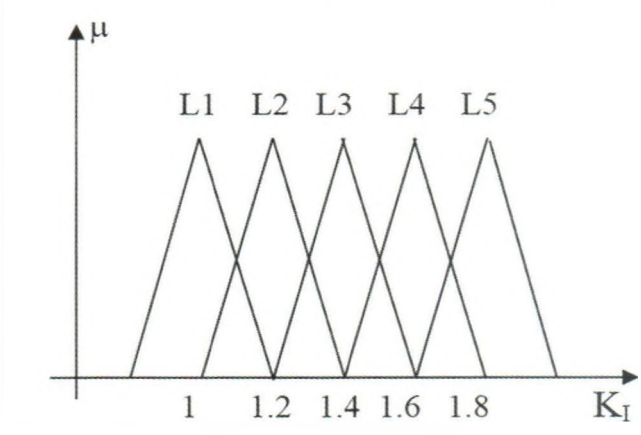
Hình 3: Hàm liên thuộc ngõ vào ET



Hình 4: Hàm liên thuộc ngõ vào DET



Hình 5: Hàm liên thuộc ngõ ra K_P , K_I , và K_D



Biểu diễn hàm liên thuộc tập Mờ của biến DET như Hình 4.

- Tập Mờ các biến đầu ra K_P và K_D : {zero, nhỏ, trung bình, lớn, rất lớn} = {Z, S, M, L, U}
- Tập Mờ các biến đầu ra K_I : {mức 1, mức 2, mức 3, mức 4, mức 5} = {L1, L2, L3, L4, L5}

Biểu diễn hàm liên thuộc tập Mờ của biến đầu ra như Hình 5.

3.2.3. Xây dựng luật điều khiển

Có tổng cộng $7 \times 7 \times 3 = 147$ luật IF...Then, các luật hợp thành Mờ được thể hiện lần lượt như như Bảng 2, Bảng 3 và Bảng 4 như sau:

- Luật hợp thành Mờ: Chọn luật MAX - MIN
- Giải Mờ: Theo phương pháp trọng tâm.

4. Kết quả nghiên cứu

Trong phần này, tác giả thực hiện mô phỏng Matlab để đánh giá chất lượng của bộ điều khiển thông minh so với bộ điều khiển PID kinh điển. Các thông số sử dụng trong mô phỏng được trình bày như Bảng 5.

- Kết quả mô phỏng với nhiệt độ đặt là 200oC: Kết quả điều khiển như Hình 6.

Bảng 2. Luật chỉnh định K_P

KP		DET						
		N3	N2	N1	ZE	P1	P2	P3
ET	N3	U	U	U	U	U	U	U
	N2	L	L	L	L	L	L	L
	N1	M	M	M	M	M	M	M
	ZE	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
	P1	M	M	M	M	M	M	M
	P2	L	L	L	L	L	L	L
	P3	U	U	U	U	U	U	U

Kết quả điều khiển với nhiệt độ đặt trước là 200oC được thể hiện như Hình 6. Dễ dàng thấy được cả 2 bộ điều khiển đều đạt chất lượng điều khiển rất tốt. Tuy nhiên, bộ điều khiển thông minh có độ vọt lố và thời gian xác lập nhỏ hơn bộ điều

Bảng 3. Luật chỉnh định K_I

KP		DET						
		N3	N2	N1	ZE	P1	P2	P3
ET	N3	L1	L1	L1	L1	L1	L1	L1
	N2	L3	L2	L2	L1	L2	L2	L3
	N1	L4	L3	L2	L1	L2	L3	L4
	ZE	L5	L4	L3	L2	L3	L4	L5
	P1	L4	L3	L2	L1	L2	L3	L4
	P2	L3	L2	L2	L1	L2	L2	L3
	P3	L1	L1	L1	L1	L1	L1	L1

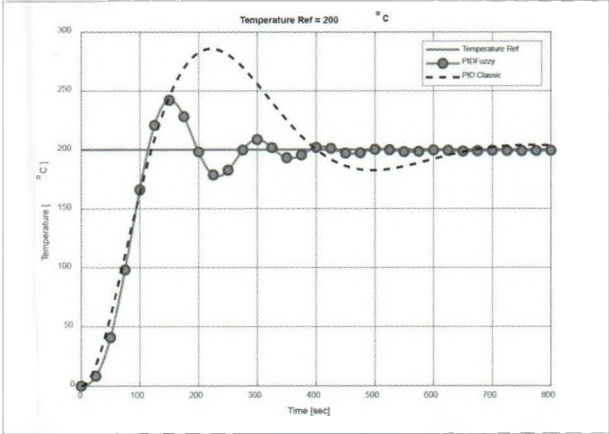
Bảng 4. Luật chỉnh định K_D

KP		DET						
		N3	N2	N1	ZE	P1	P2	P3
ET	N3	U	U	U	U	U	U	U
	N2	L	L	M	M	M	L	L
	N1	M	M	M	M	M	M	M
	ZE	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
	P1	M	M	M	M	M	M	M
	P2	L	L	M	M	M	L	L
	P3	U	U	U	U	U	U	U

Bảng 5. Các thông số sử dụng trong mô phỏng

STT	Thông số	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Nhiệt độ đặt	K	200 -500	°C
2	Thời gian trễ	T1	60	giây
3	Thời gian quán tính	T2	720	giây
4	Hệ số tỷ lệ	KP	0.072	
5	Hệ số tích phân	KI	0.0006	
6	Hệ số vi phân	KD	2.16	

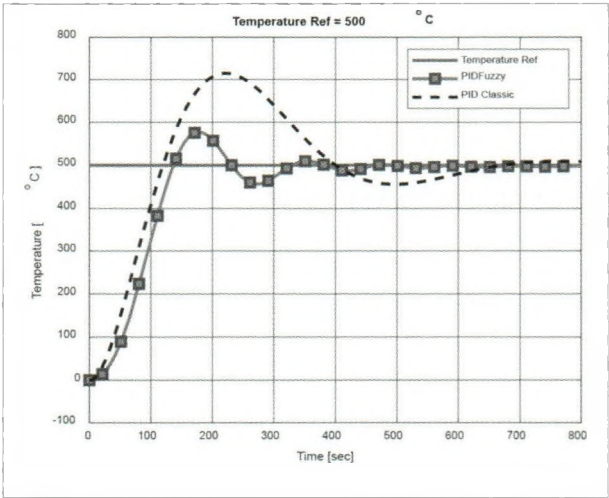
Hình 6: Kết quả điều khiển với nhiệt độ đặt là 200°C



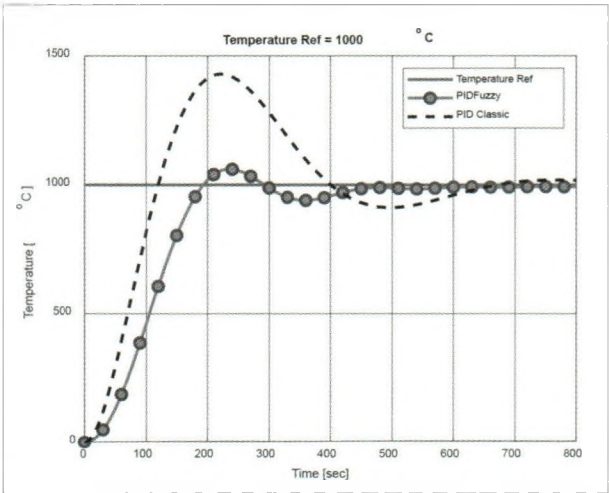
khiển PID. Điều này chứng tỏ bộ điều khiển thông minh tốt hơn bộ điều khiển PID kinh điển.

- Kết quả mô phỏng với nhiệt độ đặt là 500°C: Kết quả điều khiển như Hình 7. Khi giá trị nhiệt

Hình 7: Kết quả điều khiển với nhiệt độ đặt là 500°C



Hình 8: Kết quả điều khiển với nhiệt độ đặt là 1000°C



độ tăng lên 500°C thì độ vọt lố và thời gian xác lập của bộ điều khiển PID vẫn cao hơn độ vọt lố và thời gian xác lập của bộ điều khiển thông minh. Nói cách khác, bộ điều khiển thông minh vẫn hoạt động tốt hơn bộ điều khiển PID trong trường hợp này.

- Kết quả mô phỏng với nhiệt độ đặt là 1000°C: Hình 8 cho thấy kết quả điều khiển khi nhiệt độ đặt được nâng cao lên mức 1000°C. Dễ dàng nhận ra rằng bộ điều khiển thông minh vẫn tốt hơn bộ điều khiển PID. Cụ thể là bộ điều khiển thông minh cho đáp ứng với độ vọt lố chưa đến 10% trong khi bộ điều khiển PID có độ vọt lố lên đến 40%. Mặt khác, bộ điều khiển PID có thời gian xác lập hơn 800s so với 500s của bộ điều khiển thông minh.

5. Kết luận và khuyến nghị

Bài viết đã nghiên cứu và đề xuất giải pháp cải thiện chất lượng bộ điều khiển PID kinh điển bằng bộ điều khiển thông minh. Điểm nổi bật của nghiên cứu là đã thiết kế và mô phỏng thành công bộ điều khiển thông minh trên cơ sở ứng dụng bộ điều khiển Logic Mờ. Kết quả nghiên cứu cho thấy bộ điều khiển thông minh có thể điều khiển ổn định nhiệt độ của lò sấy với sai số xác lập gần như bằng 0. Hơn nữa, bộ điều khiển thông minh cải thiện đáng kể về độ vọt lố và thời gian xác lập so với bộ điều khiển PID thông thường. Điều này chứng tỏ bộ điều khiển đề xuất đạt được chất lượng điều khiển tốt, cũng như có thể khắc phục được nhược điểm của PID, giúp cho hệ thống hoạt động hiệu quả và tiết kiệm năng lượng hơn ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Nguyen Gia Minh Thao, Duong Hoai Nghia and Nguyen Huu Phuc (2010). A PID backstepping controller for two-wheeled self-balancing robot. *International Forum on Strategic Technology 2010*, 13 December 2010 (pp. 76-81). Ulsan, Korea (South).
2. Z. X. Ming and L. S. Yu (2012). Simulation Study on Fuzzy PID Controller for DC Motor Based on DSP. *International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering*, 23-25 August 2012 (pp. 1628-1631). Xi'an, China.
3. A.H. Gomaa Haroun, Yin-ya Li, A. (2017). Novel optimized hybrid fuzzy logic intelligent PID controller for an interconnected multi-area power system with physical constraints and boiler dynamics. *ISA Transactions*, 71, 364-379.
4. Kota, Venkata Reddy & Kommula, Bapayya (2015). Performance evaluation of Hybrid Fuzzy PI speed controller for Brushless DC motor for Electric vehicle application. *Conference on Power, Control, Communication and Computational Technologies for Sustainable Growth (PCCCTSG)*, 11-12 December 2015 (pp. 266-270. Kurnool, India.
5. Phạm Hoàng Quân (2012). *Điều khiển Mờ mobile robot dùng thuật toán tối ưu bầy đàn*. Luận văn tốt nghiệp cao học, Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh.
6. Đặng Hữu Phúc (2012). Thiết kế, thi công và điều khiển Mờ hệ con nôm ngược. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Trà Vinh*, 05, 2-9.

Ngày nhận bài: 27/11/2022

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 25/12/2022

Ngày chấp nhận đăng bài: 15/1/2023

Thông tin tác giả:

TRIỆU QUỐC HUY

Trường Đại học Trà Vinh

**USING THE INTELLIGENT CONTROLLER
TO STABLY CONTROL THE TEMPERATURE
OF AGRICULTURAL DRYING CABINET**

● **TRIỆU QUỐC HUY**

Tra Vinh University

ABSTRACT:

This study presents the design and application of an intelligent controller for stably controlling temperature of an agricultural drying cabinet. The study also compares this intelligent controller's effectiveness to that of the conventional PID controller. By using the Ziegler - Nichols method for PID controller, this study develop a model to analyze and calculate K_p , K_i , K_d parameters. Based on the model's results, an intelligent controller is developed by using the PID-Fuzzy controller. The study is done by using the Matlab simulation method. The study's results show that the proposed intelligent controller has a better quality than that of the conventional PID controller.

Keywords: temperature modeling, automatic control, PID controller, fuzzy control, intelligent control.