

CONTROL OF TEMPERATURE AND LIQUID LEVEL IN MIXING TANK USING FUZZY METHOD ON REAL MODEL

Ngô Mạnh Tung^{1*}, Bui Trong Lap², Do Thi Kim Thoa²,
Nguyen Hong Hanh², Cao Thi Nhu Quynh², Phi Hoang Nha¹

¹Hanoi University of Industry, ²Vinhphuc Vocational College

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	08/5/2024	Temperature and liquid level are crucial parameters in the food and beverage production line. In the raw material mixing tank, the two temperature and liquid level control loops are not entirely independent; instead, they exhibit cross-interactions, leading to difficulties in controlling each parameter individually. This study proposes and designs an application of an integrated PID-fuzzy controller to minimize the mutual influence between the temperature control loop and the level control loop. The proposed integrated control structure is based on fuzzy rules to ensure optimal output signals and enhance the stability of both temperature and level variables. Integrating fuzzy information also helps mitigate the impact of system noise on control quality. The feasibility and effectiveness of the proposed controller are experimentally verified using the CE117 module from Tecquipment. The two output variables, temperature and liquid level, maintain rapid stability to set values in cases of setpoint changes and variations in disturbance variables.
Revised:	09/7/2024	
Published:	11/7/2024	
KEYWORDS		
Fuzzy controller		
PID controller		
Temperature control		
Level control		
CE 117		

ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ VÀ MỨC CHẤT LỎNG TRONG BÌNH TRỘN ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP MỜ TRÊN MÔ HÌNH THỰC

Ngô Mạnh Tùng^{1*}, Bùi Trọng Lập², Đỗ Thị Kim Thoa²,
Nguyễn Hồng Hạnh², Cao Thị Như Quỳnh², Phí Hoàng Nha¹

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, ²Cao đẳng nghề Vĩnh Phúc

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	08/5/2024	Nhiệt độ và mức chất lỏng là những thông số quan trọng trong dây chuyền sản xuất thực phẩm và đồ uống. Trong bình trộn nguyên liệu, hai vòng điều khiển nhiệt độ và mức chất lỏng không hoàn toàn độc lập, mà chúng có sự tương tác chéo gây khó khăn trong việc kiểm soát từng đại lượng. Nghiên cứu này đề xuất và thiết kế ứng dụng bộ điều khiển tích hợp PID- mờ nhằm giảm thiểu sự ảnh hưởng lẫn nhau giữa vòng điều chỉnh nhiệt độ và điều chỉnh mức. Cấu trúc điều khiển tích hợp đề xuất dựa trên các quy tắc mờ đảm bảo tín hiệu đầu ra tối ưu và nâng cao sự ổn định của hai biến nhiệt độ và mức. Việc tích hợp thông tin mờ cũng làm hạn chế sự ảnh hưởng của nhiễu hệ thống tới chất lượng điều khiển. Kết quả và tính khả thi của bộ điều khiển đề xuất được tiến hành thực nghiệm trên module CE117 của hãng Tecquipment. Hai đại lượng đầu ra là nhiệt độ và mức chất lỏng duy trì ổn định bám theo giá trị đặt trong các trường hợp thay đổi điểm đặt và sự cố biến thiên của biến nhiễu.
Ngày hoàn thiện:	09/7/2024	
Ngày đăng:	11/7/2024	
TỪ KHÓA		
Điều khiển mờ		
Bộ PID		
Điều khiển nhiệt độ		
Điều khiển mức		
Mô hình CE 117		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.10323>

* Corresponding author. Email: tung_nm@hau.edu.vn

1. Giới thiệu

Trong quá trình sản xuất thực phẩm và đồ uống, các đại lượng như nhiệt độ và mức cần được điều khiển ổn định trong bình chứa theo yêu cầu công nghệ nhằm đảm bảo sản phẩm cuối cùng có chất lượng đồng đều và đảm bảo vệ sinh an toàn thực phẩm. Hai yếu tố này luôn có sự tác động tương tác, ảnh hưởng lẫn nhau, gây khó khăn cho việc thiết kế hệ thống điều khiển.

Mạch vòng nhiệt độ đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì giá trị ổn định. Một nhiệt độ thích hợp có thể tăng tốc độ phản ứng, tăng độ nhớt của chất lỏng và tăng khả năng hòa tan của các thành phần trong bình trộn [1]. Việc kiểm soát nhiệt độ có tính trễ có thể dẫn đến các phản ứng chậm và gây ra sự mất ổn định của bộ điều khiển. Sự mất ổn định của hệ thống có thể được khắc phục bằng cách sử dụng bộ điều khiển mờ để điều chỉnh và theo dõi nhiệt độ nước trong một khoảng thời gian cụ thể để tránh bị quá nhiệt và sai số, thông qua kinh nghiệm và việc thực nghiệm với hệ thống của người thiết kế [2], [3]. Ngoài ra, một số công trình sử dụng bộ điều khiển PID và phương pháp mờ có xét đến ảnh hưởng của nhiễu, tuy nhiên thường chỉ xét đến các nhiễu dạng xung hoặc bước nhảy [4], [5], hoặc chỉ xét đến sự tác động của công suất quạt tản nhiệt ở một giá trị cố định khi hoạt động [6], hoặc có xét đến ảnh hưởng của vòng điều khiển mức chất lỏng song sai lệch của đáp ứng nhiệt độ còn cần được cải thiện [7].

Mức chất lỏng là đại lượng ảnh hưởng lớn đến chất lượng trong các bình trộn. Mức nước không đúng có thể dẫn đến sai lệch tỷ lệ pha, hiệu suất kém và thậm chí là mất an toàn khi vận hành. Tuy nhiên, việc duy trì mức không hề đơn giản vì tính phi tuyến của hệ thống. Có rất nhiều công trình sử dụng bộ điều khiển PID để kiểm soát mức nhưng việc tính toán còn phụ thuộc vào mô hình toán học đối tượng [8], [9] hoặc có hiệu suất chưa cao [10]. Bên cạnh đó, trong [11], một bộ điều khiển mờ được thiết kế mà không cần thông số chính xác từ mô hình và hạn chế được ảnh hưởng của nhiễu. Bộ điều khiển mờ cung cấp kết quả tốt hơn trên phạm vi rộng của điểm đặt mực nước [12] – [16].

Dù vậy, đa số các công trình trên chỉ tiến hành điều khiển các bài toán nhiệt độ và bài toán ổn định mức chất lỏng một cách độc lập, cũng như hạn chế ở khả năng kiểm chứng trên mô hình thực nghiệm. Bài báo này đề xuất điều khiển tích hợp PID- mờ áp dụng điều chỉnh đồng thời hai thông số cần điều khiển là nhiệt độ và mức chất lỏng trong một bình trộn, đảm bảo giảm độ vọt lố và thời gian xác lập so với bộ điều khiển PID kinh điển. Trong cấu trúc điều khiển này, tín hiệu điều khiển mờ được sử dụng ở giai đoạn quá độ hoặc hệ thống xuất hiện dao động mạnh, còn bộ PID sẽ làm việc khi hệ đã xác lập. Cụ thể là bộ điều khiển mờ sử dụng để điều khiển nhanh tại thời điểm bắt đầu hoạt động hoặc khi sai lệch còn lớn. Sau đó, bộ PID được sử dụng như một thành phần tinh chỉnh giúp bám sát tín hiệu đặt [14]. Khi đó cấu trúc điều khiển đề xuất có ưu điểm là vận dụng hai bộ điều khiển PID và PID-mờ làm việc song song, bù trừ cho nhau để hệ luôn nhanh chóng quay về trạng thái ổn định. Hệ quả là hệ thống điều khiển có khả năng giảm thiểu sự tác động chéo mà không cần mô hình hóa quá trình tương tác lẫn nhau giữa hai vòng điều khiển.

Một hệ thống thực nghiệm sử dụng card DAQ thu thập tín hiệu thời gian thực được thiết lập để kiểm nghiệm khả năng điều khiển của cấu trúc đề xuất ứng với mạch vòng nhiệt độ và mạch vòng mức. Các kết quả thực nghiệm thu được cho thấy các đại lượng đầu ra bám theo mức đặt mong muốn và giảm thiểu các tác động chéo giữa hai vòng điều khiển.

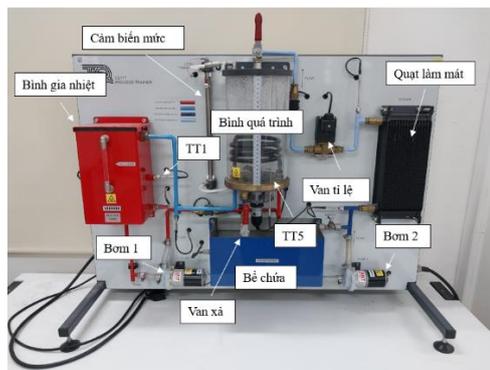
2. Thiết kế hệ thống điều khiển

2.1. Giới thiệu các vòng điều khiển

Mô hình quá trình CE117 ở Hình 1 bao gồm hai mạch vòng kín: điều khiển nhiệt độ và điều khiển mức chất lỏng. Vòng điều khiển nhiệt độ sử dụng khối gia nhiệt để tăng nhiệt độ dòng chất lỏng nóng để đưa tới bình trộn thực hiện quá trình trao đổi nhiệt với lượng chất lỏng trong bình. Các phần tử chính của vòng điều khiển nhiệt độ là: Bình gia nhiệt, bơm 1, cảm biến nhiệt độ TT1, cảm biến nhiệt độ TT5. Trong bài báo này, bộ điều khiển nhiệt độ điều khiển cơ cấu chấp hành là bơm 1 để kiểm soát nhiệt độ trong bể chứa.

Vòng điều khiển mức có vai trò duy trì mức chất lỏng trong bình trộn, bao gồm các phần tử chính là: Bể chứa, bơm 2, bình quá trình, van xả, van tỉ lệ, cảm biến mức LT. Chú ý rằng, quạt làm mát được coi là nhiễu tác động đối với mạch vòng điều khiển nhiệt độ. Ngoài ra, độ mở của van xả được coi là nhiễu đối với mạch vòng điều khiển mức. Bộ điều khiển mức điều khiển bơm 2 để kiểm soát mức chất lỏng trong bể.

Như vậy, mô hình hệ quá trình CE117 là một hệ MIMO với 2 đầu vào (điện áp bơm 1, điện áp bơm 2) và 2 đầu ra (nhiệt độ, mức chất lỏng). Trong đó, nhiệt độ bể chứa phụ thuộc chủ yếu do lưu lượng nước gây bởi bơm 1 (hay chính là phụ thuộc vào điện áp đặt vào bơm 1), ta có thể gọi đây là mạch vòng nhiệt độ; mức chất lỏng trong bể chịu tác động chính bởi lưu lượng do bơm 2 tạo ra (hay chính là điện áp đặt vào bơm 2), ta có thể gọi đây là mạch vòng mức. Hai mạch vòng này có tác động xen kẽ gây khó khăn trong việc kiểm soát chính xác các đại lượng đầu ra. Vì vậy, bài báo này thiết kế hệ thống điều khiển sử dụng bộ điều khiển mờ lai, trong đó phân tín hiệu điều khiển mờ có ý nghĩa quan trọng là giảm thiểu sự tương tác chéo giữa hai vòng điều khiển nhiệt độ và mức.



Hình 1. Mô hình hệ quá trình CE117

Trước tiên, các bộ điều khiển tỉ lệ- tích phân cần được tổng hợp để tạo nên bộ điều khiển mờ lai đề xuất. Để tính toán các tham số điều khiển của PI cần dựa trên hàm truyền của các vòng điều khiển nhiệt độ và mức thông qua phương pháp nhận dạng thực nghiệm.

Đối với vòng điều khiển nhiệt độ, quá trình nhận dạng thực nghiệm được tiến hành bằng tín hiệu điện áp kích thích vào bơm 1 là 9V với quạt làm mát với 50% công suất, thu được tín hiệu phản hồi từ cảm biến nhiệt độ TT5. Khối tỉ lệ được sử dụng để đồ thị đáp ứng thu được quy đổi về độ C (quy đổi tín hiệu cảm biến nhiệt độ: 0,1V tương đương 1 độ C). Tương tự, thực hiện quá trình nhận dạng thực nghiệm mức bởi tín hiệu điện áp 7V vào bơm 2 thu được tín hiệu cảm biến phản hồi mức của quá trình. Tín hiệu điện áp cảm biến LT trả về nằm trong khoảng 0-10V tương ứng với mức chất lỏng trong ống cảm biến bằng 0 cho đến khi đầy. Kết quả thực nghiệm nhận dạng hàm truyền được kế thừa từ công trình [7], trong đó không thực hiện việc nhận dạng hàm truyền phản ánh sự tác động chéo giữa hai vòng điều khiển bởi đòi hỏi sự phức tạp và độ chính xác cao hơn. Do đó, bài báo này tập trung ứng dụng phương pháp mờ dựa trên thực nghiệm điều khiển để cải thiện sự tác động chéo này cũng như sự dao động của hệ thống khi xuất hiện các nhiễu bên ngoài.

2.2. Thiết kế bộ điều khiển PI

Mô hình toán học của mạch vòng nhiệt độ và mạch vòng mức theo phương pháp nhận dạng thực nghiệm [17], sử dụng card giao tiếp PCIe (hãng NI) với phần mềm Matlab Simulink, thu được:

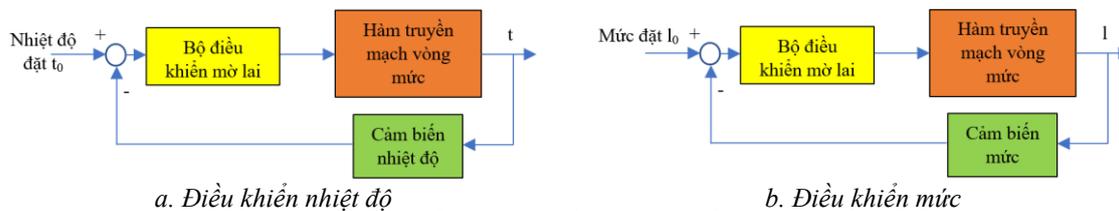
Hàm truyền đạt mạch vòng nhiệt độ và vòng mức nước [7]:

$$G_t(s) = \frac{0.11}{40.05s + 1} e^{-6.65s} \quad G_l(s) = \frac{1,3642}{83,92s + 1} \quad (1)$$

Bộ điều khiển mạch vòng nhiệt độ và điều khiển mức theo phương pháp tổng thời gian T của Kuhn [18]:

$$R_t(s) = 5,8 \left(1 + \frac{1}{25,35s} \right) \quad R_l(s) = 2,9 \left(1 + \frac{1}{100,5s} \right) \quad (2)$$

Cấu trúc hệ thống điều khiển nhiệt độ và mức chất lỏng thể hiện lần lượt trên Hình 2 (a,b).



Hình 2. Cấu trúc hệ thống với bộ điều khiển PI

2.3. Thiết kế bộ điều khiển PI- mờ

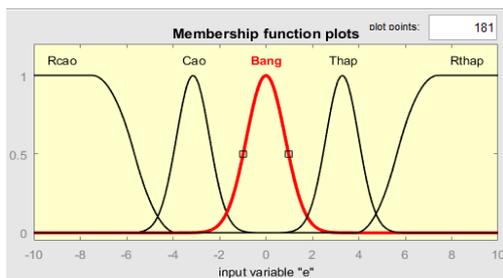
Cấu trúc điều khiển tích hợp mờ và PI với hai đầu vào là sai lệch, tốc độ thay đổi của sai lệch như Hình 3 và Hình 4; hai đầu ra là tín hiệu điều khiển $U(t)$ và tín hiệu chuyển mạch của công tắc Switch. Công tắc Switch có nhiệm vụ đảm bảo tại mỗi thời điểm chỉ có một trong hai bộ điều khiển mờ hoặc bộ PI tác động tới đối tượng.

Sai lệch của hệ thống trong khoảng $[-10 \ 10]$ được xác định giữa sai số giá trị đặt và đầu ra hệ thống thực (Hình 3): $e(t) = y_r(t) - y(t)$ (3)

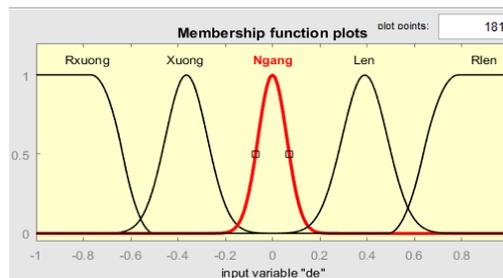
Sai số trong khoảng $[-1 \ 1]$ (Hình 4) xác định bởi phương trình:

$$\Delta e(t) = e(t) - e(t-1)$$
 (4)

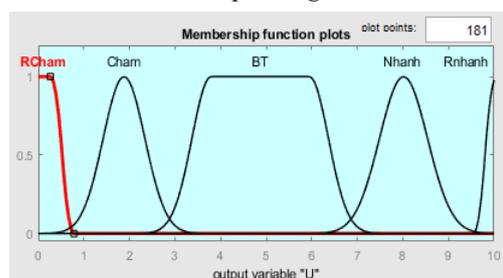
Phạm vi tập mờ đầu ra $u(t)$ Hình 5 và giá trị khóa switch ở Hình 6, được chọn theo phạm vi cho phép của hệ thống là điện áp cấp cho động cơ bơm một chiều từ 0 – 10V.



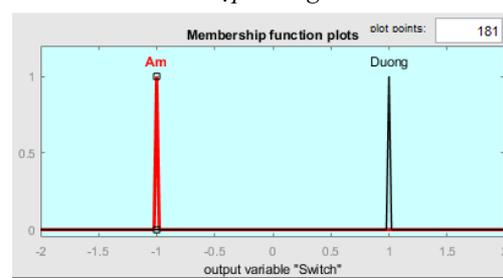
Hình 3. Tập mờ ngõ vào e



Hình 4. Tập mờ ngõ vào de



Hình 5. Tập mờ ngõ ra U



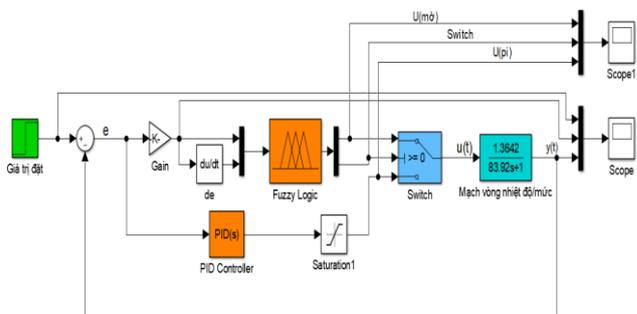
Hình 6. Tập mờ ngõ ra Switch

Bảng 1. Luật mờ

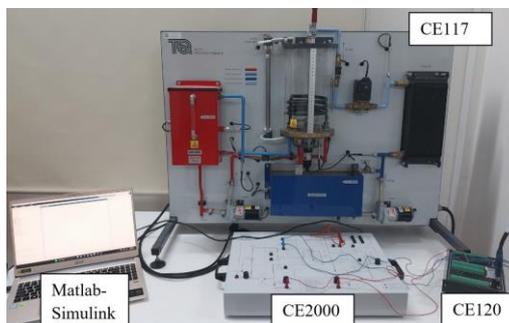
de	e				
	Rcao	Cao	Bang	Thap	Rthap
Rxuong	Rcham - D	BT - D	Nhanh - A	Rnhanh - D	Rnhanh - D
Xuong	Rcham - D	Cham - D	BT - A	Rnhanh - D	Rnhanh - D
Ngang	Rcham - D	Cham - A	BT - A	Nhanh - A	Rnhanh - D
Len	Rcham - D	Cham - D	BT - A	Nhanh - D	Rnhanh - D
RLen	Rcham - D	Rcham - D	Cham - A	BT - D	Rnhanh - D

Tập mờ của Switch trong khoảng $[-2 \ 2]$; khi đầu ra là tập $D = 1$ thì Switch chuyển tín hiệu cấp cho tối tượng đến đầu ra $U(t)$ của bộ điều khiển mờ còn khi đầu ra là tập $A = -1$ thì Switch chuyển mạch xuống đầu ra $U(t)$ của bộ điều khiển PI được vận hành như cấu trúc toàn hệ thống

Hình 7. Bộ phận quan trọng quyết định chất lượng điều khiển của bộ điều khiển Mờ là luật điều khiển. Các luật được sử dụng trong nghiên cứu này được trình bày trong Bảng 1.



Hình 7. Cấu trúc hệ thống PI- mờ



Hình 8. Hệ thống điều khiển thực nghiệm

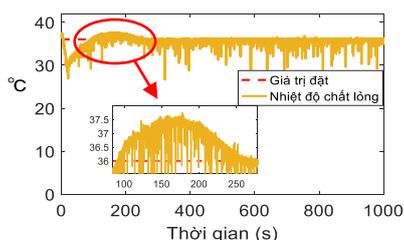
Cấu trúc đề xuất Hình 7 cho biết cách tạo ra tín hiệu U_{dk} điều khiển bơm và thực hiện nhiệm vụ đóng mở Switch chuyển mạch, cho phép bộ điều khiển mờ hoặc bộ điều khiển PI trong cấu trúc PI- mờ hoạt động luân phiên tương ứng với các trường hợp sai lệch lớn và nhỏ.

3. Thử nghiệm và kết quả

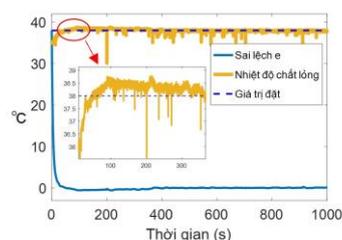
Trên cơ sở cấu trúc các bộ điều khiển đã được thiết kế ở phần 2. Trong phần này bài báo trình bày kết quả điều khiển nhiệt độ và mức chất lỏng trong bình trộn. Để thấy rõ tính ưu việt của các bộ điều chỉnh, nghiên cứu đã thử nghiệm các trường hợp có và không có nhiễu với mô hình thực nghiệm CE117 của hãng Tecquipment Hình 8.

Mô hình CE117 gồm có: mạch vòng kiểm soát nhiệt độ ở bên trái và mạch vòng kiểm soát mức ở bên phải. Hai mạch vòng này có sự tác động chéo lẫn nhau thông qua hệ bình trộn. Dòng chảy nóng và lạnh sẽ được bơm từ bể chứa lên bình trao đổi nhiệt, qua đó làm nóng dòng chảy lạnh, sau đó chất lỏng sẽ được xả ra dưới đáy bình thông qua van xả bằng tay (cũng là phần để thử tác động nhiễu lên hệ thống). Đầu ra các mạch vòng được thu thập nhờ các cảm biến, truyền qua card giao tiếp PCIe CE120 hãng NI gửi về máy tính phục vụ cho việc tính toán và điều khiển trở lại.

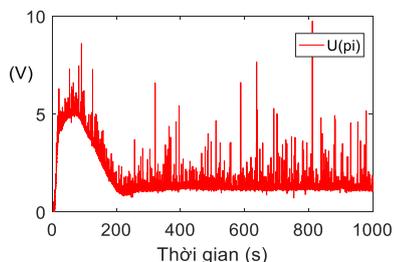
3.1. Kịch bản 1: Khi thay đổi giá trị đặt mức chất lỏng



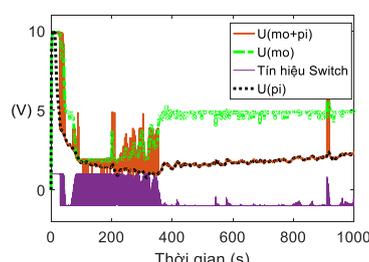
(a) Đáp ứng nhiệt độ với PI



(c) Đáp ứng nhiệt độ với PI- mờ



(b) Tín hiệu điều khiển ứng với bộ PI



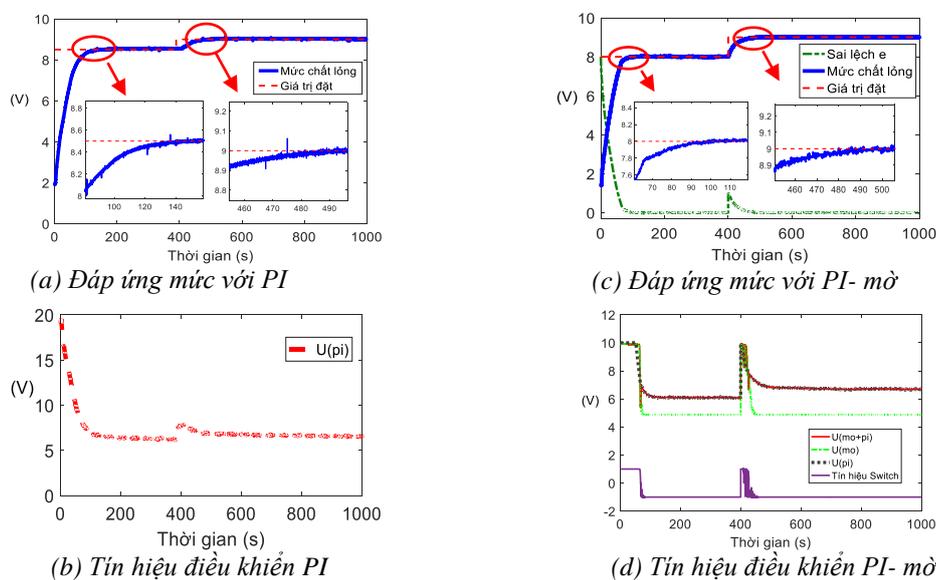
(d) Tín hiệu điều khiển PI- mờ

Hình 9. Kết quả điều khiển nhiệt độ với bộ PI (a,b) và bộ Mờ-PI (c,d)

Hình 9 (a, c) cho thấy thời gian quá độ của bộ PI- mờ là 150 s, của bộ PI là 250 s, ngoài ra bộ PI- mờ có độ quá điều chỉnh 1,3% thấp hơn so với bộ PI là 4,17%. Hình 9b là tín hiệu điều khiển tương ứng khi dùng bộ PI, còn Hình 9c là các tín hiệu điều khiển của bộ điều khiển đề xuất. Trong Hình 9c, ta thấy được rõ nguyên tắc làm việc của bộ PI- mờ, tín hiệu switch (màu tím) sẽ có giá trị là 1 khi đáp ứng chưa ổn định và lúc này tín hiệu điều khiển mờ (màu xanh) là chủ đạo, còn khi tín hiệu về mức thấp -1 tương ứng là khi đáp ứng nhiệt đã ổn định, tín hiệu mờ (màu xanh) lúc này không còn yếu tố điều khiển chính nữa, mà tín hiệu điều khiển chủ đạo là bộ PID.

Hình 10 (a,c) chỉ ra thời gian mức nước trong bình trộn bám giá trị đặt khi sử dụng bộ điều khiển PI là 130s, trong khi bộ PI- mờ nhanh hơn chỉ 90s với sai lệch tĩnh nhỏ, gần như bị triệt tiêu.

Nguyên lý hoạt động của công tắc switch cũng được chỉ ra trong Hình 10 (d). Trong 80s đầu, sai lệch $e(t)$ có giá trị lớn, do đó đầu ra của tập mờ Switch sẽ là tập $D \in [1 \ 1 \ 1]$ ($D = \text{Dương}$), tiếp điểm công tắc Switch ở vị trí đầu ra của điều khiển Mờ đưa đáp ứng tiến nhanh tới giá trị đặt. Sau giây thứ 80 khi sai lệch rất nhỏ, đầu ra của tập mờ Switch sẽ là tập $A \in [-1 \ -1 \ -1]$ ($A = \text{Âm}$), tiếp điểm công tắc chuyển tới vị trí đầu ra của bộ PI giúp đáp ứng bám sát tín hiệu đặt. Khi giá trị đặt tăng lên, sai lệch $e(t)$ lớn trở lại, tiếp điểm của Switch lại chuyển về vị trí đầu ra bộ Mờ. Ngoài ra, đáp ứng nhiệt độ được điều khiển gần như không bị tác động bởi sự thay đổi mức đặt chất lỏng.



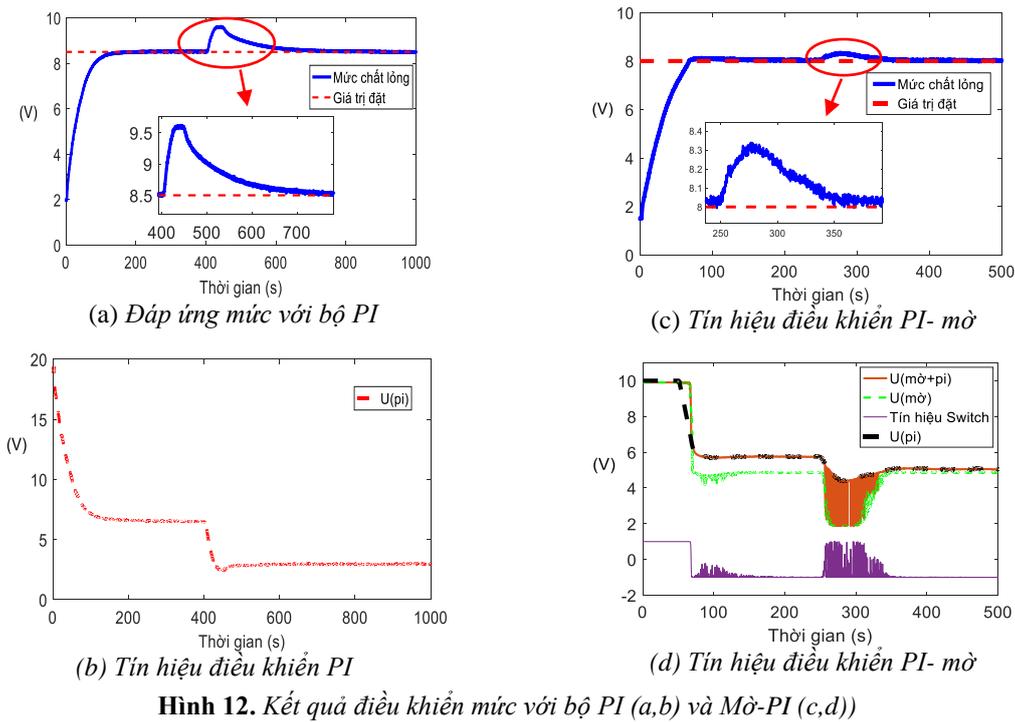
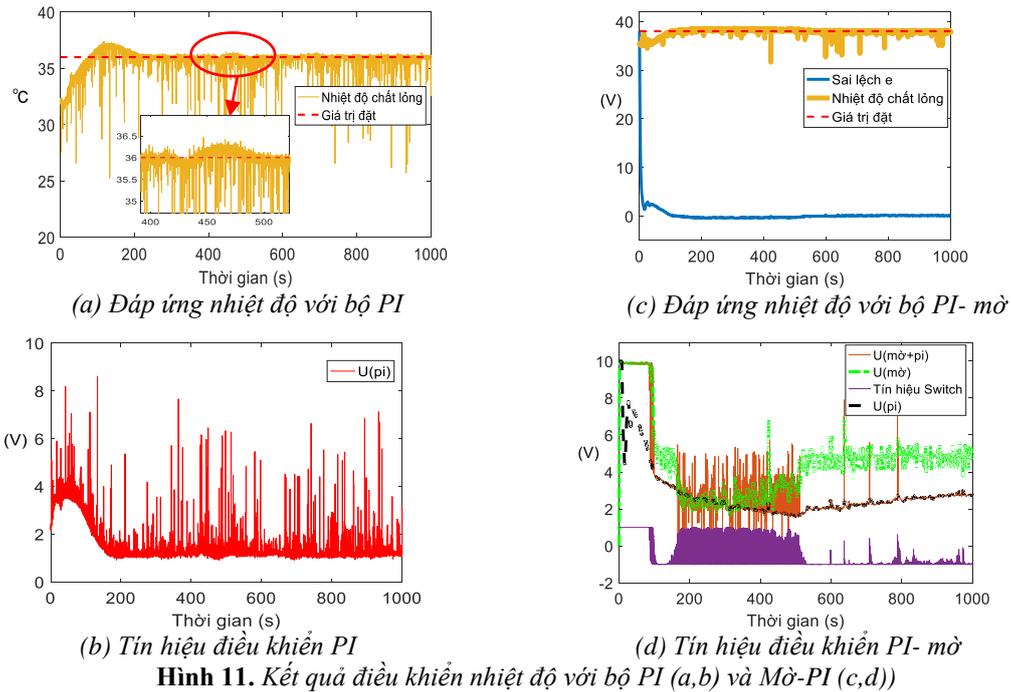
Hình 10. Kết quả điều khiển mức với bộ PI (a,b) và bộ Mờ-PI (c,d)

3.2. Kịch bản 2: Khi thay đổi góc mở van xả

Tác động nhiễu xuất hiện khi thay đổi độ mở van xả từ 100% xuống 80% tại thời điểm 400s đối với mạch vòng nhiệt độ. Hình 11 (a,c) cho thấy nhiệt độ khi sử dụng bộ PI tăng lên 0,3°C sau đó bám giá trị đặt, còn đáp ứng của hệ thống với bộ PI- mờ không bị ảnh hưởng.

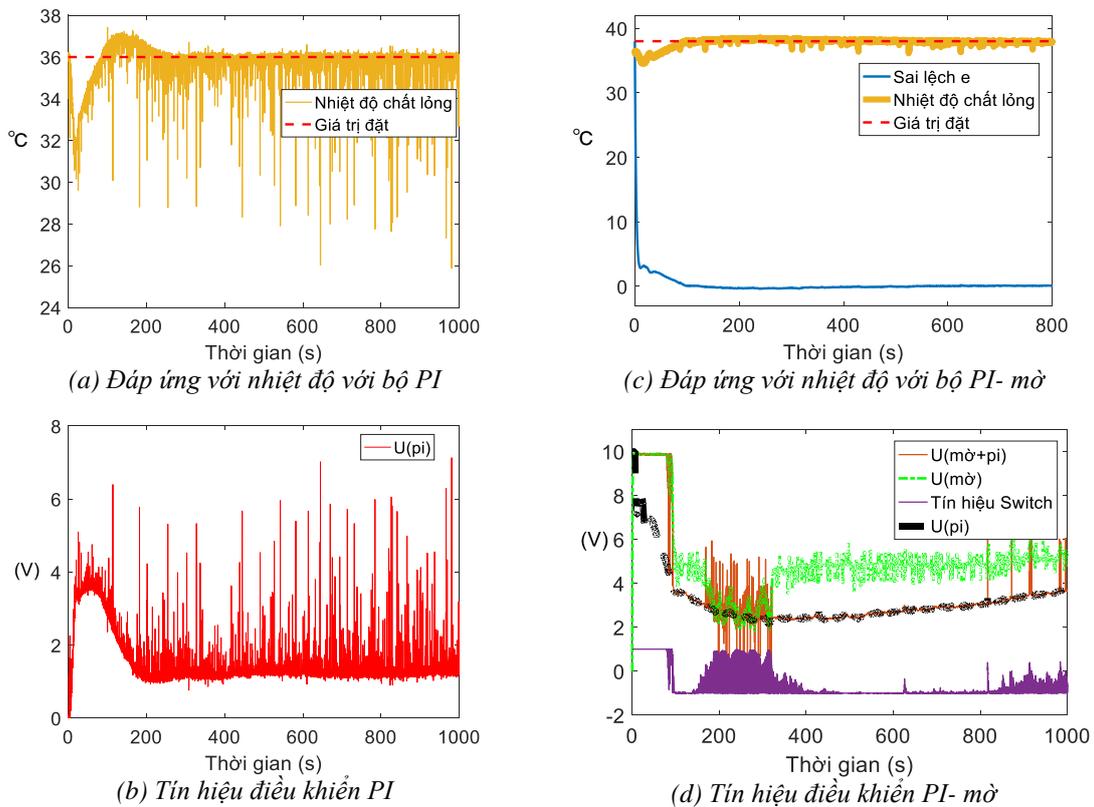
Đối với vòng điều khiển mức, khi thay đổi độ mở van xả, đáp ứng với bộ PI tăng vọt lên 1,6 V và cần 400s để ổn định từ khi tác động nhiễu Hình 12(a). Trong khi bộ PI- mờ chỉ vọt 0,3V và mất thời gian ngắn hơn là 130s để ổn định Hình 12(c).

Như vậy, bộ điều khiển đề xuất đã giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu (độ mở van xả) lên các đáp ứng nhiệt độ và mức chất lỏng.



3.3. Khi tăng công suất quạt lên 100%

Trong trường hợp này, khi nhiệt độ bình trộn đã đạt giá trị đặt, quạt làm mát ở mạch vòng điều khiển mức (dòng chảy lạnh) thay đổi công suất từ 50% lên 100% tại thời điểm 400s để giả lập tác động nhiễu từ bên ngoài. Kết quả Hình 13 cho thấy cả hai đáp ứng nhiệt độ đều không bị ảnh hưởng, bám sát tín hiệu đặt.



Hình 13. Kết quả điều khiển mức với bộ PI (a,b) và Mờ-PI (c,d)

4. Kết luận

Bài báo trình bày quá trình thiết kế và áp dụng một cấu trúc điều khiển PI- mờ trong việc kiểm soát đồng thời vòng điều khiển nhiệt độ và mức chất lỏng của quá trình bình trộn. Trong cấu trúc đề xuất, tín hiệu điều khiển mờ và tín hiệu điều khiển PI làm việc theo nguyên tắc xen kẽ, phụ thuộc vào khâu tín hiệu của một khóa Switch dựa trên độ lớn của sai lệch. Điều này làm giảm thiểu thời gian quá độ, sai lệch tĩnh trong quá trình điều khiển cũng như giảm thiểu sự tác động chéo của vòng điều khiển nhiệt độ và mức. Một hệ thống thực nghiệm được thiết lập cùng với việc so sánh kết quả với bộ PI truyền thống cho thấy bộ điều khiển PI- mờ đề xuất đạt các kết quả tốt hơn. Kết quả này có thể là giải pháp ứng dụng trong lĩnh vực sản xuất thực phẩm, đồ uống, lò hơi,... có yêu cầu cao về kiểm soát đồng thời nhiệt độ và mức chất lỏng của hệ thống bình trộn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] P. Singhala, D. N. Shah, and B. Patel, "Temperature Control using Fuzzy Logic," *I. J. of Instrumentation and Control Systems (IJICS)*, vol.4, no.1, pp. 1-6, January 2014.
- [2] E. S. Vincent, and A. T. Oluwaseul, "Application of Fuzzy Logic Temperature Controller for Water Bottle Industry," *Computer Engineering and Intelligent Systems*, vol. 10, no.2, pp. 16-22, 2019.
- [3] M. N. Taib, "Fuzzy Logic controller for glycerin bleaching temperature control," in *2010 6th International Colloquium on Signal Processing & its Applications*, 2010, pp. 250-254.
- [4] Mardlijah, A. M. Najar, and D. K. Arif, "Comparison between PID controller and fuzzy sliding mode control (FSMC) on super heater system," in *International Conference on Mathematics: Applied and Computation*, Series 1218, 2019, doi:10.1088/1742-6596/1218/1/012055.
- [5] D. F. Ahmed, "Fuzzy logic Control of Chemical Processes," *Engineering and Technology Journal*, vol. 1, no. 4, pp. 339-348, 2015

-
- [6] C. N. Nguyen, "Fuzzy control for RT040 temperature control unit," *CTU Journal of Innovation and Sustainable Development*, no. 27, pp. 18-24, 2013.
- [7] T. H. Nguyen, V. N. Hoang, and M. T. Ngo, "Research on process system control on real model CE117," *Hanoi University of Industry Journal of Science and Technology*, vol. 59, no. 6c, pp. 20-25, 2023
- [8] M. Jibril, "Water level control using Fuzzy Logic system," B.S.c Thesis, Arba Minch University, 2014.
- [9] T. M. Vu, V. H. Pham, T. Y. Vu, and M. T. Ngo, "Control of level in CE105 coupled tanks system," *Hanoi University of Industry Journal of Science and Technology*, vol. 59, no. 4, pp. 22-25, 2023.
- [10] F. Chabni, "The application of fuzzy control in water tank level using Arduino," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 7, no. 4, pp. 261-265, 2016.
- [11] S. Rani, "A comparative analysis of GA-PID, Fuzzy and PID for Water Bath System," *IJCES International Journal of Computer Engineering Science*, vol. 1, no. 2, pp. 69-74, 2011.
- [12] S. Krivie, "Design and Implementation of Fuzzy controller on Embedded computer for water level control," in *Proceedings of the 35th International Convention MIPRO*, Croatia, 2012, pp. 1-5.
- [13] C. N. Nguyen, "Fuzzy PI Controller: from Design to Application," *CTU Journal of Innovation and Sustainable Development*, no. 18a, pp. 89-92, 2011.
- [14] Z. Janin and R. Sam, "Performance evaluation for SE113 flow control system plant using self-tuning Fuzzy PI controller," in *IEEE 5th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*, Thailand, 2018, doi: 10.1109/ICSIMA.2018.8688799.
- [15] A. D. Tran, "Designing hybrid fuzzy controller for dc driver system," *Journal of Marine Science and Technology*, no. 20, pp. 24-29, 2009
- [16] T. T. Nguyen, "Design a hybrid fuzzy controller to control DC motor speed using FPGA technology", Thesis in Thai Nguyen University of Technology, 2020.
- [17] D. P. Nguyen and X. M. Phan, *Linear control theory*, Science and Technics Publishing House, Vietnam, 2008.
- [18] D. P. Nguyen, *Advanced control theory*, Science and Technics Publishing House, 2009.