

# NGHIÊN CỨU ĐIỀU KHIỂN HỆ QUÁ TRÌNH TRÊN MÔ HÌNH THỰC CE117

RESEARCH ON PROCESS SYSTEM CONTROL ON REAL MODEL CE117

Nguyễn Tuấn Hùng<sup>1</sup>, Hoàng Văn Nam<sup>1</sup>, Phạm Minh Thảo<sup>1</sup>,  
Hoàng Quốc Xuyên<sup>1</sup>, Nguyễn Bá Khả<sup>1</sup>, Ngô Mạnh Tùng<sup>1\*</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.246>

## TÓM TẮT

Bài báo này tập trung nghiên cứu điều khiển nhiệt độ và mức trong bình trộn quá trình sản xuất thực phẩm và đồ uống. Để đảm bảo chất lượng sản phẩm, việc kiểm soát nhiệt độ và mức trong bình trộn là rất quan trọng. Quá trình nhận dạng mô hình toán học cho hệ thống bình trộn thực CE117 được áp dụng trên cơ sở nhận dạng thực nghiệm, đảm bảo độ chính xác và tin cậy. Sau đó, từ các hàm truyền thu được, một phương pháp tổng hợp bộ điều khiển cho vòng điều khiển nhiệt độ và mức nước được thiết kế. Quá trình điều khiển hệ thống thực cho thấy các bộ điều khiển đề xuất đảm bảo nhiệt độ và mức chất lỏng bám theo giá trị đặt với sai số nhỏ trong các trường hợp có và không có nhiễu tác động.

**Từ khóa:** *Chỉnh định tham số PID, điều khiển nhiệt độ, điều khiển mức, CE117.*

## ABSTRACT

This article focuses on the control of temperature and level in mixing tanks used in food and beverage production. To ensure product quality, controlling the temperature and level in the mixing tank is essential. The process of identifying a mathematical model for the CE117 mixing tank system is based on experimental identification, ensuring accuracy and reliability. Subsequently, a synthesis method for a control system for the temperature and water level control loop is designed from the transfer functions obtained. The control system proposed ensures that the temperature and liquid level follow the set value with small errors in cases with and without disturbances.

**Keywords:** *PID tuning, temperature control, liquid level control, CE117.*

<sup>1</sup>Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: tung\_nm@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 21/5/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 26/6/2023

Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2023

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống kiểm soát nhiệt độ và mức chất lỏng trong bình trộn rất quan trọng trong quá trình sản xuất thực phẩm và đồ uống. Nhiệt độ và mức chất lỏng trong bình trộn có thể ảnh hưởng đến quá trình trộn, tạo ra sản phẩm cuối cùng có chất lượng đồng đều và đảm bảo vệ sinh an toàn thực phẩm. Nhiệt độ là yếu tố ảnh hưởng đến quá trình kích thích hóa học trong quá trình pha trộn. 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. Nếu nhiệt độ quá cao hoặc quá thấp, có thể làm giảm tốc độ phản ứng và gây ra sự thay đổi trong cấu trúc hoặc tính chất của các thành phần trong sản phẩm.

Mức chất lỏng cũng là thành phần ảnh hưởng đến quá trình trong quá trình trộn. Nếu lượng chất lỏng quá nhiều, việc trộn trở nên khó khăn và tác động đến chất lượng của dòng chất lỏng. Ngược lại, nếu lượng chất lỏng quá ít thì quá trình trộn không đạt được hiệu quả tối ưu.

Do đó, quản lý nhiệt độ và mức trong bình trộn là bài toán điều khiển rất được quan tâm trong quá trình sản xuất thực phẩm và đồ uống. Hệ thống điều khiển tốt sẽ kiểm soát nhiệt độ và lượng chất lỏng trong bình trộn theo đúng yêu cầu công nghệ, đảm bảo quá trình sản xuất được diễn ra và đạt được chất lượng sản phẩm mong muốn.

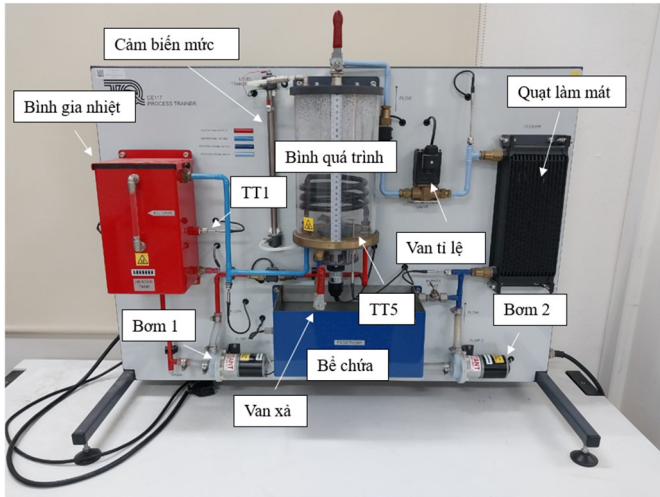
Bài báo này trình bày quá trình thiết kế các bộ điều khiển nhiệt độ và điều khiển mức trong bình trộn dựa trên mô hình thực nghiệm CE117 của hãng Tecquipment [1, 2]. Việc thiết kế điều khiển cho hệ thống dựa trên các mô hình toán học mô tả quá trình. Điều này đảm bảo các bộ điều khiển được thiết kế có khả năng dự đoán và kiểm soát quá trình nhiệt và mức trong bình trộn. Dựa trên hệ thống thực, bài báo tiến hành nhận dạng mô hình toán học cho vòng điều khiển nhiệt độ và vòng điều khiển mức trong bình trộn bằng phương pháp thực nghiệm. Đây là một phương pháp phổ biến và hiệu quả trong việc nghiên cứu và xây dựng các mô hình toán học cho các quá trình sản xuất. Quá trình nhận dạng này dựa trên các dữ liệu thực tế được thu thập khi kết nối phần mềm Matlab Simulink với module giao tiếp CE120 [3].

Nhiệt độ và mức trong các quá trình sản xuất thường có đặc tính trễ và phi tuyến [4-7]. Ngoài ra, trong hệ thống còn có các yếu tố gây nhiễu như nhiễu do cảm biến, nhiễu từ môi trường làm ảnh hưởng tới quá trình điều khiển [8]. Vì thế, nội dung bài báo trình bày một số phương pháp có ưu điểm đơn giản, dễ cài đặt thực thi trên hệ thực để ứng dụng, tính toán bộ điều khiển như phương pháp kẻ tiếp tuyến, phương pháp hai điểm tham chiếu trong nhận dạng mô hình thực [9]; tìm tham số bộ điều khiển PID bằng phương pháp tổng T của Kuhn [10]. Kết quả thực nghiệm được trình bày để kiểm

chứng chất lượng các bộ điều khiển đã thiết kế thông qua các kịch bản thực nghiệm khác nhau.

**2. HỆ THỐNG QUÁ TRÌNH CE117**

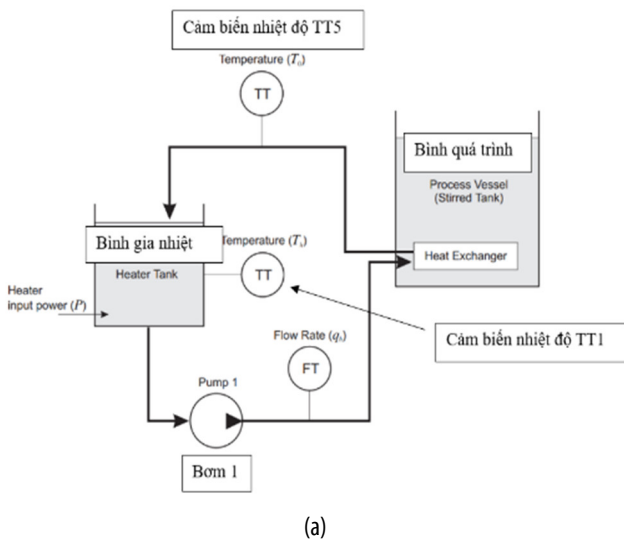
Mô hình quá trình CE117 bao gồm hai mạch vòng kín: điều khiển nhiệt độ và điều khiển mức chất lỏng. Hai mạch vòng này được coi là hai quá trình con có sự tương tác chéo lẫn nhau.



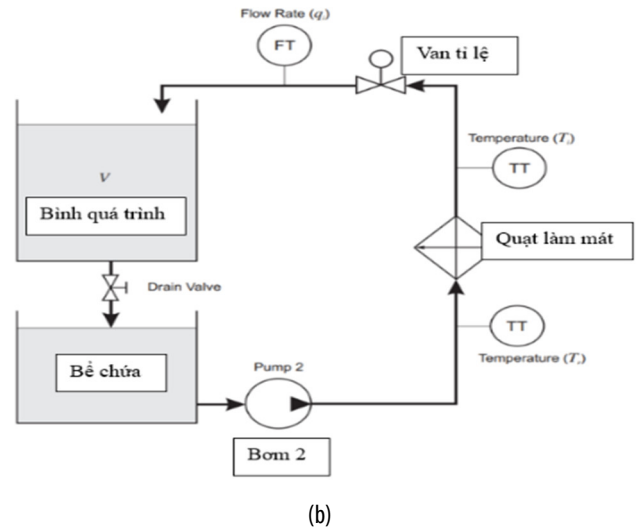
Hình 1. Mô hình quá trình CE117 điều khiển nhiệt độ và mức

Ở mạch vòng điều khiển nhiệt độ có một khối gia nhiệt. Khối gia nhiệt này được sử dụng để tăng nhiệt độ của dòng chất lỏng nóng. Dòng chất lỏng nóng được đưa qua bình trộn để thực hiện quá trình trao đổi nhiệt với lượng chất lỏng bên 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.

Vòng điều khiển quá trình mức có vai trò đưa lưu lượng chất lỏng vào 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 trong hình 2(b) được coi là nhiễu tác động đối với mạch vòng điều khiển nhiệt độ hình 2(a). Ngoài ra, độ mở của van xả được coi là nhiễu đối với mạch vòng điều khiển mức.



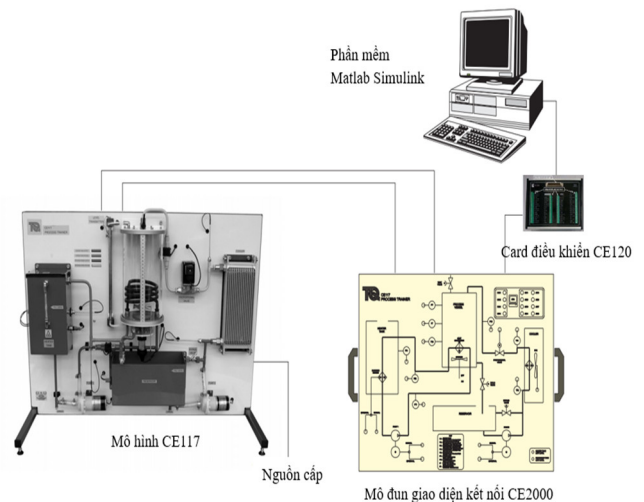
(a)



(b)

Hình 2. Sơ đồ khối quá trình gia nhiệt (a) và quá trình mức (b)

Card điều khiển CE120 hỗ trợ kết nối mô hình với phần mềm Matlab Simulink. Mô đun CE2000 hỗ trợ kết nối giữa phần mềm Matlab Simulink và mô hình CE117, có các cổng chuyển đổi A/D, D/A để thu nhận tín hiệu điều khiển và phản hồi trong khoảng điện áp 10VDC.

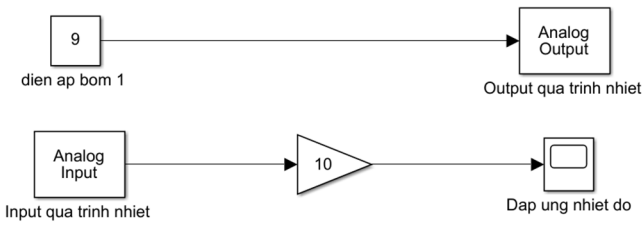


Hình 3. Sơ đồ kết nối giữa các thành phần hệ thống điều khiển quá trình

**3. NHẬN DẠNG THỰC NGHIỆM VÀ THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN**

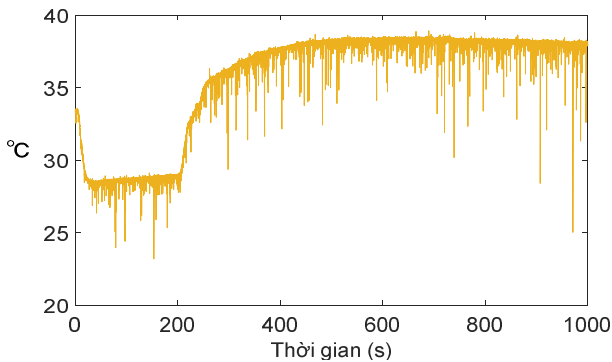
**3.1. Nhận dạng thực nghiệm**

Nhận dạng dựa trên thực nghiệm có nhiều ưu điểm như mô hình được xây dựng từ dữ liệu thực tế, có khả năng ứng dụng cao và tin cậy. Trong đó, nhận dạng dựa trên đồ thị đặc tính quá độ áp dụng cho quá trình bình trộn giúp tập trung vào đặc tính quan trọng là nhiệt độ và mức, đồng thời làm giảm bớt các tín hiệu không cần thiết và tăng độ chính xác của phân tích. Trong mục này trình bày và sử dụng phương pháp kẻ tiếp tuyến và phương pháp hai điểm tham chiếu. Khi cần nhận dạng một đối tượng có dạng bậc nhất hoặc xấp xỉ về dạng bậc nhất có trễ, hai phương pháp này đều tỏ ra hữu hiệu.



Hình 4. Kết nối Matlab Simulink cho đáp ứng quá trình nhiệt

Kết nối mô hình CE117 với máy tính thông qua mô đun CE2000, CE120 như hình 4. Tín hiệu điện áp kích thích vào bơm 1 là 9V (tại thời điểm 200s), 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°C).

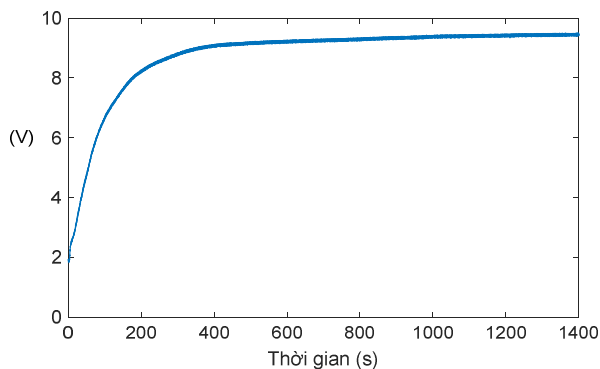


Hình 5. Đáp ứng nhiệt độ của quá trình với điện áp 9V

Nhận xét: Từ khi bắt đầu kích thích tín hiệu điện áp vào bơm 1 (thời điểm 200s) đến khi đồ thị đáp ứng nhiệt độ bắt đầu đi lên (thời điểm 210s). Nhiệt độ tăng đến 38°C thì không tăng được nữa.

Xác định mô hình toán là dạng hàm truyền bậc nhất có trễ. Dựa trên phương pháp tìm hai điểm tham chiếu trên đồ thị hình 5, thu được mô hình toán của đáp ứng nhiệt độ chất lỏng:

$$G(s) = \frac{0,11}{40,05s+1} e^{-6,65s} \tag{1}$$



Hình 6. Đáp ứng quá trình mức với điện áp 7V

Thực hiện quá trình nhận dạng thực nghiệm mức tương tự như quá trình nhiệt. Kích thích 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.

Nhận xét: Đồ thị đáp ứng mức của quá trình không đi qua gốc tọa độ, nguyên nhân là do cảm biến LT không thể nhận biết được mức quá thấp (dưới 2V). Tín hiệu mức chất lỏng tăng dần đến 9,2V thì không tăng lên nữa.

Xác định mô hình toán của quá trình có dạng bậc nhất. Sử dụng phương pháp kẻ tiếp tuyến ứng với đồ thị hình 6 thu được hàm truyền của quá trình mức là:

$$G(s) = \frac{1,3642}{1+83,92s} \tag{2}$$

### 3.2 Thiết kế bộ điều khiển cho vòng điều khiển nhiệt độ và mức

Nhóm nghiên cứu sử dụng phương pháp tổng T của Kuhn để tính toán tham số cho bộ điều khiển PID với ưu điểm như tính ổn định cho hệ thống, sự linh hoạt cao và dễ dàng triển khai cài đặt thực tế. Ngoài ra, phương pháp này còn phù hợp với các đối tượng có mô hình toán dạng bậc nhất, bậc 2 hoặc bậc nhất có trễ như mô hình (1) và (2). Trong bài báo này, thuật toán điều khiển được thiết kế gồm khâu tỉ lệ - tích phân. Kết quả thu được như sau:

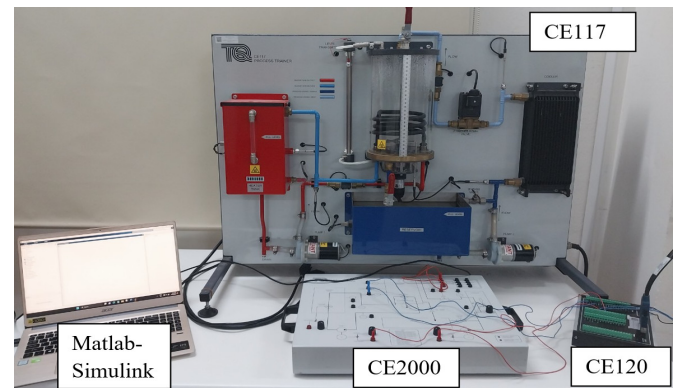
Bộ điều khiển PI dùng cho quá trình nhiệt:

$$R_t(s) = 5,8.(1 + \frac{1}{25,35s}) \tag{3}$$

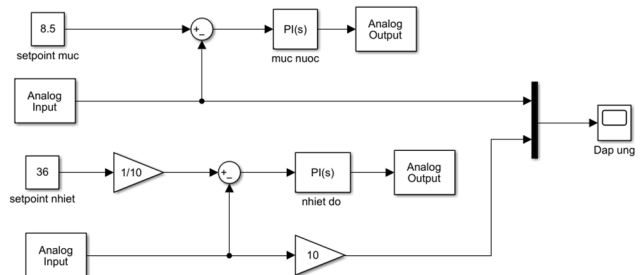
Bộ điều khiển PI dùng cho quá trình mức:

$$R_l(s) = 2,9.(1 + \frac{1}{100,5s}) \tag{4}$$

## 4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM



Hình 7. Hệ thống điều khiển quá trình thực nghiệm

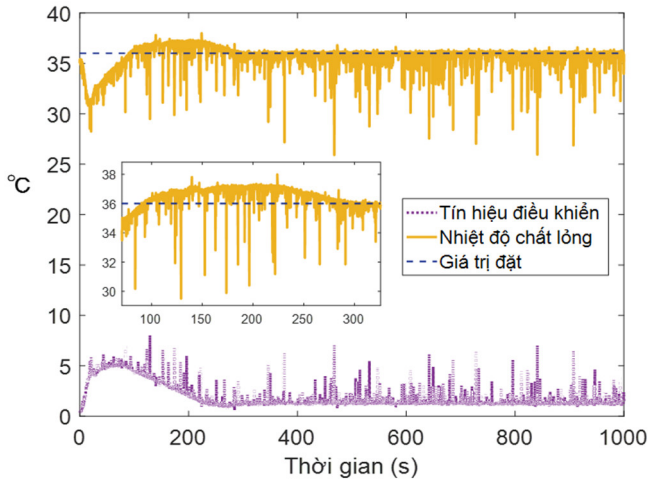


Hình 8. Sơ đồ kết nối Matlab Simulink điều khiển quá trình nhiệt và mức

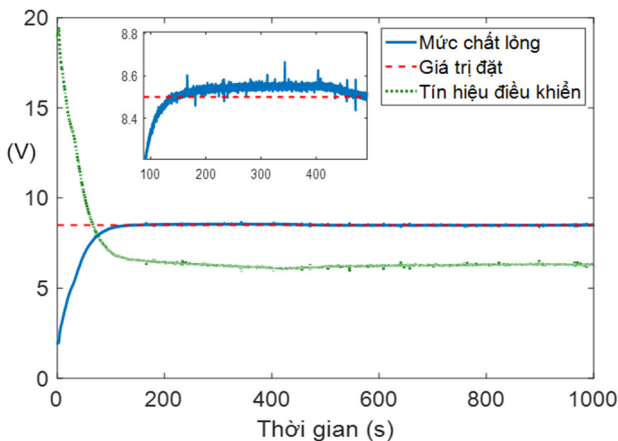
Hệ thống thực nghiệm như hình 7 gồm quá trình điều khiển nhiệt độ và điều khiển mức chất lỏng trong bình trộn. Thiết lập kết nối Matlab Simulink như hình 8. Các tín hiệu đáp ứng sẽ được biểu diễn trên đồ thị theo thời gian thực trong thời gian quan sát đủ lâu để đảm bảo hệ thống không bị mất ổn định. Các kết quả được xây dựng theo các kịch bản sau đây:

**a) Khi giá trị đặt không thay đổi**

Với giá trị đặt nhiệt độ là 36°C, mức chất lỏng đặt tương ứng 8,5V. Theo dõi đáp ứng nhiệt độ và mức chất lỏng như hình 9, 10.



Hình 9. Đáp ứng nhiệt độ khi điều khiển bằng bộ điều khiển  $R_f(s)$



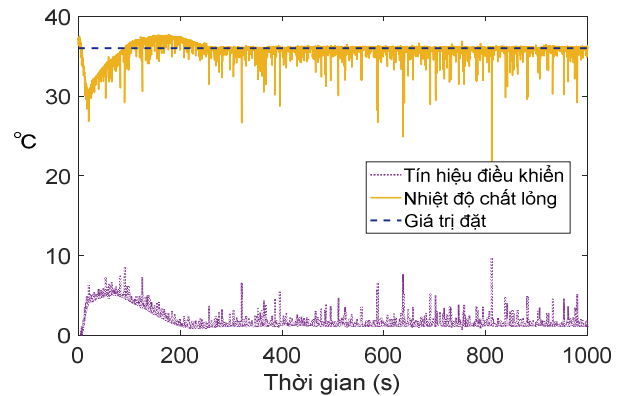
Hình 10. Đáp ứng mức chất lỏng khi điều khiển bằng bộ điều khiển  $R_f(s)$

Từ hình 9 cho thấy, cần 320s để nhiệt độ bám giá trị đặt 36°C với độ quá điều chỉnh là 1°C (tương đương 2,7%). Khi nhiệt độ đạt trạng thái ổn định thì tín hiệu điều khiển cũng ổn định tại giá trị 1,5V. Hình 10 cho thấy, sau 170s, mức trong bình ổn định với độ quá điều chỉnh 0,6%, tín hiệu điều khiển mức ổn định tại 6,7V. Như vậy cả hai bộ điều khiển nhiệt độ và mức đều thấy đáp ứng tốt, bám sát giá trị đặt.

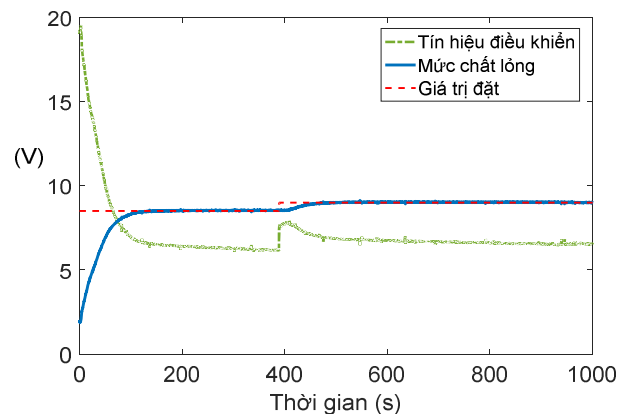
**b) Khi thay đổi giá trị đặt mức chất lỏng**

Tại thời điểm ban đầu, đặt mức chất lỏng tương ứng với giá trị 8,5V, giá trị đặt nhiệt độ là 36°C. Đến thời điểm 400s, thay đổi giá trị đặt mức tương ứng lên 9V. Theo dõi đáp ứng

của nhiệt độ, mức chất lỏng và các tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển PI, ta thu được kết quả như hình 11, 12.



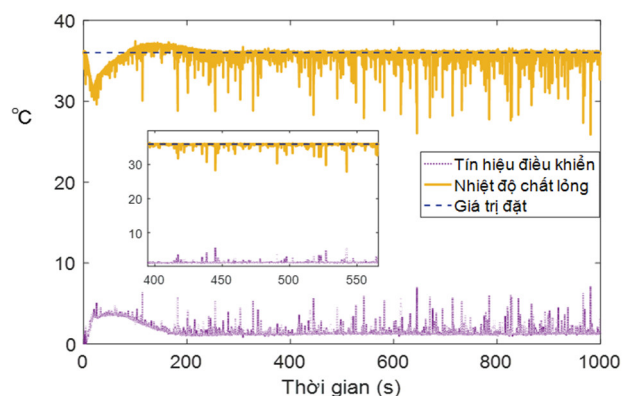
Hình 11. Đáp ứng nhiệt độ khi thay đổi giá trị đặt của mức



Hình 12. Đáp ứng mức chất lỏng khi thay đổi giá trị đặt mức

Từ hình 11, tại thời điểm 400s, khi có sự thay đổi mức đặt chất lỏng, đáp ứng nhiệt độ gần như không bị thay đổi và giữ nguyên trạng thái ổn định. Đáp ứng trên hình 12 cho thấy, mức trong bình trộn bám theo giá trị đặt sau khoảng thời gian 90s và gần như không có độ quá điều chỉnh. Tín hiệu điều khiển mức khi ổn định thay đổi từ 6,7V lên 7V, phù hợp với tính chất của vòng điều khiển quá trình. Như vậy hệ thống điều khiển quá trình có chất lượng động học tốt khi có sự thay đổi điểm đặt mức.

**c) Thay đổi công suất quạt làm mát**



Hình 13. Đáp ứng nhiệt độ khi có sự thay đổi công suất quạt làm mát

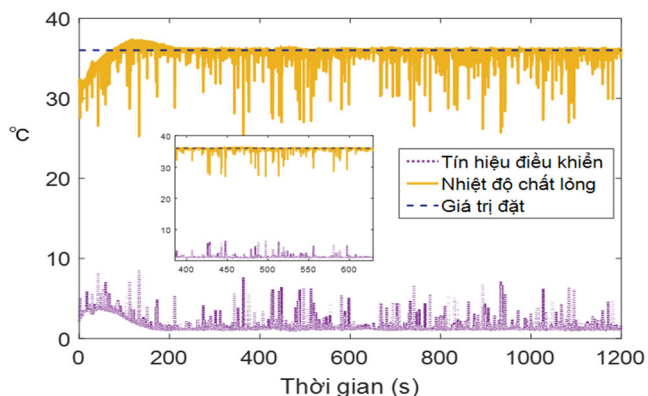


Tại thời điểm 400s tác động nhiễu trong vòng điều khiển nhiệt độ bằng cách thay đổi công suất quạt làm mát, từ 50% lên 100%. Ta thu được các kết quả như hình 13.

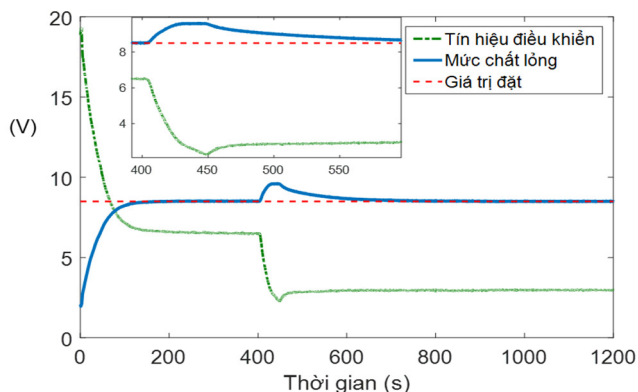
Hình 13 cho thấy, đáp ứng nhiệt độ tại thời điểm 400s gần như không thấy sự thay đổi của nhiệt độ. Điều này cho thấy sự tác động trong trường hợp này của nhiễu là rất nhỏ lên hệ thống.

d) Thay đổi độ mở van xả

Tại thời điểm 400s, thay đổi độ mở van xả từ 100% xuống 75%, thu được các đáp ứng như hình 14 - 16.



Hình 14. Đáp ứng nhiệt độ khi có sự thay đổi độ mở van xả



Hình 15. Đáp ứng mức khi có sự thay đổi độ mở van xả



Hình 16. Hình ảnh kết quả thực nghiệm khi mức chất lỏng và nhiệt độ ổn định

Hình 14 cho thấy đáp ứng nhiệt ổn định và không bị ảnh hưởng khi thay đổi độ mở van xả. Tại thời điểm 400s khi giảm độ mở van xả, mức nước tăng vọt lên tương ứng 10V (17,6%),

sau đó 400s, mức trong bình ổn định tại giá trị đặt. Tín hiệu điều khiển mức khi ổn định thay đổi giảm từ 6,7V về giá trị 3V là phù hợp với đặc tính quá trình mức trong bình trộn.

Hình 15 cho thấy đáp ứng mức bám sát giá trị đặt sau khi thay đổi độ mở van xả, thời gian đáp ứng là 250s để mức chất lỏng trở lại ổn định. Tín hiệu điều khiển mức giảm xuống từ 8V còn 2,5V.

Hình 16 là hình ảnh thực tế về mức chất lỏng trong bình sau khi đã ổn định, cột chất lỏng cao 100 mm tương ứng với giá trị đặt 8,5V.

5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày phương pháp nhận dạng thực nghiệm để xác định mô hình hàm truyền của quá trình nhiệt độ và mức trên hệ thống thực nghiệm. Từ đó, các bộ điều khiển nhiệt độ và điều khiển mức được thiết kế và ứng dụng điều khiển hệ thống bình trộn theo thời gian thực. Kết quả các đáp ứng cho thấy hai vòng điều khiển tồn tại sự tương tác chéo rất nhỏ và trạng thái khi ổn định bám giá trị đặt trong trường hợp xuất hiện các tác động nhiễu. Tuy nhiên, việc phát triển thuật toán tối ưu các thông số bộ điều khiển sẽ giúp nâng cao chất lượng và tính bền vững hơn nữa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Techquipment LTD, 2014. CE117 Process Trainer User Guide. ©Techquipment LTD.
- [2]. Techquipment Academia, 2020. Product catalogue 2020 Engineering Excellence in Education. ©Techquipment LTD.
- [3]. Techquipment LTD, 2014. CE2000 Control Software User Guide. ©Techquipment LTD.
- [4]. H. G. Son, 2011. *Temperature control for resistance furnace using neural fuzzy system*. Master thesis, The University of Danang.
- [5]. L. K. Lai, D. T. Huong. *The new method to control temperature of furnace On steel production line*. Journal of Science & Technology, 61(12/2): 65 – 68.
- [6]. T. T. Van Anh, L. K. Lai, 2008. *Controlling the level of water drum with Fuzzy - Neuron controller*. Journal of Science & Technology, 2(46): 108-113.
- [7]. T. T. Anh Au, T. T. B. Thanh, 2016. *Applying MPC controller in temperature control system*. The University of Danang - Journal of Science and Technology, 11(108).
- [8]. H. M. Sơn, 2009. *Cơ sở hệ thống điều khiển qua trình*. Bach Khoa Publishing House, Hanoi.
- [9]. P. X. Minh, N. D. Phuoc, 2005. *Nhân dạng hệ thống điều khiển*. Science and Technics Publishing House, Hanoi.
- [10]. Nguyen Doan Phuoc, 2020. *Cơ sở lý thuyết điều khiển tuyến tính*. Bach Khoa Publishing House, Hanoi.

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Tuan Hung, Hoang Van Nam, Pham Minh Thao, Hoang Quoc Xuyen, Nguyen Ba Kha, Ngo Manh Tung**

Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam