

# ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ Lò NHIỆT ỨNG DỤNG GIẢI THUẬT PID SỐ

• Đặng Thế Nhân<sup>(\*)</sup>, Nguyễn Phong Lưu<sup>(\*\*)</sup>, Nguyễn Văn Đông Hải<sup>(\*\*)</sup>

## Tóm tắt

Lò nhiệt là mô hình phi tuyến. Đặc trưng của lò nhiệt là khâu quán tính nhiệt. Lò nhiệt đạt tới nhiệt độ cần cung cấp, mất thời gian khá dài. Hiện nay, đã có rất nhiều thuật toán có thể áp dụng để điều khiển hệ thống lò nhiệt này, điển hình là thuật toán PID. Có các phương pháp tiêu biểu để tìm thông số PID như phương pháp Ziegler-Nichols thứ nhất và thứ hai. Ngoài ra, còn phân biệt giữa PID liên tục và PID số (rời rạc). Ở bài báo này, nhóm tác giả nghiên cứu phương pháp điều khiển PID số tại Phòng nghiên cứu Sư phạm kỹ thuật Hồ Chí Minh. Giải thuật có hiệu quả thông qua mô phỏng bằng phần mềm Matlab/Simulink và thực nghiệm trên mô hình thực.

Từ khóa: Điều khiển PID, phương pháp Ziegler-Nichols, lò nhiệt, PID liên tục, PID số.

## 1. Giới thiệu

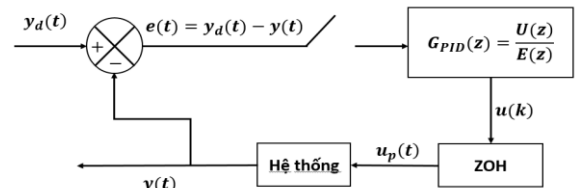
Quá trình gia nhiệt là quá trình phổ biến được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp như thực phẩm, sản xuất và nông nghiệp. Sự ổn định thích hợp trong quá trình sản xuất sản phẩm để đảm bảo chất lượng và kéo dài tuổi thọ. Điều khiển PID được biết đến như một điều khiển đơn giản và mạnh mẽ được ứng dụng điều khiển quá trình gia nhiệt này. Theo thống kê có hơn 97% bộ điều khiển trong công nghiệp là cùng loại với bộ điều khiển PID [1]. Điều chỉnh đúng các thông số điều khiển sẽ đảm bảo tối ưu hiệu suất trên phạm vi hoạt động đã được chỉ định. Một số phương pháp nổi bật là phương pháp Ziegler-Nichols thứ nhất và thứ hai, PID liên tục, và PID số (PID rời rạc)... Một số kỹ thuật điều khiển PID nổi tiếng được tìm thấy trong [1], [2].

Ở bài báo này, nhóm tác giả sẽ đề cập đến phương pháp điều khiển PID số (PID rời rạc) để điều khiển nhiệt độ lò nhiệt. Đầu tiên, hàm truyền rời rạc được thiết kế cho hệ thống. Tiếp theo, mô phỏng hàm truyền thiết kế được bằng phần mềm Matlab/Simulink để tìm ra quy luật thay đổi của hệ thống. Từ đó, áp dụng vào thực nghiệm tìm ra được bộ thông số điều khiển tốt nhất cho hệ thống.

## 2. Nội dung

### 2.1. Mô hình toán học

Sơ đồ mô tả hệ thống:



Hình 1. Sơ đồ mô tả hệ thống

PID là bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ với ba khâu lần lượt là: khâu tỉ lệ  $K_p$ , khâu tích phân  $K_i$ , khâu vi phân  $K_d$ .

Hàm truyền của hệ thống [3]:

$$G_{PID}(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = Kd + \frac{Ki \cdot T}{2} \frac{z+1}{z-1} + \frac{Kd}{T} \frac{z-1}{z} \quad (1)$$

$$2Tz(z-1)U(z) \quad (2)$$

$$= [[2Tz(z-1)]Kp + TzKiT(z+1) + Kd(z-1)[2(z-1)]]E(z) \quad (3)$$

$$2Tz^2U(z) - 2TzU(z) \quad (4)$$

$$= (2Tz^2 - 2TzKp + KiT^2z^2 + TzKiT + 2Kdz^2 + 2Kd - 4Kdz)E(z) \quad (5)$$

$$2Tz^2U(z) - 2TzU(z) \quad (6)$$

$$= [(2TKd + KiT^2 + 2Kd)z^2 + (T^2Ki - 4Kd - 2TKp)z + 2Kd]E(z) \quad (7)$$

Đặt:  $\Delta = 2T$

$$\Delta z^2 U(z) - \Delta z U(z) = \alpha [z^2 E(z)] + \beta [z E(z)] + \gamma E(z) \quad (8)$$

$$\Delta U(z) - \Delta z^{-1} U(z) = \alpha E(z) + \beta z^{-1} E(z) + \gamma z^{-2} E(z) \quad (9)$$

$$\Delta u(k) - \Delta u(k-1) = \alpha e(k) + \beta e(k-1) + \gamma e(k-2) \quad (10)$$

$$G_{PID}(z) = \frac{\alpha e(k) + \beta e(k-1) + \gamma e(k-2) + \Delta u(k-1)}{\Delta} \quad (11)$$

Chú giải:

$u(k)$  là tín hiệu điều khiển thời điểm hiện tại;

$e(k)$  là sai số ở thời điểm hiện tại;

$e(k-1)$  là sai số trước đó 1 mẫu;

$e(k-2)$  là sai số trước đó 2 mẫu;

$$\alpha = 2TKp + KiT^2 + 2Kd;$$

$$\beta = T^2Ki - 4Kd - 2TKp;$$

$$\gamma = 2Kd;$$

<sup>(\*)</sup> Sinh viên, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh.

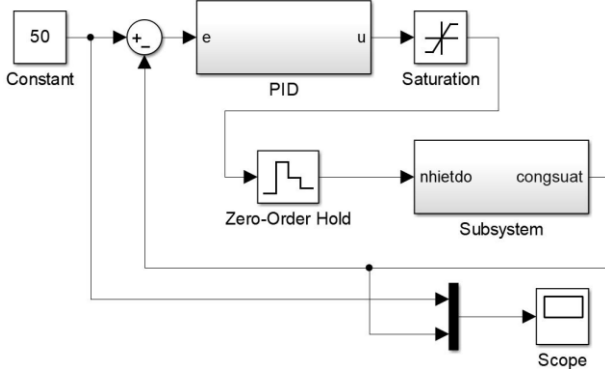
<sup>(\*\*)</sup> Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh.

$\Delta = 2T;$

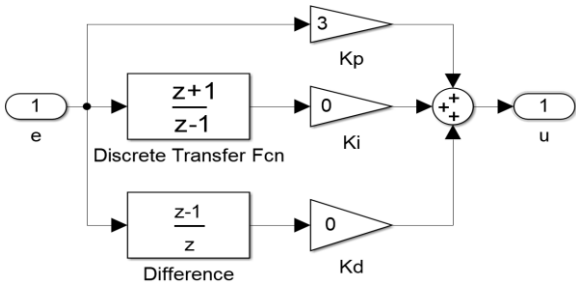
T là thời gian lấy mẫu.

**2.2. Mô phỏng**

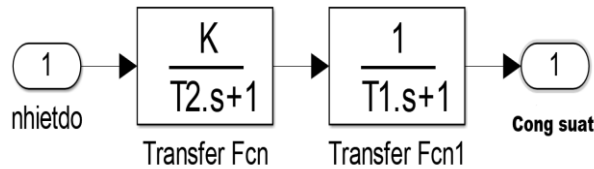
**2.2.1. Xây dựng hàm truyền mô phỏng**



**Hình 2. Sơ đồ khối mô phỏng hệ thống**



**Hình 3. Khối PID**



**Hình 4. Khối hệ thống**

Ta xác định hàm truyền gần đúng của lò nhiệt là [3]:

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} \tag{9}$$

Tín hiệu ra gần đúng là hàm:

$$c(t) = f(t - T1) \tag{11}$$

trong đó :

$$f(t) = K(1 - e^{-t/T2}) \tag{12}$$

Biến đổi Laplace ta được:

$$F(s) = \frac{K}{s(1 + T2s)} \tag{13}$$

Do vậy, khi áp dụng định lý chậm trễ, ta được:

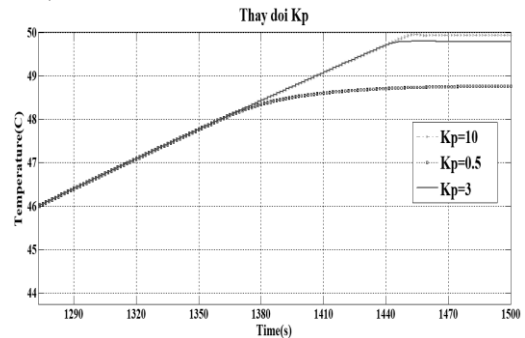
$$C(s) = \frac{Ke^{-T1s}}{s(1 + T2s)} \tag{14}$$

Suy ra hàm truyền của lò nhiệt là:

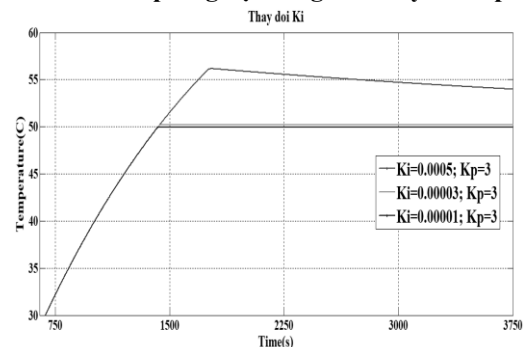
$$G(s) = \frac{Ke^{-T1s}}{1 + T2s} \tag{15}$$

**2.2.2. Kết quả mô phỏng**

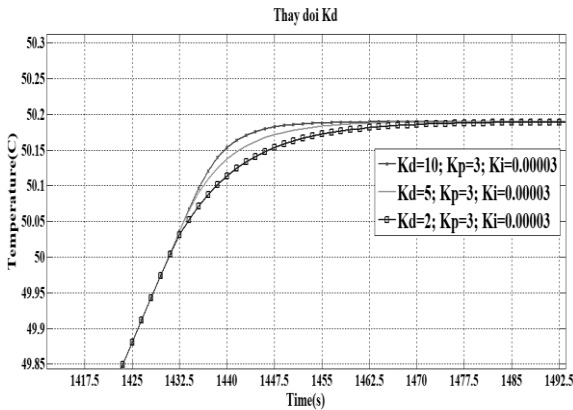
Sau khi, mô phỏng hệ thống trên phần mềm Matlab Simulink để tìm ra các bộ thông số điều khiển. Ta nhận thấy khi điều khiển chỉ có khâu tỉ lệ Kp (điều khiển P) thì hệ thống vẫn hoạt động tốt, nhưng tồn tại sai số xác lập. Khi Kp càng nhỏ thì sai số xác lập càng lớn. Kết quả mô phỏng Kd được mô tả ở Hình 5. Sau khi điều khiển P, nếu điều khiển thêm khâu tích phân Ki (điều khiển PI) thì hệ thống được cải thiện và đã triệt tiêu đi sai số xác lập. Nhưng nếu, Ki tăng cao thì hệ thống sẽ vọt lố rất lớn. Bởi vì, Ki là giá trị tích phân nên chỉ cần thay đổi nhỏ thì đã có tác động rất lớn vào hệ thống. Vậy, hệ thống hoàn thiện thì Ki sẽ tồn tại với giá trị rất nhỏ. Kết quả mô phỏng Kp và Ki được mô tả ở Hình 6. Sau khi điều khiển PI, nếu điều khiển có thêm khâu vi phân Kd (điều khiển PID) thì hệ thống vẫn hoạt động ổn định, không biến đổi nhiều khi Kd ở nhiều giá trị khác nhau. Vậy hệ thống hoạt động tốt khi sử dụng bộ điều khiển tích phân tỉ lệ (điều khiển PI) và không cần có thêm khâu vi phân Kd. Kết quả mô phỏng khi có thêm khâu Kd được mô tả ở Hình 7.



**Hình 5. Đáp ứng hệ thống khi thay đổi Kp**



**Hình 6. Đáp ứng hệ thống khi thay đổi Ki**



**Hình 7. Đáp ứng hệ thống khi thay đổi Kd**

**2.3. Mô hình thực**

**2.3.1. Phần cứng**

Mô hình lò nhiệt trong bài báo gồm 1 hộp mica và các khớp nối được in 3D để lắp ráp. Bên trong lò, một lớp cách nhiệt được đặt để giữ nhiệt và cảm biến nhiệt độ LM35 đặt bên trong để đo nhiệt độ của lò nhiệt. Mô hình lò nhiệt thực tế như Hình 8 và Hình 9.

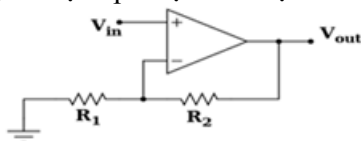


**Hình 8. Bên ngoài lò nhiệt**



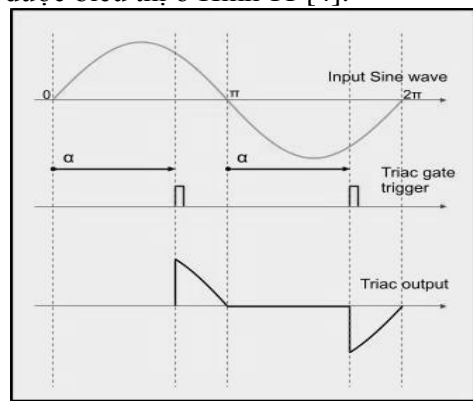
**Hình 9. Bên trong lò nhiệt**

Mạch khuếch đại để xử lý tín hiệu nhằm tăng độ phân giải điện áp được thể hiện ở Hình 10.

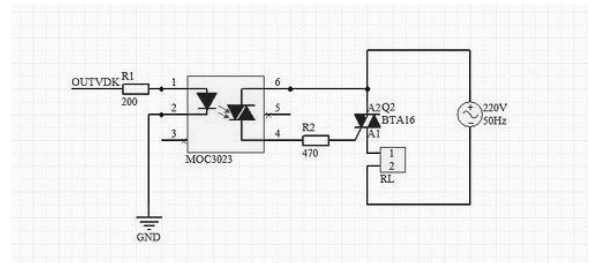


**Hình 10. Mạch khuếch đại**

Sau đó, vi điều khiển sẽ đọc tín hiệu từ chân  $V_{out}$  của mạch khuếch đại và xử lý cho ra tín hiệu phù hợp để kích chân G của triac làm cho đèn sáng. Sự thay đổi của góc kích  $\alpha$  quyết định công suất mở của triac. Khi góc kích  $\alpha$  thay đổi thì điện áp đầu ra của triac cũng sẽ thay đổi. Góc kích  $\alpha = 0$  công suất đạt 100% triac mở hoàn toàn, góc  $\alpha$  lúc công suất đạt 50% triac mở một nửa, góc  $\alpha$  lúc công suất đạt 0% triac ngưng dẫn. Tác giả điều khiển được góc kích  $\alpha$  khi tìm được điểm 0, tức là điểm giao nhau giữa chu kỳ âm và chu kỳ dương của điện áp xoay chiều. Quá trình được biểu thị ở Hình 11 [4].



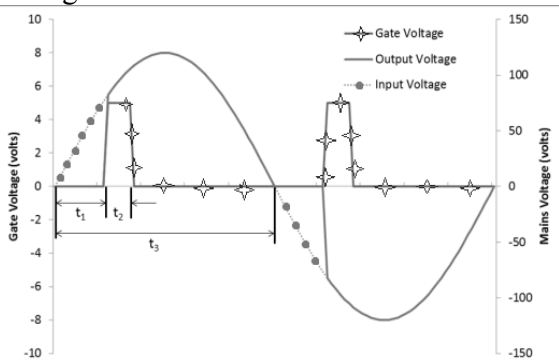
**Hình 11. Chu kỳ hoạt động điện áp xoay chiều**



**Hình 12. Mạch phát hiện điểm 0**

Dựa trên nguyên lý hoạt động của điện áp xoay chiều, mạch phát hiện điểm 0 được thiết kế như Hình 12 [5]. Khi cấp điện áp xoay chiều 220V qua cầu diode, ta thu được điện áp với bán kỳ dương dao động với tần số  $f = 50$  Hz, tức chu kỳ dao động  $T = 0,02$  s = 20 ms. Vậy nửa chu kỳ dao động là  $T_{haft} = T/2 = 10$  ms. Dòng điện qua cầu diode tới diode zener có  $V_z = 4,7$  V. Khi  $V_{bridge} < V_z$  thì điện áp chạy qua điện trở 470 Ω. Lúc này, diode zener dẫn thuận và được xem như một diode bán dẫn bình thường. Khi thì diode zener dẫn nghịch và được xem như một nguồn 4,7 V cung cấp điện áp cho led trong

opto PC817 phát sáng kích dẫn chân 3 và 4 với nhau. Sau đó, chân tín hiệu kết nối với vi điều khiển được nối xuống mass. Dựa vào điểm này, ta sử dụng ngắt ngoài của vi điều khiển để nhận biết tín hiệu đồng bộ của điện áp xoay chiều, tính góc mở của triac. Ta chỉ điều khiển thời gian trong khoảng thời gian từ 1 ms tới 9 ms. Vì điện áp cần có khoảng thời gian trễ để tăng lên 5 V và giảm về 5 V.

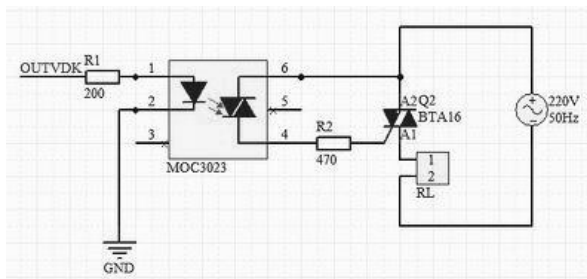


**Hình 13. Quan hệ góc mở triac và thời gian**

Trong đó:

- $t_1$  tương ứng với góc mở của triac;
- $t_2$  thời gian xung kích của chân G để kích dẫn;
- $t_3$  khoảng thời gian mà dòng điện đóng ngắt trong nửa chu kỳ.

Mạch công suất kích góc mở triac được thiết kế như Hình 14 [5]. Khi có tín hiệu điện áp từ vi điều khiển phát hiện được điểm 0 thì led của moc 3023 sẽ phát quang và kích dẫn chân 4 chân 6 vì thế sẽ có điện áp kích chân G của triac để đèn sáng [4].



**Hình 14. Mạch kích góc mở triac**

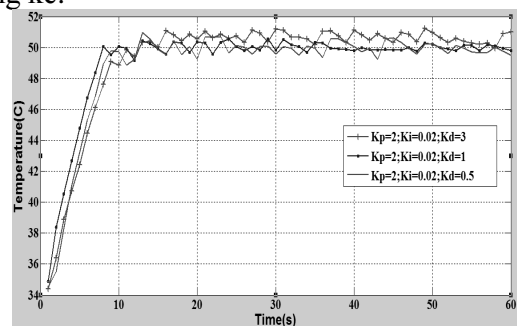
**2.3.2 Kết quả thực nghiệm**

Kết quả thực từ mô hình lò nhiệt thực tế cho thấy: với thời gian lấy mẫu  $T=1,5$  s thì hệ thống đáp ứng tốt, giống như giả thuyết và kết quả mô phỏng có được ban đầu. Khi chỉ điều khiển bằng khâu tỉ lệ  $K_p$  (điều khiển P) thì hệ thống vẫn hoạt động tốt nhưng chưa hoàn thiện

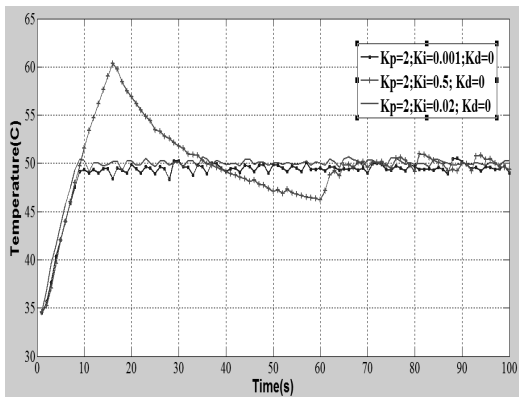
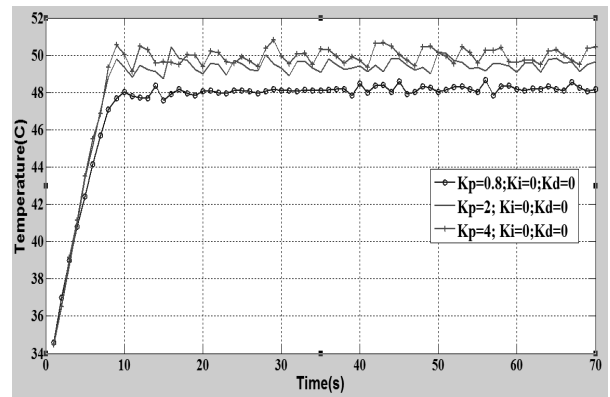
và hiệu quả. Hệ thống tồn tại sai số xác lập. Khi giá trị  $K_p$  càng nhỏ thì sai số xác lập càng lớn. Giá trị  $K_p$  càng cao thì sai số xác lập được thu hẹp nhưng hệ thống sẽ càng mất ổn định. Kết quả được biểu thị thông qua đồ thị biểu diễn ở Hình 15. Sau khi thêm khâu tích phân  $K_i$  (điều khiển PI) thì hệ thống hoạt động tốt hơn. Sai số xác lập được cải thiện. Nhưng khi giá trị  $K_i$  lớn thì hệ thống xuất hiện vọt lố. Còn khi  $K_i$  có giá trị quá nhỏ gần bằng 0 thì hệ thống hoạt động giống như khi chỉ có điều khiển tỷ lệ (điều khiển P) nên có sai số xác lập. Ta tìm được bộ điều khiển PI tốt nhất là  $K_p = 2$ ;  $K_i = 0,02$ . Kết quả được biểu thị ở đồ thị Hình 16. Khi bộ điều khiển có thêm khâu vi phân  $K_d$  (điều khiển PID) cho thấy khâu vi phân  $K_d$  có tác động nhỏ không ảnh hưởng lên hệ thống. Khi có thêm khâu  $K_d$  thì độ dao động quanh mức nhiệt độ đặt của hệ thống càng cao. Kết quả biểu thị ở Hình 17. Vì vậy, hệ thống hoạt động tốt nhất khi điều khiển bằng bộ điều khiển PI mà không cần tới khâu vi phân  $K_d$  (điều khiển PID).

**3. Kết luận**

Nghiên cứu cho thấy, lò nhiệt hoạt động tốt với giải thuật điều khiển PID số. Ta thấy rằng kết quả gần giống với kết quả mô phỏng. Do khi thực hiện lò nhiệt thực tế còn ảnh hưởng các yếu tố phụ như môi trường, sai số của thiết bị... nên kết quả khảo sát ở mô phỏng và thực nghiệm không hoàn toàn giống nhau. Việc mô phỏng chỉ mang tính chất tham khảo để áp dụng cho việc tìm kiếm bộ thông số thực tế nhanh và hiệu quả hơn. Lò nhiệt hoạt động tốt nhất khi dùng bộ điều khiển tích phân tỉ lệ PI với giá trị  $K_p = 2$  và  $K_i = 0,02$ . Thời gian lấy mẫu  $T=1,5$  s và nhiệt độ đặt ban đầu là  $50^\circ\text{C}$ . Hệ thống đáp ứng nhanh ít vọt lố, độ ổn định cao và sai số xác lập không đáng kể.



**Hình 15. Đáp ứng hệ thống khi thay đổi Kd**

Hình 16. Đáp ứng hệ thống khi thay đổi  $K_p$ Hình 17. Đáp ứng hệ thống khi thay đổi  $K_i$ 

### Tài liệu tham khảo

- [1]. K. Astrom and T. Hagglund (2004), "Revisiting the Ziegler-Nichols step response method for PID control", *Journal of Process Control*, (số 14), trang 635-650.
- [2]. A. O Dwyer (2000), *A summary of PI and PID controller tuning rules for processes with time delay. Part 1 : PI controller tuning rules*, IFAC Workshop on Digital Control, Terrassa, Spain.
- [3]. A. O Dwyer (2013), *PI and PID controller tuning rules for time delay processes: a summary, Part 2: PID controller tuning rules*, Proceedings of the Irish Signals and Systems Conference, National University of Ireland, Galway.
- [4]. Nguyễn Thị Phương Hà, Huỳnh Thái Hoàng (2005), *Lý thuyết điều khiển tự động*, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Thành phố Hồ Chí Minh.

## CONTROLLING TEMPERATURE OF THERMAL FURNACE SYSTEM BY USING DISCRETE PID

### Summary

Thermal furnace is nonlinear models and characterized by thermal inertia. It normally takes quite a long time for the furnace to reach required temperature. At present, there have been many algorithms applied to control the thermal furnace system, typically the PID one. Also, such typical methods as the first and second Ziegler-Nichols are applied to find out PID parameters. In addition, there is a distinction between continuous PID and digital (discrete) one. This paper studied the PID control method in the Study Room of Ho Chi Minh Technical Teachers Education. The algorithm is effective through simulations using Matlab/Simulink software and empirical modeling.

Keywords: PID control, Ziegler-Nichols method, thermal furnace , PID continuous, PID digital.

Ngày nhận bài: 06/11/2018; Ngày nhận lại: 11/12/2018; Ngày duyệt đăng: 14/12/2018.