

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG TỰ ĐỘNG NHẬN DẠNG VÀ TÌM THAM SỐ ĐIỀU KHIỂN BẰNG PHƯƠNG PHÁP RELAY CÓ TRỄ CHO NHIỆT ĐỘ LÒ SẤY SỬ DỤNG VI ĐIỀU KHIỂN ARM

EVALUATION OF AUTOMATICALLY IDENTIFYING AND FINDING CONTROL PARAMETERS USING HYSTERETIC RELAY METHOD FOR DRYER TEMPERATURE USING ARM MICROCONTROLLER

Đặng Hà Dũng

Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Giao thông Vận tải

TÓM TẮT

Bộ điều khiển PID được sử dụng rất rộng rãi trong các ứng dụng điều khiển tự động, tính năng tự động tìm kiếm, điều chỉnh tham số PID đã được tích hợp vào phần mềm của nhiều thiết bị điều khiển như các hàm PID của PLC. Trong bài báo này, tác giả sẽ trình bày việc thực hiện đánh giá khả năng cài đặt tính năng tự động tìm và điều chỉnh tham số bộ PID số trên vi điều khiển gốc ARM, cụ thể là STM32. Đối tượng điều khiển là nhiệt độ lò sấy, nguồn điện cấp cho lò là nguồn xoay chiều 220V, 50Hz. Một phần mềm Matlab được phát triển để thu thập, hiển thị dữ liệu nhằm thực hiện đánh giá kết quả điều khiển.

Từ khóa: Bộ điều khiển PID; Phương pháp tự chỉnh Relay; Phương pháp Ziegler- Nichols; Vi điều khiển; Điều khiển nhiệt độ.

ABSTRACT

PID controllers are widely used in automatic control applications. The feature of automatically searching and adjusting PID parameters has been integrated into the software of many control devices such as PID functions of PLCs. In this article, the author will present the evaluation of the ability to install the feature of automatically finding and adjusting digital PID parameters on the original ARM microcontroller, specifically the STM32. The control object is the dryer temperature, the power source for the dryer is 220V, 50Hz AC source. A Matlab software was developed to collect and display data to evaluate control results.

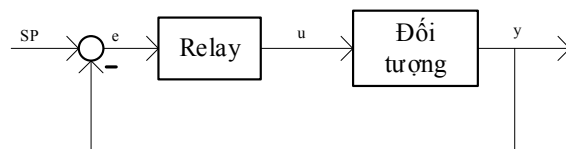
Keywords: PID controller; Relay self-tuning method; Ziegler-Nichols method; Microcontroller; Temperature control. 

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc tổng hợp tham số bộ điều khiển PID luôn là một trong những nhiệm vụ quan trọng của quá trình điều khiển, tự động hóa. Đã có rất nhiều phương pháp được đề xuất, phổ biến nhất có thể kể đến là phương pháp dựa trên thực nghiệm để tìm hệ số khuếch đại tới hạn (ultimate Gain K_u) và chu kỳ dao động tới hạn (ultimate Period P_u) của đối tượng điều khiển được đề xuất bởi J.G. Ziegler và N.B. Nichols từ những năm 40 của thế kỷ trước. Phương pháp này còn được biết tới với tên phương pháp Ziegler-Nichols 2, vốn được giảng dạy trong tất cả các chương trình đào tạo liên quan đến điều khiển tự động. Trong ứng dụng thực tiễn, ngoài ưu thế thuận tiện, dễ ứng dụng, phương pháp Ziegler-Nichols có những nhược điểm không thể tránh khỏi. Cụ thể, với việc tăng hệ số khuếch đại K_p tới K_u để đẩy hệ thống điều khiển tới điểm làm việc tới hạn, tương ứng với hiện tượng đầu ra dao động tuần hoàn, có thể đẩy hệ thống vào những trạng thái làm việc không an toàn, đặc biệt với những hệ thống điều khiển quá trình.

Năm 1984 và sau đó, năm 1999, K.J. Åström và T. Hägglund [1], [2] đã đề xuất phương án cho phép xác định các giá trị tới hạn K_u và P_u sử dụng các khâu Relay. Phương pháp này đã khắc phục được tất cả các hạn chế của phương pháp Ziegler-Nichols, ngoài ra nó còn cung cấp khả năng xác định được K_u và P_u hoàn toàn tự động trên các thiết bị điều khiển dựa trên những thuật toán thích hợp. Nội dung chính của phương pháp Åström-Hägglund là thay vì sử dụng bộ điều khiển khuếch đại như cách của Ziegler-Nichols, ta sử dụng bộ điều khiển dạng Relay như trong Hình 1. Với sơ đồ điều khiển này, về mặt lý thuyết, chắc chắn đầu ra của hệ điều khiển sẽ dao động mà không cần phải tiến đến điểm làm việc tới hạn. Việc xác định được

chu kỳ dao động và biên độ dao động này sẽ cho phép xác định được K_u và P_u , và từ đó xác định được tham số của bộ PID theo những công thức đã biết.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý sử dụng bộ điều khiển Relay

Trong nhiều thiết bị điều khiển công nghiệp có tích hợp bộ điều khiển PID, tính năng tự động tìm tham số PID được hỗ trợ khá phổ biến. Ví dụ, tính năng autoturn của các hàm PID trong PLC Siemens. Đây là tính năng tương đối hiệu quả trong việc tìm tham số bộ điều khiển, nó rất được ưa chuộng sử dụng trong những bài toán điều khiển.

Với mục đích phục vụ công việc nghiên cứu, giảng dạy, bài báo này trình bày việc đánh giá khả năng triển khai phương pháp tự động xác định tham số bộ điều khiển PID rời rạc dựa trên phương pháp Relay của Åström-Hägglund. Thiết bị điều khiển được sử dụng là vi điều khiển STM32F103, đây là loại vi điều khiển rất phổ biến, giá rẻ trên thị trường. Đối tượng điều khiển là nhiệt độ của lò sấy, nguồn gia nhiệt của lò được lấy từ nguồn điện lưới 220V, 50Hz. Kết quả của nghiên cứu ngoài việc dùng để đánh giá khả năng của phương pháp điều khiển, còn có thể được sử dụng để so sánh với các phương pháp tìm tham số điều khiển PID khác.

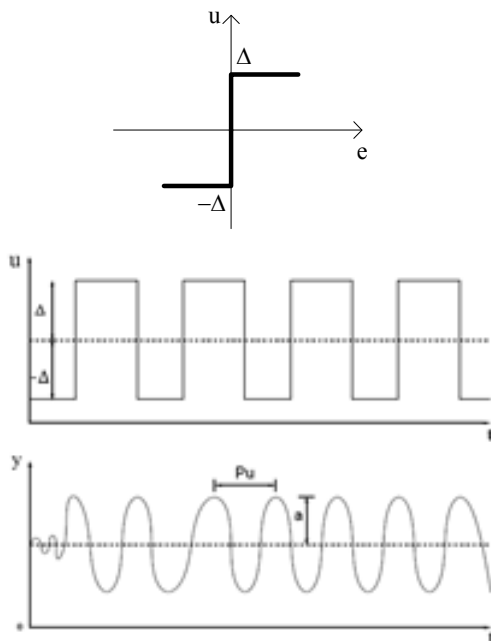
2. TÌM THAM SỐ PID VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ ĐIỀU KHIỂN

2.1. Phương pháp Relay tìm tham số bộ PID

Về mặt nguyên lý, phương pháp của

Åström- Hägglund sử dụng bộ điều khiển dạng Relay để xác định các đặc tính của đối tượng điều khiển từ đó tính toán ra bộ tham số PID phù hợp. Hai dạng bộ điều khiển Relay sẽ được sử dụng trong bài báo này là bộ Relay lý tưởng và bộ Relay có trễ. Bộ điều khiển Relay lý tưởng được Åström-Hägglund đề xuất vào năm 1984, với nguyên lý theo Hình 2. Tùy theo giá trị sai lệch e giữa giá trị đặt (SP: Setpoint) và đầu ra y mà bộ điều khiển sẽ có mức tác động tăng (+ Δ) hoặc giảm (- Δ) quanh một giá trị trung bình được chọn từ trước. Dưới tác động của tín hiệu điều khiển u , đáp ứng đầu ra y của hệ sẽ dao động quanh một giá trị xác lập, thông thường đây sẽ là giá trị đặt SP của hệ. Bằng việc xác định chu kỳ dao động P_u và biên độ dao động a , ta có thể xác định được chu kỳ dao động tới hạn P_u và hệ số khuếch đại tới hạn K_u theo công thức sau:

$$K_u = \frac{4 * \Delta}{\pi * a} \quad (1)$$



Hình 2. Bộ điều khiển Relay lý tưởng và các đặc tính vào, ra

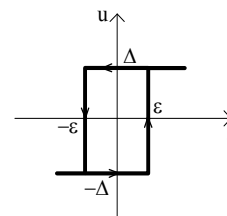
Việc xác định bộ tham số PID có thể thực hiện theo công thức Ziegler-Nichols hoặc một số công thức khác tìm tham số PID theo K_u , P_u như bảng sau [3], [4]:

Bảng 1. Bảng công thức tính tham số bộ PID

Bộ điều khiển	K_p	T_i	T_d	K_i	K_d
P	$0,5K_u$				
PI	$0,45K_u$	$0,8P_u$		$0,54K_u/P_u$	
PID	$0,6K_u$	$0,5P_u$	$0,125P_u$	$1,2K_u/P_u$	$0,075K_uP_u$

Khâu Relay lý tưởng có đặc điểm là dễ bị tác động bởi nhiễu, đặc biệt là nhiễu của quá trình đo lường. Để giảm tác động của nhiễu, người ta sử dụng khâu Relay có trễ với nguyên lý làm việc như trong Hình 3. Việc thêm một đại lượng ε vào giá trị sai lệch, theo các hướng tăng hoặc giảm của đáp ứng đầu ra, sẽ giảm đáng kể tác động của nhiễu trong quá trình đo lường. Về bản chất, khâu Relay có trễ là trường hợp tổng quát của khâu Relay lý tưởng. Khi đó, công thức để tính hệ số khuếch đại tới hạn K_u sẽ được thực hiện theo công thức:

$$K_u = \frac{4\Delta}{\pi\sqrt{a^2 - \varepsilon^2}} \quad (2)$$



Hình 3. Nguyên lý của bộ điều khiển Relay có trễ

Các hệ số PID sau khi được xác định sẽ được cài đặt lên bộ PID số có dạng như ở công thức (3):

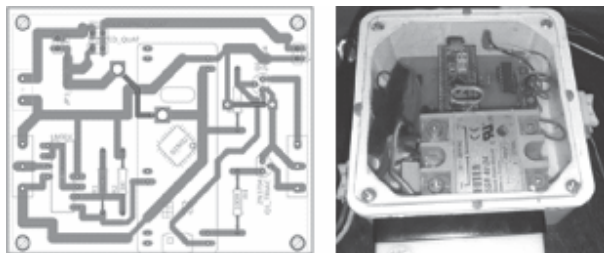
$$u_k = K_p e_k + K_i T_s \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{K_d}{T_s} (e_k - e_{k-1}) \quad (3)$$

Thuật toán PID cài đặt lên vi điều khiển được trình bày trong [5], trong đó công thức của bộ điều khiển là PID2DOF, đây là trường hợp tổng quát của bộ PID. Nhìn vào công thức (4), ta thấy khi $b = 1$ và $c = 1$ thì ta thu được (3).

$$u = K_p(b^*r - y) + K_i T_p(z)(r - y) + \frac{K_d}{T_f + T_p(z)}(c^*r - y) \quad (4)$$

2.2. Mô hình điều khiển nhiệt độ lò sấy

Mô hình nhiệt lò sấy, sơ đồ mạch điều khiển và thuật toán đo lường được trình bày chi tiết trong [6], giải thuật điều khiển PID2DOF cài đặt trên vi điều khiển được trình bày trong [5]. Sơ đồ mạch in của bộ điều khiển và mô hình thực của thiết bị được trình bày trong Hình 4.

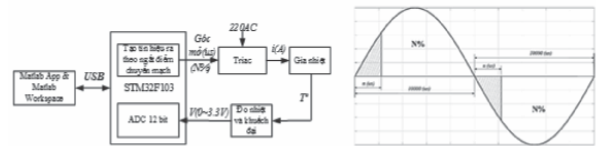


Hình 4. Mạch in và thiết bị điều khiển nhiệt

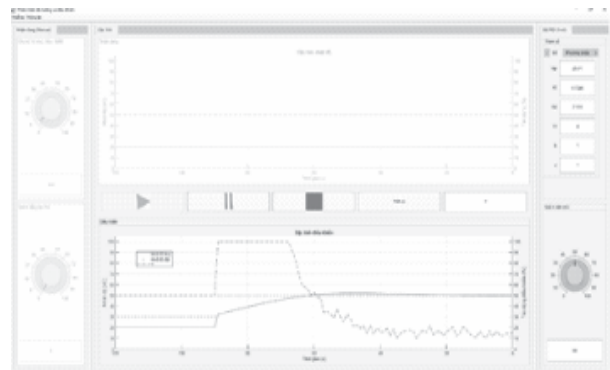
Nguyên lý vận hành của thiết bị và nguyên lý cắt pha dòng điện tới thiết bị gia nhiệt được mô tả trong Hình 5. Công thức (5) tính thời gian mở triac điều khiển.

$$n(\mu s) = 3183 \arccos\left(\frac{N}{50} - 1\right) \quad (5)$$

Ứng dụng trên máy tính được phát triển dựa trên Matlab có thể thực hiện thu thập dữ liệu vận hành của quá trình điều khiển nhiệt độ được mô tả trên Hình 6.



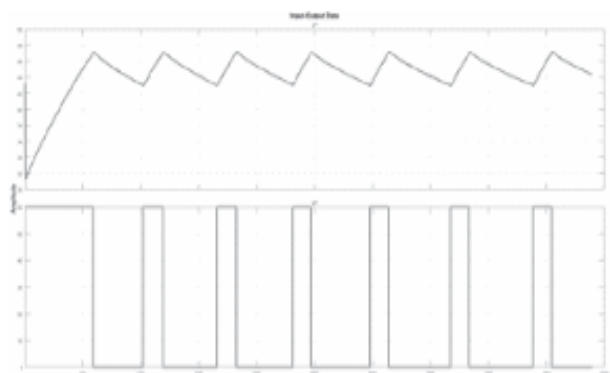
Hình 5. Nguyên lý vận hành và cắt pha dòng điện của thiết bị



Hình 6. Giao diện ứng dụng trên máy tính

2.3. Kết quả điều khiển

Quá trình tiến hành thu thập dữ liệu, tính toán các tham số K_u và P_u , bộ điều khiển Relay được kích hoạt. Đường đặc tính đầu ra có dạng dao động như Hình 7.



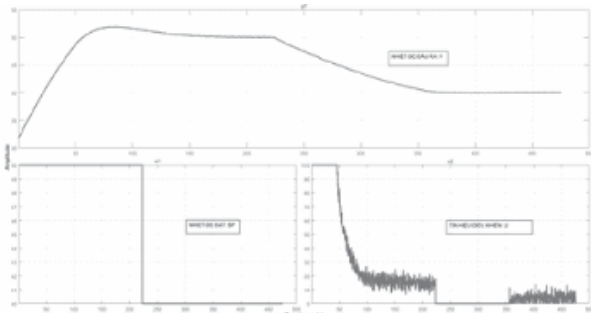
Hình 7. Đặc tính đầu ra dao động tương ứng với tác động Relay

Giải thuật xác định các giá trị tới hạn của đáp ứng dao động và chu kỳ dao động trên vi điều khiển cung cấp các giá trị biên độ dao động, chu kỳ dao động như bảng 2.

Bảng 2. Các giá trị biên độ dao động và chu kỳ dao động sau 5 chu kỳ

Chu kỳ	1	2	3	4	5
Max (độ)	47,1300	47,2400	47,1000	47,2000	47,1600
Min (độ)	42,9400	42,9900	42,9200	42,9100	42,9500
P_u (giây)	63,3000	64,5000	66,9000	69,6000	71,1000

Sử dụng các giá trị trung bình của các đại lượng từ Bảng 2, vi điều khiển xác định được bộ tham số cho các bộ điều khiển PID như sau: $K_p = 25,0059$; $K_i = 0,7246$ và $K_d = 215,6250$. Kết quả điều khiển thu được khá tốt được thể hiện trên Hình 6 và tập hợp dữ liệu chi tiết như trong Hình 8:



Hình 8. Dữ liệu điều khiển nhiệt độ với bộ PID autoturn

3. KẾT LUẬN VÀ ĐÁNH GIÁ

Từ những kết quả nghiên cứu thực nghiệm được trình bày ở trên, có thể rút ra kết luận rằng tính năng tự động tìm và hiệu chỉnh tham số bộ điều khiển PID trên vi điều khiển họ STM32 đã đem lại chất lượng điều khiển rất khả quan, ít nhất với đối tượng nhiệt độ lò sấy. Hướng nghiên cứu tiếp theo là mở rộng cho các loại đối tượng khác. ❖

Ngày nhận bài: **02/3/2024**

Ngày phản biện: **25/3/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. K.J. Åström, T. Häggglund. *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America, 1999.
- [2]. K.J. Åström, T. Häggglund. *Automatic tuning of simple regulators with specification on phase and amplitude margins*. Automatica, vol. 20, nr. 5, pp. 645-651, 1984.
- [3]. Lê Hùng Lân; *Lý thuyết điều khiển tự động*, Tập 1. NXB. Giao thông Vận tải, 2000.
- [4]. Nguyễn Doãn Phước; *Lý thuyết điều khiển tuyến tính*. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2016.
- [5]. Đặng Hà Dũng; *Thiết kế bộ PID hai bậc tự do điều khiển tốc độ động cơ một chiều sử dụng vi điều khiển*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 5 năm 2019.
- [6]. Đặng Hà Dũng; *Nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị thu thập dữ liệu vận hành của một số đối tượng nhiệt*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 5 năm 2021.