

# ĐIỀU KHIỂN PID MỘT NƠ-RON HỒI QUY HỆ ỔN ĐỊNH ÁP SUẤT GUNT-RT030

## RECURRENT SINGLE-NEURAL PID CONTROL FOR GUNT-RT030 PRESSURE CONTROL UNIT

Nguyễn Chí Ngôn<sup>1(\*)</sup>, Lê Thị Nhung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

<sup>2</sup>Trường Cao đẳng nghề Kiên Giang, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 13/10/2020, ngày phản biện đánh giá 24/10/2020, ngày chấp nhận đăng 14/11/2020

### TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm phát triển bộ điều khiển PID một nơ-ron hồi quy để kiểm soát các đối tượng chưa xác định, áp dụng thực nghiệm trên hệ ổn định áp suất Gunt-RT030. Bộ điều khiển PID được tổ chức dưới dạng một nơ-ron hồi quy 4 ngõ vào. Trong đó, một ngõ vào tiếp nhận giá trị hồi tiếp từ ngõ ra trước đó của chính bộ điều khiển; 3 ngõ vào còn lại nhận 3 thành phần giá trị tương ứng của bộ điều khiển PID. Để huấn luyện bộ PID một nơ-ron hồi quy này, giải thuật cập nhật trực tuyến cần một giá trị về độ nhạy của đối tượng, gọi là thông tin Jacobian. Do đó, một mạng nơ-ron RBF cũng được huấn luyện trực tuyến để nhận dạng mô hình đối tượng và xác định thông tin Jacobian đó. Kết quả thực nghiệm trên hệ ổn định áp suất Gunt-RT030 của hãng Gunt-Hamburg và so sánh với bộ điều khiển PID do nhà sản xuất cung cấp cho thấy bộ điều khiển đề xuất có khả năng tự chỉnh và cho đáp ứng của đối tượng được cải thiện với thời gian xác lập giảm (đạt  $6 \pm 0,3$  giây), độ vọt lố giảm và sai số xác lập được triệt tiêu.

**Từ khóa:** Mạng nơ-ron RBF; PID; nhận dạng mô hình; huấn luyện trực tuyến; thông tin Jacobian.

### ABSTRACT

This study aims to develop a recurrent single neural PID (Proportional Integral Derivative) controller to control unknown plants, experimentally applying on the Gunt-RT030 pressure control unit. The PID controller is organized as a recurrent single neuron with 4 inputs. Where, an input receives feedback value from previous output of the controller; and 3 remaining inputs receive corresponding components of the PID controller. In order to update the weights of neuron, an online training algorithm needs a value of the controlled plant's sensitivity, called the Jacobian information. Thus, a radial basic function (RBF) neural network is also trained online for model identification and estimation of that Jacobian information. Experimental results on the Gunt-Hamburg RT030 pressure control unit, and comparison with the classical PID provided by the manufacturer show that the recurrent single neural PID controller can be self-tuning and obtain better responses with setting time shortened (archived  $6 \pm 0.3$  seconds), overshoot reduced and steady-state error eliminated.

**Keywords:** RBF neural network; PID; model identification; online training; Jacobian information.

## 1. GIỚI THIỆU

Trong công nghiệp bộ điều khiển PID được sử dụng rộng rãi [1], tuy nhiên, với các thông số cài đặt cố định đã làm hạn chế khả năng thích ứng đối với sự biến đổi đặc tính động của đối tượng điều khiển [2]. Việc tự

chỉnh thông số của bộ điều khiển PID được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu.

Những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã quan tâm ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo để tổ chức thành cấu trúc điều khiển PID nhằm tận dụng khả năng huấn luyện được của mạng

để cập nhật thông số của bộ điều khiển [2-4]. Tuy vậy, với giải thuật gradient descent, việc huấn luyện trực tuyến bộ điều khiển có thời gian hội tụ chậm, làm ảnh hưởng đến thời gian quá độ của hệ thống, cụ thể là làm kéo dài thời gian xác lập của đáp ứng. Do vậy, bộ điều khiển PID dùng mạng nơ-ron chưa thật sự đáp ứng tốt yêu cầu điều khiển, nên các nghiên cứu [2-4] phải tăng cường thêm kỹ thuật điều khiển mờ, làm cho bộ điều khiển nơ-ron mờ trở nên phức tạp hơn. Ngoài ra, việc cập nhật trọng số của bộ điều khiển dùng mạng nơ-ron đòi hỏi phải có thông tin về độ nhạy của đối tượng, gọi là thông tin Jacobian. Việc nhận dạng thông tin Jacobian bằng mạng nơ-ron mờ [3] bộc lộ hạn chế về tốc độ hội tụ, làm ảnh hưởng đến thời gian xác lập của hệ thống.

Để khắc phục vấn đề này, một số nghiên cứu đã tổ chức bộ điều khiển PID bằng một nơ-ron tuyến tính (single neural PID) và sử dụng một mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm RBF (Radial Basis Function) để nhận dạng thông tin Jacobian, thay vì sử dụng mạng nơ-ron mờ [5, 6]. Thật vậy, các nghiên cứu [7-18] đã phát triển thành công bộ điều khiển PID một nơ-ron có khả năng huấn luyện trực tuyến với bộ nhận dạng thông tin Jacobian bằng mạng nơ-ron RBF. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào việc phát triển giải thuật và chủ yếu minh họa kết quả thông qua mô phỏng trên máy tính, mà chưa áp dụng vào kiểm soát các đối tượng thực tế.

Ở nghiên cứu [19], bộ điều khiển PID một nơ-ron được áp dụng thực nghiệm trên mô hình con lắc ngược quay, nhưng kết quả cho thấy thời gian hội tụ của các thông số  $K_P$ ,  $K_D$  và  $K_I$  của bộ PID còn rất chậm, cần đến 25 giây mới đạt giá trị cần thiết. Điều này sẽ ảnh hưởng đến đáp ứng quá độ của hệ thống, như đã nêu. Trong [20], bộ PID một nơ-ron được áp dụng trên hệ ổn định áp suất Gunt-RT030, với thời gian hội tụ của các thông số của bộ điều khiển nhanh hơn. Tuy nhiên, đáp ứng tổng thể của hệ ổn định áp suất còn chậm, cần khoảng 10 giây mới xác lập được. Điều này chứng tỏ bộ điều khiển vẫn còn tác động yếu.

Các bộ điều khiển PID một nơ-ron trong [7-20] đều sử dụng cấu trúc truyền thẳng đơn

giản. Phải chăng cấu trúc này chưa đủ linh động để phát huy hiệu quả khả năng tự chỉnh của bộ điều khiển? Vì vậy, nghiên cứu này đề xuất hướng hai hướng tiếp cận cơ bản, bao gồm: (i) cải tiến cấu trúc truyền thẳng của bộ điều khiển PID một nơ-ron thành cấu trúc hồi quy mà ở đó, ngõ ra của bộ điều khiển PID một nơ-ron được hồi tiếp về ngõ vào của chính nó; (ii) tiến hành thực nghiệm bộ điều khiển đề xuất trên thiết bị ổn định áp suất Gunt-RT030, với kỳ vọng đạt được thời gian xác lập của hệ thống ngắn hơn [20].

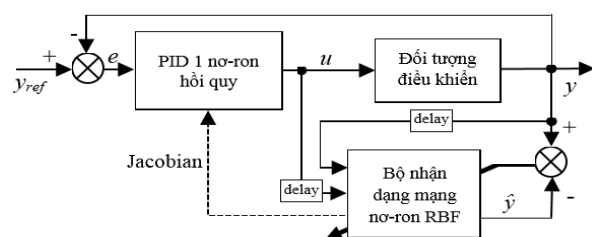
Như vậy, nghiên cứu này đề xuất việc tổ chức lại bộ điều khiển PID một nơ-ron thành dạng hồi quy với 4 ngõ vào. Trong đó, một ngõ vào tiếp nhận giá trị hồi tiếp từ ngõ ra trước đó của chính bộ điều khiển; 3 ngõ vào còn lại nhận 3 thành phần giá trị tương ứng của bộ điều khiển PID. Để huấn luyện bộ PID một nơ-ron hồi quy này, giải thuật cập nhật trực tuyến cũng sẽ sử dụng thông tin Jacobian từ bộ nhận dạng mạng nơ-ron RBF.

Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau: Mục 2 trình bày về phương pháp thiết kế bao gồm nguyên tắc điều khiển, bộ nhận dạng đối tượng dùng mạng nơ-ron RBF và bộ điều khiển PID một nơ-ron hồi quy. Mục 3 trình bày các kết quả thực nghiệm trên hệ ổn định áp suất Gunt-RT030 để đánh giá khả năng tự chỉnh của bộ điều khiển và tính ổn định của hệ thống dưới tác động của nhiễu từ bên ngoài. Mục 4 trình bày về kết luận và đề xuất hướng phát triển của nghiên cứu.

## 2. PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ

### 2.1 Nguyên tắc điều khiển

Cấu trúc bộ điều khiển PID một nơ-ron hồi quy dựa trên bộ nhận dạng mạng nơ-ron RBF được thiết kế như hình 1, được phát triển dựa theo các nghiên cứu [8, 10, 12-16, 18-20].

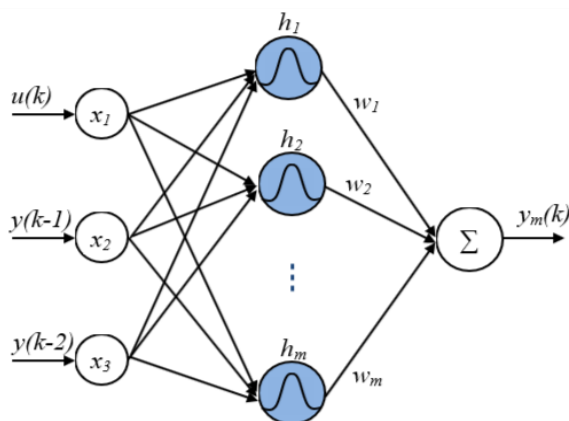


Hình 1. Cấu trúc PID một nơ-ron hồi quy

Trên hình 1, mạng nơ-ron RBF có nhiệm vụ nhận dạng mô hình của đối tượng, từ đó, xác định độ nhạy của đáp ứng đối với tín hiệu điều khiển, gọi là thông tin Jacobian. Từ thông tin Jacobian này, một nơ-ron tuyến tính với 4 ngõ vào được cấu trúc dạng hồi quy sẽ được huấn luyện trực tuyến. Nơ-ron hồi quy này được tổ chức như một bộ điều khiển PID số, mà ở đó 3 trong 4 trọng số của nơ-ron chính là 3 tham số  $K_P$ ,  $K_D$  và  $K_I$  của bộ điều khiển. Do đó, bộ điều khiển PID có thể tự chỉnh thích nghi với sự thay đổi của đặc tính động của hệ thống, bằng cơ chế huấn luyện trực tuyến.

## 2.2 Bộ nhận dạng đối tượng điều khiển

Bộ nhận dạng mạng nơ-ron RBF trong hình 1, với cấu trúc ba lớp, được xây dựng dựa theo [7, 16, 20], như mô tả trên hình 2.



Hình 2. Bộ nhận dạng mạng nơ-ron RBF

Trong đó,  $u(k)$ ,  $y(k)$  và  $y_m(k)$  lần lượt là tín hiệu điều khiển, đáp ứng của đối tượng và ngõ ra của bộ nhận dạng, tại thời điểm  $k$ . Các hàm Gauss được xác định bởi [5-8]:

$$h_j = \exp\left(-\frac{\|x - c_j\|^2}{2b_j^2}\right) \quad (1)$$

với  $x = [x_1, x_2, x_3]^T = [u(k), y(k-1), y(k-2)]^T$  là các ngõ vào của mạng nơ-ron RBF gồm  $m$  nút;  $c_j = [c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1m}; c_{21}, c_{22}, \dots, c_{2m}; c_{31}, c_{32}, \dots, c_{3m}]$  là ma trận tâm và  $b_j = [b_1, b_2, \dots, b_m]^T$  là véc-tơ độ rộng tương ứng của các hàm Gauss; véc-tơ trọng số là  $w_j = [w_1, w_2, \dots, w_m]^T$  và  $y_m$  là ngõ ra của bộ nhận dạng:

$$y_m(k) = w_1 h_1 + w_2 h_2 + \dots + w_m h_m = \sum_{j=1}^m w_j h_j \quad (2)$$

Hiệu suất huấn luyện được đánh giá thông qua hàm mục tiêu (3), với  $y(k)$  và  $y_m(k)$  lần lượt là ngõ ra của đối tượng và mô hình.

$$Err(k) = \frac{1}{2} (y(k) - y_m(k))^2 \quad (3)$$

Giải thuật cập nhật ma trận tâm  $c$ , véc-tơ độ rộng  $b$  và véc-tơ trọng số  $w$  của các hàm Gauss được thực hiện bởi [5-7]:

$$\Delta w_j(k) = -\eta \frac{\partial Err}{\partial w_j} = \eta (y(k) - y_m(k)) h_j$$

$$w_j(k) = w_j(k-1) + \Delta w_j(k) + \alpha (w_j(k-1) - w_j(k-2)) \quad (4)$$

$$\Delta b_j(k) = -\eta \frac{\partial Err}{\partial b_j} = \eta (y(k) - y_m(k)) w_j h_j \frac{\|x - c_j\|^2}{2b_j^3}$$

$$b_j(k) = b_j(k-1) + \Delta b_j(k) + \alpha (b_j(k-1) - b_j(k-2)) \quad (5)$$

$$\Delta c_j(k) = -\eta \frac{\partial Err}{\partial c_j} = \eta (y(k) - y_m(k)) w_j \frac{\|x - c_j\|^2}{2b_j^2}$$

$$c_j(k) = c_j(k-1) + \Delta c_j(k) + \alpha (c_j(k-1) - c_j(k-2)) \quad (6)$$

trong đó  $\eta$  là tốc độ học,  $\alpha$  là hệ số moment.

Thông tin Jacobian được xác định bởi (7), theo [8, 10-12] và sẽ được dùng cho giải thuật huấn luyện bộ điều khiển PID một nơ-ron.

$$\frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \approx \frac{\partial y_m(k)}{\partial u(k)} = \sum_{j=1}^m w_j h_j \frac{c_{ji} - u(k)}{b_j^2} \quad (7)$$

## 2.3 Bộ điều khiển PID một nơ-ron hồi quy

Tín hiệu điều khiển của bộ PID số được xác định bởi [8-20]:

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (8)$$

$$\Delta u(k) = K_p e(k) + K_d ce(k) + K_i ie(k)$$

trong đó,  $e(k)$  là sai biệt giữa tín hiệu tham khảo  $y_{ref}(k)$  và đáp ứng  $y(k)$ :

$$e(k) = y_{ref}(k) - y(k) \quad (9)$$

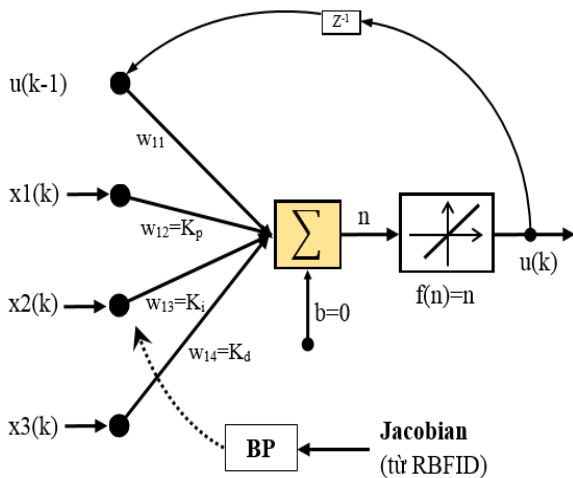
và  $ce(k)$ ,  $ie(k)$  là các thành phần đạo hàm và tích phân rời rạc tương ứng của  $e(k)$ .

Nghiên cứu này đề xuất tín hiệu điều khiển có dạng:

$$u(k) = w_{11}u(k-1) + w_{12}e(k) + w_{13}ce(k) + w_{14}de(k) \quad (10)$$

với  $w^T = [w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{14}]$  là bộ trọng số của một cấu trúc nơ-ron 4 ngõ vào như hình 3.

Tín hiệu điều khiển (10) sẽ linh hoạt hơn nhờ cơ chế cập nhật bộ trọng số  $w$ . Trong đó  $w_{11}$  cho phép chỉnh giá trị quá khứ  $u(k-1)$  của tín hiệu điều khiển  $u(k)$ ;  $w_{12} - w_{14}$  tương ứng với 3 tham số của bộ điều khiển PID, cụ thể là  $K_P$ ,  $K_D$  và  $K_I$ . Cơ chế hồi quy này có thể được xem là một đề xuất hiệu chỉnh bộ điều khiển mà các nghiên cứu trước chưa triển khai.



Hình 3. Bộ PID một nơ-ron hồi quy

Bốn ngõ vào tương ứng của nơ-ron PID hồi quy hình 3, với cách tính gần đúng các thành phần đạo hàm  $ce(k)$  và tích phân  $ie(k)$  của  $e(k)$  được xác định theo [4, 12]:

$$x = \begin{bmatrix} u(k-1) \\ x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u(k-1) \\ e(k) \\ e(k) - e(k-1) \\ e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Bộ trọng số của nơ-ron PID gồm:

$$w^T = [w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{14}] = [w_{11}, K_p, K_d, K_i] \quad (12)$$

Vì vậy tín hiệu điều khiển là:

$$u(k) = w_{11}u(k-1) + w_{12}x_1(k) + w_{13}x_2(k) + w_{14}x_3(k) = w^T \cdot x \quad (13)$$

Để huấn luyện trực tuyến nơ-ron PID này, ta định nghĩa hàm mục tiêu là:

$$E(k) = \frac{1}{2} e^2(k) = \frac{1}{2} (y_{ref}(k) - y(k))^2 \quad (14)$$

Giải thuật Hebb [8-9, 12, 18-20] dùng để cập nhật trực tuyến nơ-ron PID như sau:

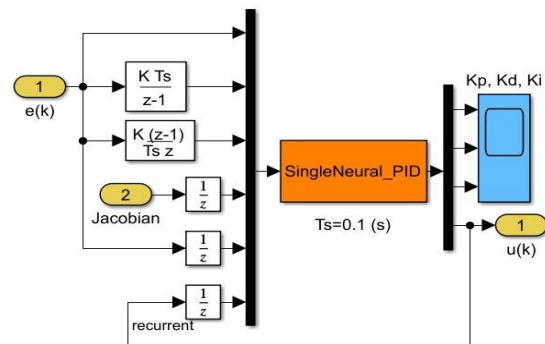
$$w_{11}(k) = w_{11}(k) + \Delta w_{11}(k) \quad (15)$$

$$\Delta w_{11}(k) = -\eta \frac{\partial E(k)}{\partial w_{11}(k)} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial w_{11}} = \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial u} u(k-1) \quad (16)$$

$$w_{ii}(k) = w_{ii}(k) + \Delta w_{ii}(k) | i = 2, 3, 4 \quad (17)$$

$$\Delta w_{ii}(k) = -\eta \frac{\partial E(k)}{\partial w_{ii}(k)} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial w_{ii}} = \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial u} x_i(k) | i = 2, 3, 4 \quad (18)$$

Trong (16) và (18), giá trị  $\partial y / \partial u$  được xác định bởi (7), chính là thông tin Jaco-bian của đối tượng điều khiển, được xác định bằng bộ nhận dạng mạng nơ-ron RBF. Bộ điều khiển PID một nơ-ron hồi quy này được triển khai trên MATLAB như hình 4.



Hình 4. Bộ PID một nơ-ron hồi quy trên MATLAB/Simulink



Hình 5. Hệ điều khiển áp suất Gunt-RT030

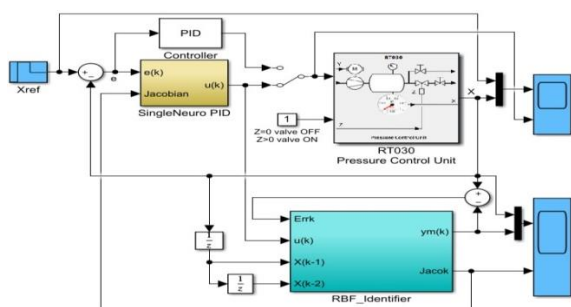
### 3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

#### 3.1 Đối tượng thực nghiệm

Nghiên cứu này tiến hành kiểm nghiệm trên thiết bị Gunt-RT030. Đây là hệ ổn định áp suất không khí do Gunt Hamburg sản xuất, kèm cơ chế điều khiển PID [21]. Trong [20] và các nghiên cứu liên quan đã hoàn thiện cơ chế giao tiếp giữa MATLAB và thiết bị Gunt-RT030 qua card Labjack U12 [22]. Nên ta dùng công cụ này để kiểm nghiệm giải thuật trên hệ Gunt-RT030, với bố trí như hình 5.

#### 3.2 Sơ đồ điều khiển thực nghiệm

Sơ đồ điều khiển thực nghiệm được mô tả trên hình 6. Trong sơ đồ này,  $X_{ref}$  là tín hiệu khảo,  $X$  là đáp ứng của Gunt-RT030. Để đánh giá chất lượng bộ điều khiển đề xuất, ta tiến hành 2 thực nghiệm. Ở thực nghiệm 1, tín hiệu tham khảo  $X_{ref}$  được thay đổi trong quá trình điều khiển, để đánh giá khả năng tự chỉnh của bộ điều khiển PID một nơ-ron hồi quy. Ở thực nghiệm 2, tín hiệu  $X_{ref}$  được cố định, nhưng ta tiến hành mở van xả khí ở ngõ ra của bình khí nén, với mức xả lần lượt khoảng 10%, 25% và 40% của độ mở van tối đa, để giả lập tác động của nhiễu ngoài lên hệ thống, đồng thời so sánh đáp ứng của bộ điều khiển đề xuất với bộ PID kinh điển của nhà sản xuất.

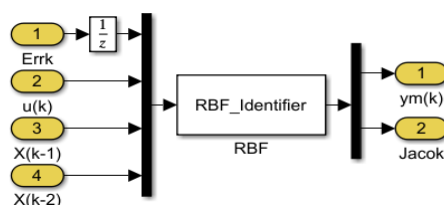


Hình 6. Thực nghiệm điều khiển PID một nơ-ron hồi quy trên thiết bị Gunt-RT030

### 3.3 Cấu hình hệ thống

Trong sơ đồ thực nghiệm hình 6, cấu hình hệ thống được triển khai như sau:

**Bộ nhận dạng mạng nơ-ron RBF:** Bộ nhận dạng được thực hiện trên MATLAB theo sơ đồ hình 7. Trong đó, mạng nơ-ron RBF có cấu trúc 3-5-1, với 3 nút ngõ vào nhận giá trị  $x=[u(k), y(k-1), y(k-2)]^T$ , tương ứng là tín hiệu điều khiển tại thời điểm  $k$  và hai mẫu quá khứ của đáp ứng tại thời điểm  $(k-1)$  và  $(k-2)$ . Lớp ẩn của mạng gồm 5 nút, tương ứng là 5 hàm Gauss và lớp ra gồm 1 nút cung cấp giá trị ngõ ra  $y_m(k)$  của bộ nhận dạng. Thông tin Jacobian được tính toán theo (7) và  $Err(k)$  được xác định theo (3) để cập nhật mạng RBF và tính toán hiệu suất huấn luyện.



Hình 7. Bộ nhận dạng trong MATLAB

Việc khởi tạo các tham số của bộ nhận dạng mạng RBF có ảnh hưởng đến tốc độ hội tụ của giải thuật huấn luyện và tầm hoạt động của mạng, kéo theo ảnh hưởng đến thời gian quá độ của đáp ứng. Trong đó việc chọn lựa ma trận tâm  $c$  và véc-tơ độ rộng  $b$  của các hàm Gauss có ảnh hưởng rất quan trọng. Thông thường khoảng giá trị của tâm  $c$  được chọn gần với khoảng giới hạn giá trị biên độ của các ngõ vào và  $b$  được chọn đủ rộng để nâng cao phạm vi hoạt động của mạng [23]. Bộ tham số của mạng nơ-ron RBF trong thực nghiệm này được khởi tạo theo [23] và có điều chỉnh theo phương pháp thử-sai, cho trong bảng 1.

Bảng 1. Giá trị khởi tạo mạng RBF

Tham số	Ký hiệu	Giá trị khởi tạo
Ma trận tâm	$c_0$	$\begin{bmatrix} -100 & -50 & 0 & 50 & 100 \\ -1 & -0.5 & 0 & 0.5 & 1 \\ -1 & -0.5 & 0 & 0.5 & 1 \end{bmatrix}$
Véc-tơ độ rộng	$b_0$	$[40 \ 40 \ 40 \ 40 \ 40]^T$
Trọng số	$w_0$	Ngẫu nhiên trong khoảng giá trị [0,1]

Hệ số học	$\eta$	0.1
Hệ số mô-men	$\alpha$	0.1

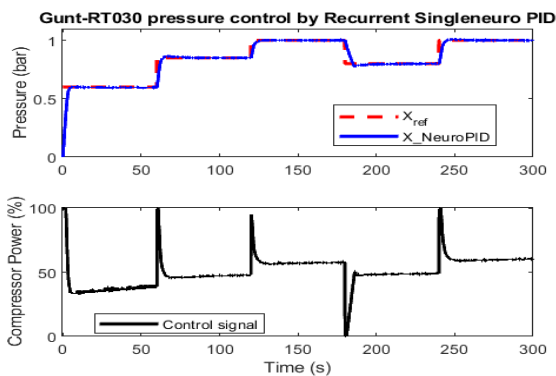
**Bộ điều khiển PID một nơ-ron hồi quy:**  
 Đây là một nơ-ron tuyến tính, có cấu trúc 4-1, với 4 ngõ vào, 1 ngõ ra (hình 3). Ở thực nghiệm này, trọng số của nơ-ron được khởi tạo ngẫu nhiên trong  $[0,1]$  và hệ số học được chọn theo kinh nghiệm, với giá trị là  $\eta=0.05$ .

**Cấu hình MATLAB:** Bộ điều khiển được chạy trong Simulink của MATLAB ở chế độ rời rạc, với thời gian lấy mẫu  $T_s=0.1$  giây. Card Labjack U12 [22] cho phép kết nối giữa MATLAB và thiết bị Gunt-RT030 qua cổng truyền thông nối tiếp USB. Card giao tiếp này chịu trách nhiệm truyền tín hiệu điều khiển từ MATLAB xuống thiết bị, đồng thời nó đọc giá trị cảm biến từ thiết bị và trả về máy tính. Với cấu trúc này, ta hoàn toàn có thể thiết kế các kiểu điều khiển phức tạp trên máy tính để kiểm soát thiết bị Gunt-RT030.

### 3.4 Kết quả thực nghiệm

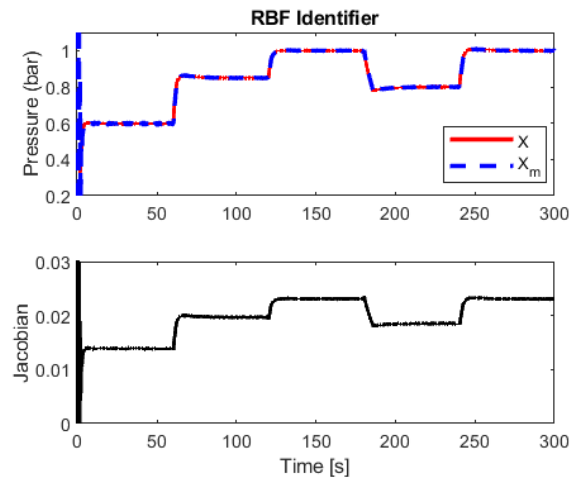
*Thực nghiệm 1:*

Ở thực nghiệm này,  $X_{ref}$  được thay đổi từ 0,6 bar đến 1 bar trong quá trình điều khiển. Đáp ứng ngõ ra và tín hiệu điều khiển như trên hình 8. Kết quả cho thấy đáp ứng  $X$  bám sát theo  $X_{ref}$  với thời gian xác lập thông kê được là  $6 \pm 0,3$  giây, ngắn hơn thời gian xác lập 10 giây của [20]. Lưu ý rằng, khi giảm  $X_{ref}$  (tại giây 175), hệ Gunt-RT030 không có cơ chế hút khí trong bình ra, nên khi tín hiệu điều khiển về 0, thời gian xả khí phụ thuộc vào độ mở của van xả. Ở chu kỳ này, bộ điều khiển trở nên thụ động, nên ta không đánh giá đáp ứng của nó.

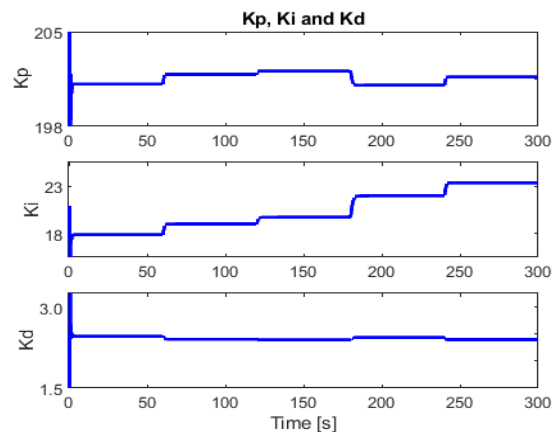


**Hình 8.** Đáp ứng của hệ Gunt-RT030 với  $X_{ref}$  thay đổi

Hình 9 trình bày kết quả nhận dạng ngõ ra của đối tượng và thông tin Jacobian. Kết quả cho thấy bộ nhận dạng đã hoạt động tốt trên đối tượng thực tế. Hình 10 trình bày các tham số  $K_P$ ,  $K_D$  và  $K_I$  được thay đổi trong quá trình điều khiển. Do hệ Gunt-RT030 là tuyến tính, nên yêu cầu tự chỉnh tham số bộ điều khiển không lớn, song kết quả cũng đã minh chứng được khả năng tự chỉnh của bộ PID một nơ-ron hồi quy.



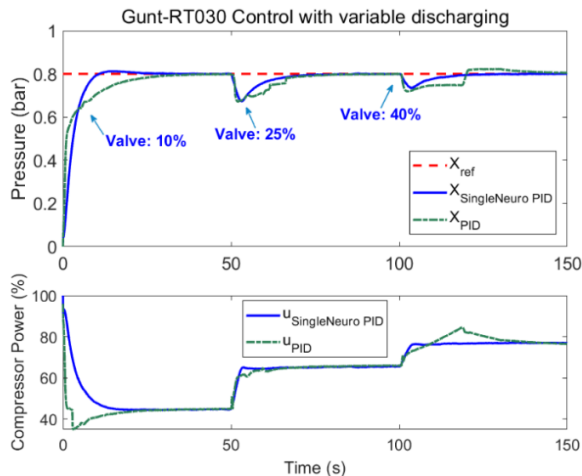
**Hình 9.** Đáp ứng của bộ nhận dạng



**Hình 10.** Tham số của bộ PID một nơ-ron

*Thực nghiệm 2:*

Ở thực nghiệm này, ta giữ nguyên  $X_{ref}$  ở 0,8 bar và mở van xả lần lượt ở 3 mức: 10%, 25% và 40% độ mở tối đa của van. Đáp ứng của hệ thống trong thực nghiệm này như trên hình 11. Thực nghiệm cũng lặp lại với trường hợp sử dụng giá trị mặc định của bộ PID kinh điển do nhà sản xuất cung cấp. Kết quả hình 10 cho thấy đáp ứng của bộ PID một nơ-ron hồi quy nhanh hơn bộ PID kinh điển.



**Hình 11.** So sánh bộ PID một nơ-ron hồi quy và bộ PID kinh điển

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đề xuất một cơ chế điều khiển thông minh dùng mạng nơ-ron. Đối tượng điều khiển được nhận dạng bởi một mạng nơ-ron RBF, nhằm tìm kiếm giá trị độ nhạy của nó, gọi là thông tin Jacobian. Bộ điều khiển PID được tổ chức dưới dạng một nơ-ron hồi quy 4 ngõ vào. Trong đó, một ngõ vào tiếp nhận giá trị hồi tiếp từ ngõ ra trước đó của bộ điều khiển và ba ngõ còn lại nhận 3 thành phần giá trị tương ứng của bộ PID. Giải thuật Hebb được dùng để cập nhật trực tuyến

bộ trọng số của nơ-ron PID, với sự tham gia của thông tin Jacobian trả về từ bộ nhận dạng.

Thực nghiệm trên thiết bị Gunt-RT030 cho thấy bộ nhận dạng mạng nơ-ron RBF hoạt động hiệu quả và cung cấp thông tin Jacobian hữu dụng; bộ điều khiển PID một nơ-ron hồi quy có khả năng tự chỉnh tham số  $K_P$ ,  $K_D$  và  $K_I$  trong quá trình điều khiển. Đồng thời, giải thuật đề xuất cũng cải thiện được chất lượng điều khiển, với thời gian xác lập ngắn, đạt  $6 \pm 0,3$  giây, độ vọt lố không đáng kể và sai số xác lập được triệt tiêu. Kết quả thực nghiệm cũng cho thấy bộ điều khiển đề xuất cho đáp ứng tốt hơn bộ điều khiển PID kinh điển do nhà sản xuất cung cấp.

Mặc dù bộ điều khiển đề xuất đã được thực nghiệm với tín hiệu đo đặc từ cảm biến hàm chứa nhiễu thực tế. Song, việc khảo sát tác động của nhiễu, nhất là tác động lên bộ nhận dạng vẫn chưa được khảo sát bày bản. Do đó, hướng phát triển của nghiên cứu này là tiến hành thực nghiệm trên hệ phi tuyến thật để đánh giá đầy đủ khả năng tự chỉnh của bộ điều khiển; đồng thời khảo sát đáp ứng khi có sự thay đổi đặc tính động của đối tượng, cũng như khi có nhiễu tác động từ bên ngoài, nhất là tác động đến quá trình huấn luyện online bộ điều khiển và bộ nhận dạng.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M.A. Johnson and M.H. Moradi, Chapter 8, *in: PID Control - New Identification and Design Methods*, pp. 297-337, Springer-Verlag London Ltd, 2005.
- [2] J. Chen and T.-C. Huang, Applying neural network to on-line updated PID controllers for nonlinear process control, *J. of Process Control*, No.14, pp. 211–230, 2004.
- [3] Lee C.-h., Y.-H. Lee, A Novel robust PID controller design by fuzzy neural network, *IEEE Proc. of the American Control Conf. (ACC2002)*, pp. 1561-1566, 2002.
- [4] Z. She, D. Hu, J. Liu and Q. Liang, Single Neuron Speed Control Based on Current FAC for PMSM Vector Control, *2019 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, pp. 1-5, 2019. doi: 10.1109/APPEEC45492.2019.8994676.
- [5] M.-g. Zhang, X.-g. Wang and M.-q. Liu, Adaptive PID Control Based on RBF Neural Network Identification, *IEEE Proc. of 17th Inter. Conf. on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'05)*, pp.681-683, 2005.
- [6] J.B. Gomm and D.L. Yu, Selecting radial basis function network centers with recursive orthogonal least squares training, *IEEE Trans. Neural Network*, 11 (2), pp. 306–314, 2000.
- [7] Chi-Ngon Nguyen and Minh Hoang Nguyen, Improvement of power output of the Wind Turbine by pitch angle control using RBF neural network, *Inter. J. of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, Vol. 10, Issue 10, pp. 64-74, 2019.

- [8] J. Jiao, J. Chen, Y. Qiao, W. Wang, C. Wang and L. Gu, Single Neuron PID Control of Agricultural Robot Steering System Based on Online Identification, IEEE 4th Inter. Conf. on Big Data Computing Service and Applications (BigDataService), Bamberg, pp. 193-199, 2018.
- [9] C. Rosales, C.M. Soria, and F.G. Rossomando, Identification and adaptive PID Control of a hexacopter UAV based on neural networks, Inter. J. Adaptive Control and Signal Process, No. 33, pp. 74– 91, 2019.
- [10] X.-d. Zhang, Y.-m. Cheng and Y.-x. Hao, Application of Single Neuron Adaptive PID Approach in Rolling Tension Control, 2<sup>nd</sup> Inter. Conf. on Materials Science, Machinery and Energy Engineering (MSMEE 2017), Advances in Engineering Research, Vol. 123, Atlantis Press, pp. 1185-1190, 2017.
- [11] M. Rif'an, F. Yusivar and B. Kusumoputro, Adaptive PID controller based on additional error of an inversed-control signal for improved performance of brushless DC motor, 15<sup>th</sup> Inter. Conf. on Quality in Research: Inter. Sympo. on Electrical and Comp. Engineering, pp. 315-320, 2017.
- [12] J. Liu, On a method of single neural PID feedback compensation control, Third Inter. Confer. on Artificial Intelligence and Pattern Recognition (AIPR), Lodz, pp. 1-4, 2016.
- [13] Jiao, J. Chen, Y. Qiao, W. Wang, C. Wang and L. Gu, Single Neuron PID Control of Agricultural Robot Steering System Based on Online Identification, 2018 IEEE Fourth International Conference on Big Data Computing Service and Applications (BigDataService), Bamberg, pp. 193-199, 2018.
- [14] Liang, Y., S. Xu , K. Hong, G. Wang and T. Zeng, Neural network modeling and single-neuron proportional–integral–derivative control for hysteresis in piezoelectric actuators, Measurement and Control, vol. 52, issue 9-10, pp. 1362-1370, 2019.
- [15] Le Minh Thanh, Luong H. Thuong, Phan T. Loc, Chi-Ngon Nguyen, Delta robot control using single neuron PID algorithms based on recurrent fuzzy neural network identifiers, Inter. Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 9, No. 10, pp. 1411-1418, 2020.
- [16] Nguyễn Chí Ngôn và Đặng Tín, Điều khiển PID một nơron thích nghi dựa trên bộ nhận dạng mạng nơron mờ hồi qui áp dụng cho hệ thanh và bóng, Tạp chí khoa học Đại học Cần Thơ, số 20a, tr. 159-168, 2011.
- [17] Nguyễn Phùng Hưng, Phạm Kỳ Quang, Võ Hồng Hải, Bộ điều khiển PID chỉnh tham số bằng mạng nơ-ron dùng cho máy lái tự động tàu thủy, Giao thông Vận tải, số 9, tr.67-70, 2015.
- [18] Huỳnh Thế Hiền, Nguyễn Hoàng Dũng và Huỳnh Minh Vũ, Bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm, Tạp chí khoa học Đại học Cần Thơ, tập 54, số 7, tr.: 9-19, 2018.
- [19] Nguyễn Văn Đông Hải và Ngô Văn Thuyên, Xây dựng bộ điều khiển PID-neuron cho hệ con lắc ngược quay, Tạp chí Giáo dục Kỹ thuật, ĐH SPKT TP. Hồ Chí Minh, số 23, tr. 37-45, 2012.
- [20] Nguyễn Chí Ngôn và Trần Thanh Tú, Điều khiển PID thích nghi cho hệ ổn định áp suất dựa trên bộ nhận dạng dùng mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm, Tạp chí Khoa học và Công Nghệ, ĐH Đà Nẵng, số 11(60), Quyển 1, tr. 6-12, 2012.
- [21] G.U.N.T. Gerätebau GmbH. Experiment Instructions - RT010-RT060 Principles of Control Engineering. Barsbüttel Germany, Publication-no.: 918.000 00 A 0X0 02 (A), 2004.
- [22] Labjack, U12 Datasheet, 2020.
- [23] Jinkun Liu, Radial Basis Function (RBF) Neural Network Control for Mechanical Systems – Design, Analysis and Matlab Simulation, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 365 pages, 2013.

**Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:**

Nguyễn Chí Ngôn

Trường Đại học Cần Thơ

Email: ncngon@ctu.edu.vn