

DOI:10.22144/ctu.jvn.2018.118

## BỘ ĐIỀU KHIỂN PID DỰA TRÊN MẠNG NƠ-RON HÀM CƠ SỞ XUYÊN TÂM

Huỳnh Thế Hiên<sup>1</sup>, Huỳnh Minh Vũ<sup>1</sup> và Nguyễn Hoàng Dũng<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Học viên cao học lớp Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa, Khóa 24, Trường Đại học Cần Thơ

<sup>2</sup>Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

\*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Hoàng Dũng (email: hoangdung@ctu.edu.vn)

### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 09/02/2018

Ngày nhận bài sửa: 11/04/2018

Ngày duyệt đăng: 29/10/2018

### Title:

Radial basic function based PID controller

### Từ khóa:

Bộ điều khiển PID

(Proportional Integral

Derivative), mạng nơ-ron RBF

(Radial Basic Function),

phương pháp Ziegler-Nichols

### Keywords:

PID controller, radial basis

function (RBF) neural network,

Ziegler-Nichols tuning method

### ABSTRACT

This paper is to proposed an algorithm for estimating parameters (i.e.,  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ) of a PID (proportional integral derivative) controller using RBF (radial basis function) neural network. The proposed algorithm is then applied to control direct current motor and a degree-of-freedom robot arm. MATLAB based simulation results show that the RBF based PID gives better performance than the conventional PID for both cases: the fixed and changed parameters of the DC motor and 1 DOF robot arm. It is noteworthy that the proposed approach gives the step response with insignificant overshoot, fast settling time (2 s), and the rise time (0.8 s) is shorter than the conventional PID.

### TÓM TẮT

Bài báo đề xuất một giải thuật cập nhật các tham số  $K_p$ ,  $K_i$  và  $K_d$  của bộ điều khiển vi tích phân tỷ lệ PID (Proportional Integral Derivative) sử dụng mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm RBF (Radial Basis Function). Giải thuật đề nghị được áp dụng để điều khiển động cơ điện một chiều và cánh tay máy một bậc tự do. Kết quả mô phỏng từ phần mềm MATLAB đã minh chứng rằng, bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron RBF cho chất lượng tốt hơn so với bộ điều khiển PID truyền thống kể cả hai trường hợp thông số của động cơ cố định và thay đổi. Đặc biệt, giải thuật đề nghị cho đáp ứng nấc với độ vọt lố không đáng kể, thời gian xác lập nhanh (2 s) và thời gian tăng (0,8 s) ngắn hơn so với bộ điều khiển PID truyền thống.

Trích dẫn: Huỳnh Thế Hiên, Huỳnh Minh Vũ và Nguyễn Hoàng Dũng, 2018. Bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 54(7A): 9-19.

## 1 GIỚI THIỆU

Giải thuật tinh chỉnh các tham số  $K_p$ ,  $K_i$  và  $K_d$  của bộ điều khiển PID (Proportional Integral Derivative) dựa trên mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm RBF (Radial Basic Function) được đề xuất trong nghiên cứu này. Đối tượng động cơ một chiều và hệ tay máy một bậc tự do được dùng để kiểm chứng giải thuật được đề nghị. Bên cạnh đó, trong nghiên cứu hiện tại, bộ điều khiển PID truyền thống và bộ điều PID dựa trên mạng RBF được so

sánh dựa trên kết quả điều khiển cùng một điều kiện của cùng một đối tượng. Kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm đạt được khả năng thích nghi tốt với cả hai trường hợp thông số của động cơ cố định và thay đổi.

Bộ điều khiển PID truyền thống đã và đang được sử dụng rộng rãi trong quá trình công nghiệp vì cấu trúc đơn giản, độ tin cậy cao và dễ thực hiện. Tuy nhiên, bộ điều khiển này có một số hạn chế như khi đối tượng điều khiển là phi tuyến hoặc

thông số của đối tượng thay đổi theo thời gian, đối tượng khó xác định chính xác mô hình toán, thì các tham số không thể điều chỉnh tự động để thích ứng với điều kiện đã thay đổi (Zhu *et al.*, 1999). Do đó, với bộ điều khiển PID truyền thống khó có thể đạt được chất lượng điều khiển như mong muốn. Gần đây, một số thuật toán điều khiển thông minh đã được đề nghị để cải tiến bộ điều khiển PID truyền thống. Cụ thể là thuật toán điều khiển feedforward-feedback được kiểm chứng là phù hợp để điều khiển hệ phi tuyến (Nguyễn Hoàng Dũng, 2011). Trong đó, bộ điều khiển feedback được thiết kế dựa trên PID và bộ điều khiển forward được thiết kế dựa trên mạng nơ-ron lan truyền ngược. Hơn nữa, sự kết hợp giữa bộ điều khiển trượt và bộ điều khiển PID có thể điều khiển tốt đối tượng phi tuyến (Nguyễn Hoàng Dũng, 2012). Trong đó, hàm trượt của bộ điều khiển trượt được xây dựng dựa trên bộ điều khiển PID sao cho thỏa mãn tiêu chuẩn Hurwitz. Ngoài ra, để tìm ra các tham số tối ưu của bộ điều khiển PID, thuật toán di truyền kết hợp với giải thuật Nelder-Mead đã được đề nghị sử dụng (Lasheen *et al.*, 2010). Tự chỉnh PID dựa trên kỹ thuật phản hồi chuyển tiếp đã được trình bày bởi Hovakimyan *et al.* (2002). Một hệ thống điều khiển PID dựa trên mô hình mờ thích nghi cũng được báo cáo bởi Nounou and Rehman (2007).

Mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm có một số ưu điểm nổi bật như khả năng dự đoán tốt hơn, cấu trúc mạng đơn giản và các thuật toán học nhanh hơn (Lee *et al.*, 1999). Nó đã được sử dụng thành công trong điều khiển robot, điều khiển mờ, điều khiển PID phi tuyến và các lĩnh vực khác (Hou *et al.*, 2007). Mạng nơ-ron RBF được kết hợp với bộ điều khiển trượt có thể điều khiển tốt đối tượng hệ tay máy ba bậc tự do (Nguyễn Hoàng Dũng, 2010). Trong đó, mạng nơ-ron RBF được dùng để ước lượng hàm phi tuyến của luật điều khiển trượt. Ngoài ra, mạng nơ-ron RBF có thể kết hợp với bộ điều khiển trượt và mô hình mờ để điều khiển tốt đối tượng phi tuyến (Nguyễn Hoàng Dũng và Dương Hoài Nghĩa, 2010). Luật suy diễn mờ được sử dụng để ước lượng biên độ của luật điều khiển trượt trong khi mạng nơ-ron ước lượng hàm phi tuyến trong luật điều khiển trượt. Dựa trên những ưu điểm của mạng nơ-ron RBF, bài báo này đề xuất một giải pháp ước lượng bộ tham số của bộ điều khiển PID truyền thống sử dụng mạng nơ-ron RBF. Giải thuật đề nghị được kiểm chứng thông qua điều khiển tốc độ động cơ một chiều và điều khiển cánh tay robot 1 bậc tự do. Để kiểm chứng sự thích nghi của bộ điều khiển (chất lượng của bộ điều khiển và khả năng tự điều chỉnh các tham số của giải thuật), các thông số của động cơ được giả sử trong hai trường hợp là cố định và thay đổi. Đây là vấn đề mà bộ điều khiển PID truyền thống

không thể giải quyết được. Với bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron RBF, bộ tham số  $K_p$ ,  $K_i$  và  $K_d$  không chỉ được ước lượng từ ngõ ra đối tượng mà còn là bộ tham số tối ưu thông qua khả năng tự học của mạng nơ-ron. Qua đó, chất lượng của bộ điều khiển đề nghị sẽ tốt hơn (Yang *et al.*, 2006).

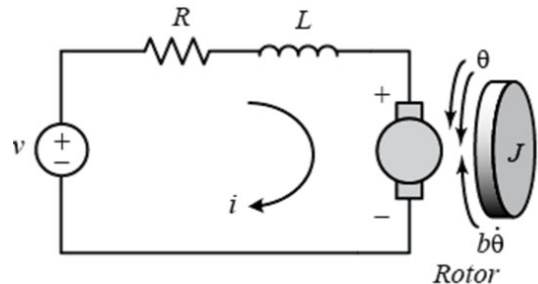
## 2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Đối tượng điều khiển

Hình 1 trình bày đối tượng điều khiển là động cơ điện một chiều. Phương trình (1) trình bày mô hình toán của đối tượng được mô tả dưới dạng hàm truyền. Mô hình này thể hiện mối quan hệ giữa ngõ vào điện áp và ngõ ra tốc độ của động cơ điện (Nguyễn Hoàng Dũng, 2011).

$$\frac{\Phi(s)}{V(s)} = \frac{K}{(Js + b)(Ls + R) + K^2} \quad (1)$$

Trong đó,  $J$  là moment quán tính của rotor;  $b$  là hệ số ma sát;  $K$  là hằng số sức điện động;  $R$  là điện trở dây quấn;  $L$  là điện cảm cuộn dây; ngõ vào  $V$  của đối tượng là điện áp đặt lên hai đầu cuộn dây (đơn vị V); Ngõ ra  $\Phi$  của đối tượng là tốc độ rotor (đơn vị rad/s).



Hình 1: Mô hình động cơ điện một chiều

### 2.2 Bộ điều khiển PID được thiết kế bằng phương pháp Ziegler-Nichols

#### 2.2.1 Bộ điều khiển PID

Hàm truyền của bộ điều khiển PID lý tưởng được xác định bởi Johnson and Moradi (2005).

$$G_{PID}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2)$$

Trong đó,  $K_p$  là hệ số tỉ lệ;  $T_i$  và  $T_d$  là các thời hằng tích phân và vi phân tương ứng. Các hệ số tích phân  $K_i$  và vi phân  $K_d$  của bộ điều khiển được xác định bởi (2).

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (3)$$

$$K_d = K_p T_d \quad (4)$$

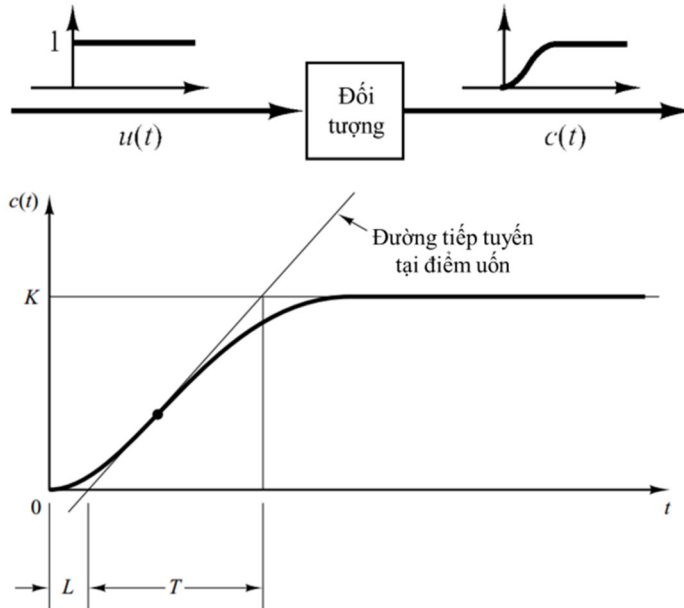
Từ (2)~(5), (1) có thể được viết lại như sau:

$$G_{PID}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (5)$$

Nhiệm vụ quan trọng nhất trong thiết kế bộ điều khiển PID là lựa chọn bộ ba giá trị  $\{K_p, K_i, K_d\}$  trong (5) sao cho thỏa mãn các yêu cầu về chất lượng điều khiển.

### 2.2.2 Phương pháp Ziegler-Nichols

Ziegler and Nichols (1942) đã đề xuất hai phương pháp thực nghiệm để thiết kế bộ điều khiển PID. Trong nghiên cứu này, phương pháp thiết kế dựa trên đáp ứng nấc vòng hở của đối tượng được sử dụng (Hình 2). Phương pháp này được áp dụng khi đáp ứng của đối tượng có đường cong hình chữ S với ngõ vào là một hàm nấc đơn vị.



**Hình 2: Đáp ứng hàm nấc của đối tượng có hình chữ S**

**Bảng 1: Luật điều chỉnh tham số PID theo phương pháp Ziegler-Nichols (Ogata, 2010)**

Loại điều khiển	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Hàm truyền vòng kín  $C(s)/U(s)$  có thể tính xấp xỉ theo công thức sau:

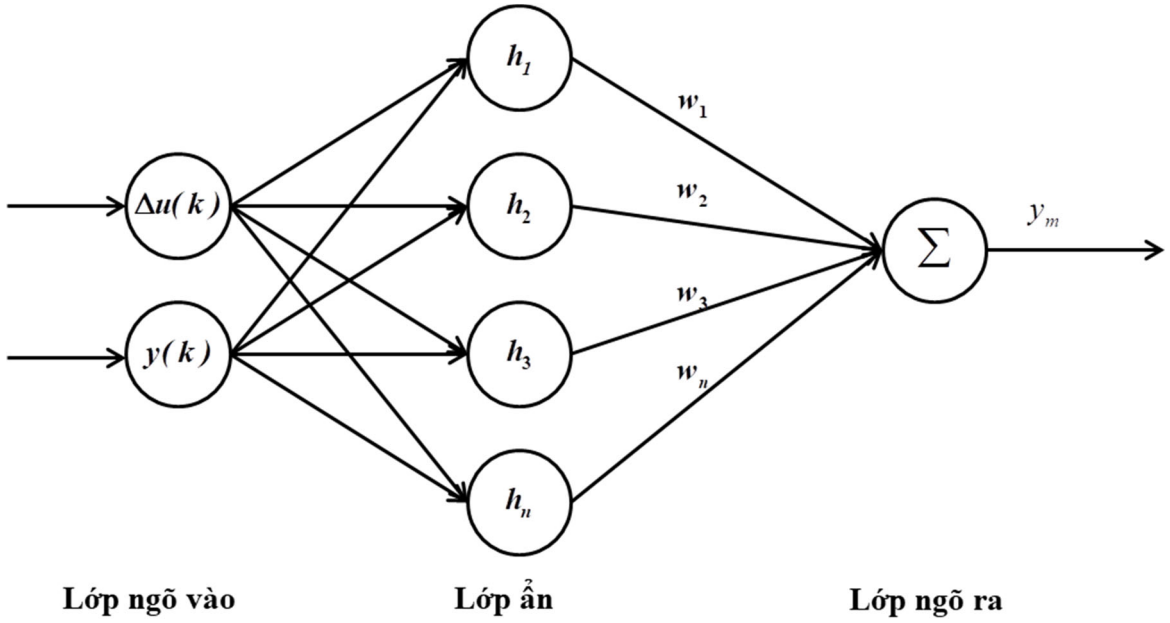
$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-1s}}{Ts + 1} \quad (6)$$

Việc ước lượng các thông số  $K_p, K_i$  và  $K_d$  được thực hiện dựa trên phương pháp Ziegler and Nichols được trình bày ở Bảng 1 (Ogata, 2010).

$$\begin{aligned} G_c(s) &= K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \\ &= 1.2 \frac{T}{L} \left( 1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right) \\ &= 0.6T \frac{\left( s + \frac{1}{L} \right)^2}{s} \end{aligned} \quad (7)$$

### 2.3 Mạng Nơ-ron xuyên tâm RBF

Mạng mạng nơ-ron RBF được trình bày bởi Moody and Darken (1992). Đây là mạng nơ-ron truyền thẳng ba lớp với một lớp ẩn. Ánh xạ từ ngõ vào đến ngõ ra là hàm phi tuyến, nhưng từ lớp ẩn đến lớp ngõ ra là tuyến tính. Cấu trúc mạng của một mạng nơ-ron truyền thẳng được trình bày ở Hình 3.



Hình 3: Cấu trúc của mạng nơ-ron RBF

Trong cấu trúc mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm, vectơ ngõ vào là  $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$  và giả sử vectơ RBF là  $H = [h_1, h_2, \dots, h_m]^T$ , với  $h_j$  là hàm Gaussian và được xác định theo mối quan hệ toán học được trình bày như sau:

$$h_j = \exp\left[-\frac{\|x - C_j\|^2}{2b_j^2}\right], j = 1, 2, \dots, m. \quad (8)$$

Tâm của các hàm cơ sở tại nút  $j$  là  $C_j = [c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{ji}, \dots, c_{jn}]^T, i = 1, 2, \dots, n$ . Giả sử độ lệch của hàm các hàm cơ sở là  $B = [b_1, b_2, \dots, b_j]^T$ . Trong đó,  $b_j$  là độ lệch của hàm cơ sở của nút  $j$  và  $b_j > 0$ . Vectơ trọng số của mạng là  $W = [w_1, w_2, \dots, w_m]^T$ . Tổng trọng số của mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm được tính như (9).

$$y_m(k) = W^T h = w_1 h_1 + w_2 h_2 + \dots + w_m h_m \quad (9)$$

Việc cập nhật các trọng số của mạng dựa trên bình phương sai số tối thiểu được trình bày ở biểu thức (10).

$$E(k) = \frac{1}{2} (y(k) - y_m(k))^2 \quad (10)$$

Trong đó,  $y(k)$  là ngõ ra của hệ thống tại thời điểm thứ  $k$ .

Thông qua thuật toán Gradient Descent, độ biến thiên trọng số ngõ ra  $\Delta w_j(k)$  giữa điểm nút cơ sở và điểm nút trung tâm,  $\Delta c_{ji}$  được tính như sau:

$$\Delta w_j(k) = \eta (y(k) - y_m(k)) h_j \quad (11)$$

$$w_j(k) = w_j(k-1) - \Delta w_j(k) + \alpha (w_j(k-1) - w_j(k-2)) \quad (12)$$

$$\Delta b_j(k) = \eta (y(k) - y_m(k)) w_j h_j \frac{\|X - C_j\|^2}{b_j^3} \quad (13)$$

$$b_j(k) = b_j(k-1) + \Delta b_j + \alpha (b_j(k-1) - b_j(k-2)) \quad (14)$$

$$\Delta c_{ji}(k) = \eta (y(k) - y_m(k)) w_j \frac{x_j - c_{ji}}{b_j^2} \quad (15)$$

$$c_{ji}(k) = c_{ji}(k-1) + \Delta c_{ji} + \alpha (c_{ji}(k-1) - c_{ji}(k-2)) \quad (16)$$

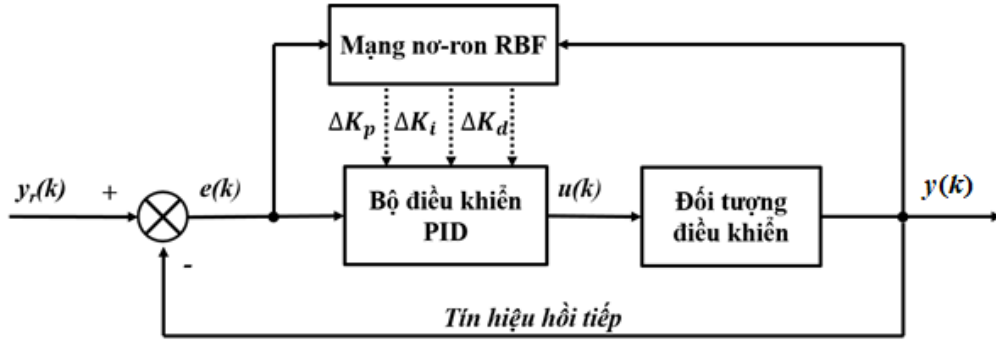
Trong đó,  $\alpha$  là tốc độ học;  $\eta$  là hệ số động lượng học. Jacobian được tính dựa trên (17) (Xiangsong *et al.*, 2016).

$$\frac{\partial y(k)}{\partial \Delta u(k)} \approx \frac{\partial y_m(k)}{\partial \Delta u(k)} = \sum_{j=1}^m w_j h_j \frac{c_j - x_1}{b_j^2} \quad (17)$$

Trong đó,  $x_1 = \Delta u(k)$ .

### 2.4 Giải thuật tối ưu bộ điều khiển PID bằng mạng nơ-ron RBF

Mô hình điều khiển động cơ một chiều sử dụng mạng nơ-ron RBF được trình bày ở Hình 4. Trong đó, các tham số điều chỉnh  $K_p, K_i, K_d$  được cập nhật dựa trên mạng nơ-ron RBF.



Hình 4: Mô hình tối ưu bộ điều khiển PID bằng mạng nơ-ron

Sai số ngõ vào của bộ điều khiển PID được định nghĩa như (18).

$$e(k) = y_r(k) - y(k) \quad (18)$$

Ba ngõ vào của bộ điều khiển được xác định theo công thức sau:

$$xc(1) = e(k) - e(k-1) \quad (19)$$

$$xc(2) = e(k) \quad (20)$$

$$xc(3) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \quad (21)$$

Độ biến thiên ở ngõ ra của bộ điều khiển PID được xác định như (22).

$$\Delta u(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (22)$$

Các tham số điều chỉnh mạng nơ-ron dựa trên bình phương sai số tối thiểu được trình bày như (23).

$$E(k) = \frac{1}{2} e(k)^2 \quad (23)$$

Các tham số của bộ điều khiển PID được điều chỉnh dựa trên phương pháp Gradient Descend với các công thức sau:

$$\begin{aligned} \Delta K_p &= -\eta \frac{\partial E}{\partial K_p} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \Delta u} \frac{\partial \Delta u}{\partial K_p} \\ &= \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial \Delta u} xc(1) \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \Delta K_i &= -\eta \frac{\partial E}{\partial K_i} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \Delta u} \frac{\partial \Delta u}{\partial K_i} \\ &= \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial \Delta u} xc(2) \end{aligned} \quad (25)$$

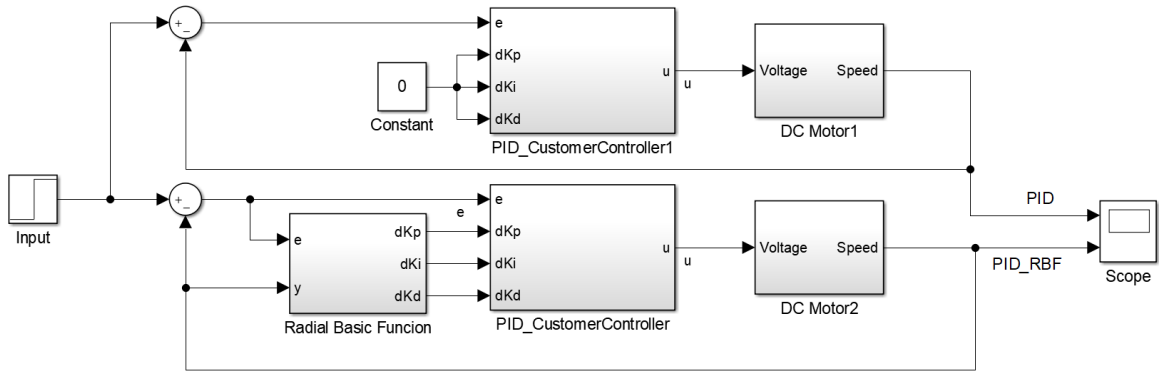
$$\begin{aligned} \Delta K_d &= -\eta \frac{\partial E}{\partial K_d} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \Delta u} \frac{\partial \Delta u}{\partial K_d} \\ &= \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial \Delta u} xc(3) \end{aligned} \quad (26)$$

Với,  $\frac{\partial y}{\partial \Delta u}$  là thông tin Jacobian của bộ điều khiển và được xác định bởi mạng nơ-ron RBF.

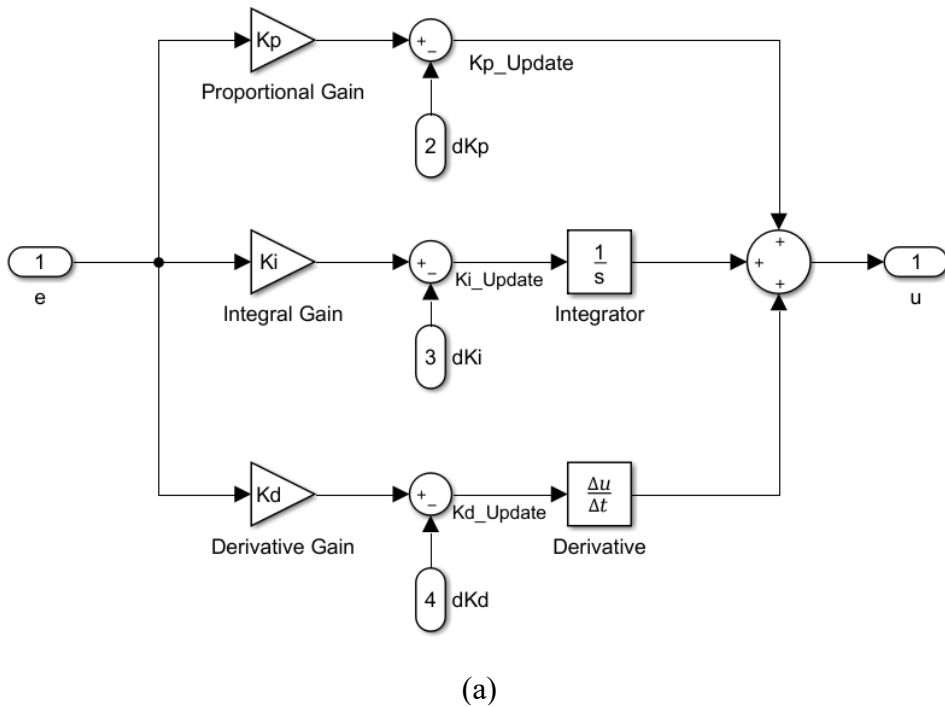
### 2.5 Mô hình mô phỏng

Sơ đồ mô phỏng sử dụng bộ điều khiển PID truyền thống và bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron RBF được trình bày ở Hình 5. Sơ đồ này được thiết kế dựa trên Simulink của MATLAB.

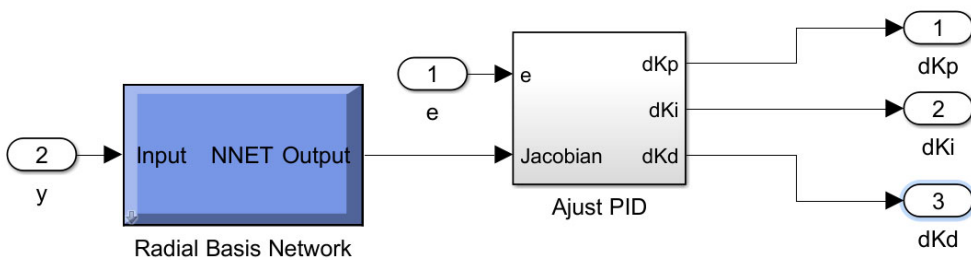
Trong đó, giải thuật mạng nơ-ron RBF được thiết kế bởi công cụ giải thuật mạng nơ-ron RBF tối ưu sẵn có của MATLAB. Trong quá trình mô phỏng, mô hình bộ điều khiển PID truyền thống với các tham số  $K_p, K_i$  và  $K_d$  chọn trước. Trong khi đó, bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron hàm cơ sở tuyến tâm được học bởi giải thuật Gradient Descend để cập nhật các tham số  $K_p, K_i, K_d$ . Hình 6 trình bày bộ điều khiển PID truyền thống và PID dựa trên mạng nơ-ron RBF.



Hình 5: Mô hình mô phỏng bộ điều khiển RBF-PID



(a)



(b)

Hình 6: Bộ điều khiển PID (a) truyền thống và (b) dựa trên mạng RBF

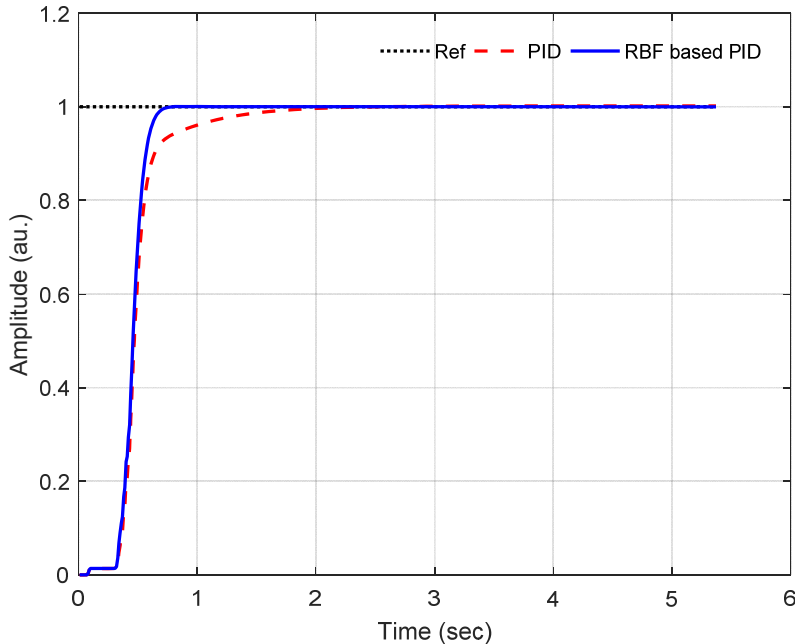
### 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Các tham số của động cơ được lựa chọn ban đầu cho mô phỏng như sau: quán tính  $J = 0,01$

$\text{kgm}^2/\text{s}^2$ ; hệ số ma sát  $b = 0,1 \text{ Nms}$ ; hằng số sức điện động  $K_e = 0,1 \text{ Nm/A}$ ; hằng số mô-men  $K_t = 0,01$ ; điện trở dây quấn  $R = 1\Omega$ ; điện cảm cuộn dây  $L = 0,5 \text{ H}$ . Đối với bộ điều khiển PID truyền thống,

tham số của bộ điều khiển được tính toán dựa vào phương pháp Zeiler-Nichols là  $K_p = 150$ ,  $K_i = 100$  và  $K_d = 10$ , kết quả ngõ ra đối với đáp ứng nấc là đường màu đỏ nét đứt được trình bày ở Hình 7. Đối với bộ điều khiển PID dựa vào mạng nơ-ron RBF, sau khi ba tham số  $K_p$ ,  $K_i$ , và  $K_d$  được tính bằng phương pháp Ziegler-Nichols như bộ điều khiển PID truyền thống, các giá trị ở ngõ ra điều khiển của bộ điều khiển PID truyền thống và đáp ứng ngõ ra của hệ thống được thu thập lại và đưa

vào huấn luyện bằng mạng nơ-ron RBF với tốc độ học được chọn trước là  $\eta = 0,25$ . Giá trị này được chọn bằng phương pháp thử sai để có được tốc độ học phù hợp. Có thể thấy rằng, đáp ứng của bộ điều khiển PID truyền thống chậm xác lập (1,35 s) trong khi đáp ứng của bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron RBF xác lập nhanh hơn (0,65 s). Các chỉ tiêu chất lượng này cũng được trình bày ở Bảng 2.



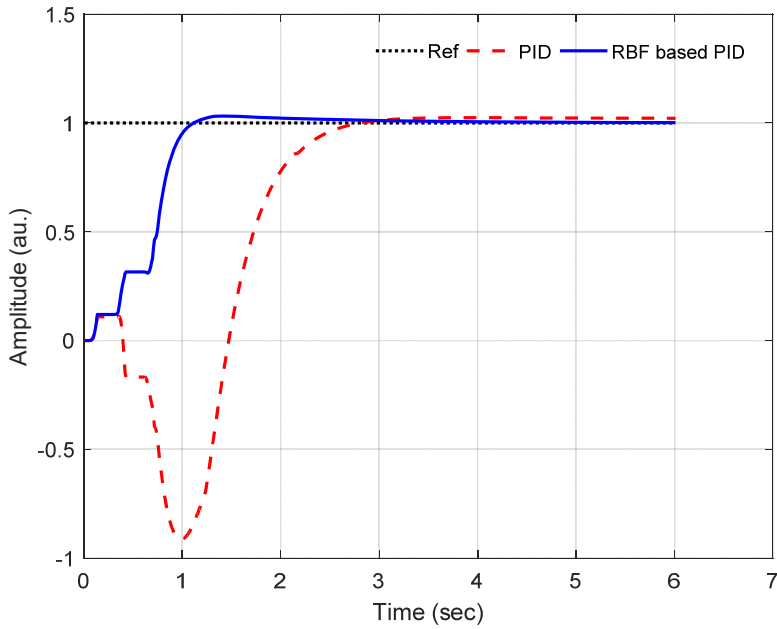
**Hình 7: Đáp ứng của động cơ sử dụng bộ điều khiển PID và PID dựa trên RBF**

Giả sử rằng, trong môi trường làm việc khắc nghiệt làm cho các thông số của động cơ thay đổi như hằng số mô-men  $K_t = 0,5 \text{ Nm/A}$ ; điện trở dây quấn  $R = 2 \Omega$ ; điện cảm cuộn dây  $L = 1 \text{ H}$ ; trong khi đó, các thông số còn lại của mô hình vẫn giữ nguyên thì các bộ điều khiển có thể điều khiển tốt được đối tượng không? Kết quả mô phỏng cho thấy đáp ứng ngõ ra của hai bộ điều khiển có sự khác nhau rất rõ rệt (Hình 8). Đường màu đỏ nét đứt là đáp ứng của bộ điều khiển PID truyền thống trong

khí đường màu xanh dương là đáp ứng của bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron RBF. Bộ điều khiển PID truyền thống có độ vọt lố dưới rất lớn (89%), thời gian xác lập (2,6 s) chậm hơn so với bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron RBF (2,0 s). Hơn nữa, thời gian tăng của bộ điều khiển PID truyền thống (2,2 s) chậm hơn so với bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron RBF (0,8 s). Độc giả có thể tham khảo thêm các chỉ tiêu chất lượng của đáp ứng được trình bày trong Bảng 2.

**Bảng 2: So sánh chỉ tiêu chất lượng của đáp ứng của hai bộ điều khiển PID truyền thống và PID dựa trên mạng RBF (PID-RBF)**

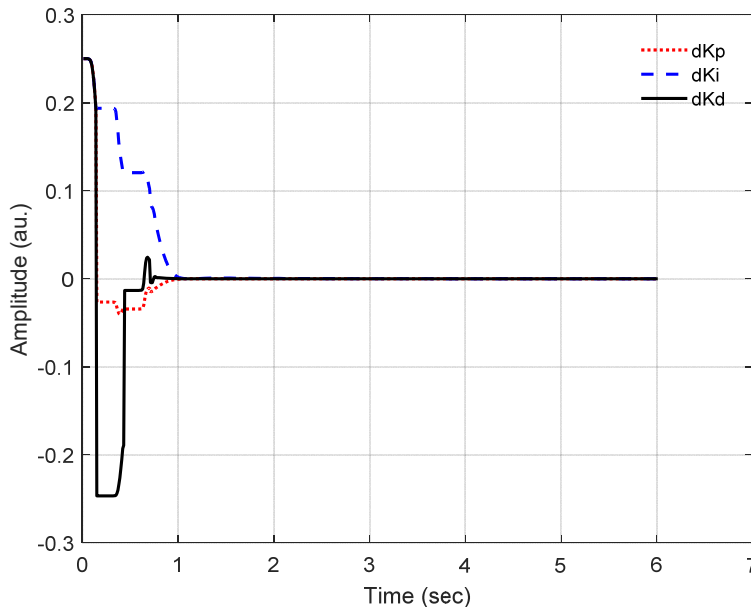
Chỉ tiêu	Thông số động cơ ban đầu		Thông số động cơ thay đổi	
	PID	RBF based PID	PID	RBF based PID
Độ vọt lố trên (%)	-	-	-	-
Độ vọt lố dưới (%)	-	-	89	0
Thời gian tăng (s)	0,27	0,21	2,2	0,8
Thời gian xác lập (s)	1,35	0,65	2,6	2,0



**Hình 8: Đáp ứng của hai bộ điều khiển khi các thông số động cơ thay đổi**

Bảng 2 so sánh các chỉ tiêu chất lượng của cả hai bộ điều khiển PID truyền thống và PID dựa trên mạng RBF. Có thể thấy rằng, bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron RBF có thể cải thiện được thời gian tăng, thời gian xác lập và độ vọt lố so với bộ điều khiển PID truyền thống. Trong

trường hợp một số thông số của động cơ bị thay đổi, bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron RBF vẫn đảm bảo ổn định chất lượng điều khiển cho hệ thống trong khi bộ PID truyền thống xuất hiện sự dao động lớn và thời gian xác lập chậm (Hình 8).



**Hình 9: Bộ tham số  $\Delta K_i$ ,  $\Delta K_p$  và  $\Delta K_d$  được ước lượng bằng mạng nơ-ron RBF sử dụng biểu thức (24)-(26)**

Bộ tham số  $\Delta K_p$ ,  $\Delta K_i$  và  $\Delta K_d$  của bộ điều khiển PID được ước lượng dựa trên mạng nơ-ron RBF được trình bày ở Hình 9. Có thể thấy rằng, bộ

tham số này thay đổi liên tục trong khoảng thời gian từ 0 đến 1,2 s để đảm bảo cho bộ điều khiển PID có thể điều khiển tốt được động cơ khi các thông số của nó thay đổi. Tại thời điểm xác lập, các



giá trị của bộ tham số ước lượng này không thay đổi.

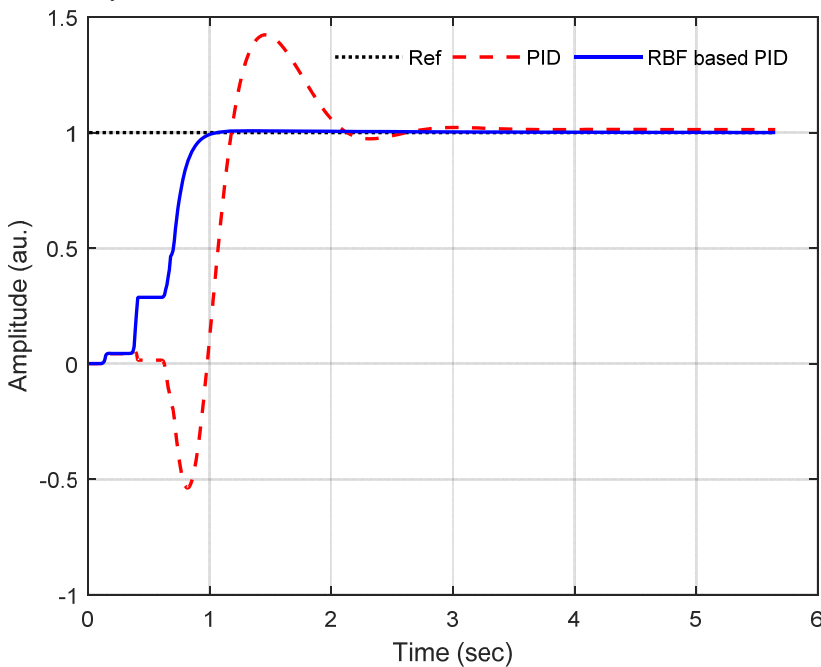
Để kiểm chứng thêm giải thuật được đề nghị có thể điều khiển tốt đối tượng phi tuyến kể cả trường hợp có và không có nhiễu, mô hình hệ tay máy một bậc tự do được sử dụng trong nghiên cứu này. Phương trình động lực học của hệ tay máy được sử dụng lại từ phương trình (1) trong bài báo của tác giả Nguyễn Hoàng Dũng (2011).

$$(J + ml^2)\ddot{\theta}(t) + B\dot{\theta}(t) + (ml + Ml_c)g \sin(\theta(t)) = u(t) \tag{27}$$

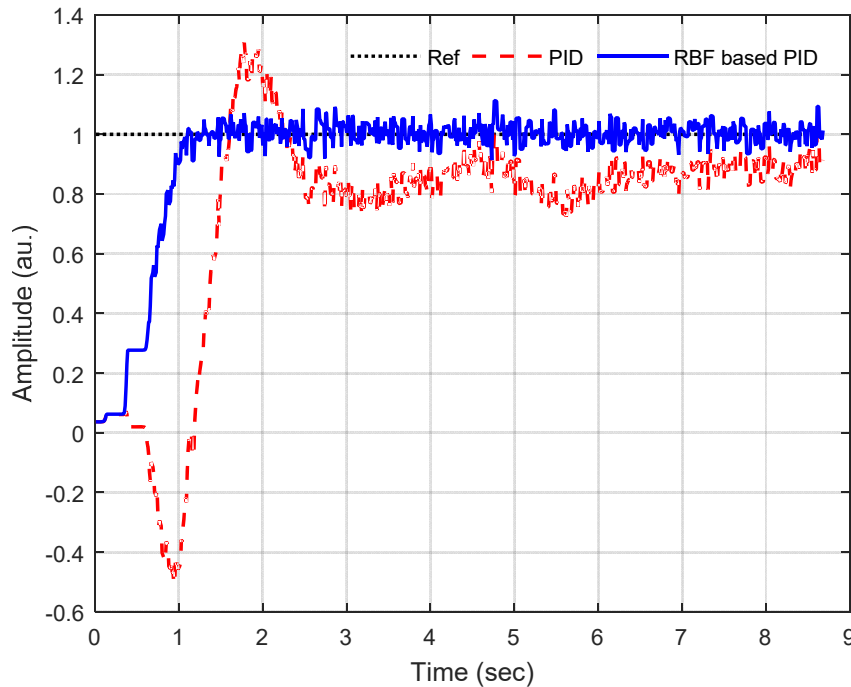
Trong đó,  $J = Ml_c$  là moment quán tính của cánh tay;  $m$  là khối lượng của vật nặng;  $l$  là chiều dài cánh tay;  $B$  là hệ số ma sát nhớt;  $l_c$  là khoảng cách từ trọng tâm của của cánh tay đến trục quay;  $M$  là khối lượng cánh tay;  $\theta(t)$  là vị trí cần điều khiển của cánh tay;  $g$  là gia tốc trọng trường và  $t$  là bước thời gian. Phương trình động lực học của hệ tay máy được phân tích dựa trên công thức Euler-Larange được trình bày chi tiết trong giáo trình Lý thuyết điều khiển tự động của nhóm tác giả Nguyễn Chí Ngôn và Nguyễn Hoàng Dũng (2012).

Phương pháp thiết kế hai bộ điều khiển PID truyền thống và PID dựa trên mạng nơ-ron RBF cho đối tượng hệ tay máy một bậc tự do cũng được thực hiện như đã trình bày ở Mục 2. Bộ điều khiển

PID thông qua phương pháp thực nghiệm Ziegler – Nichols với các bộ thông số tìm được là  $K_p = 45$ ,  $K_i = 25$  và  $K_d = 4$ , còn bộ điều khiển mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm dựa trên PID được thiết kế sử dụng giải thuật Gradient Descent để ước lượng tham số  $\Delta K_p$ ,  $\Delta K_i$  và  $\Delta K_d$ . Kết quả mô phỏng điều khiển cánh tay robot cho trường hợp không có nhiễu được trình bày ở Hình 10 và trường hợp có nhiễu can thiệp vào được trình bày ở Hình 11. Đường màu đỏ nét đứt là đáp ứng của hệ tay máy sử dụng bộ điều khiển PID truyền thống trong khi đó đường màu xanh dương đậm chỉ cùng đáp ứng nhưng sử dụng bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron RBF. Đối với trường hợp không có nhiễu can thiệp vào, cả hai bộ điều khiển đều có thể điều khiển tốt đối tượng hệ tay máy (Hình 10). Tuy nhiên, đáp ứng của hệ tay máy sử dụng bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron RBF có độ vọt lố không đáng kể (0,01%) và thời gian xác lập ngắn (1 s), trong khi với bộ điều khiển PID truyền thống, độ vọt lố lớn (40%) và thời gian xác lập lâu hơn (2,2 s). Đối với trường hợp có nhiễu can thiệp vào (Mean = 0 và variance = 0,001), đáp ứng của hệ tay máy sử dụng bộ điều khiển PID truyền thống dao động nhiều và sai số xác lập lớn, trong khi bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron RBF vẫn đảm bảo cả về độ vọt lố, sai số xác lập và thời gian quá độ mong muốn (Hình 11).



**Hình 10: Đáp ứng của hệ tay máy một bậc tự do được điều khiển bằng PID truyền thống và PID dựa trên mạng nơ-ron RBF**



**Hình 11: Đáp ứng của hệ tay máy một bậc tự do được điều khiển bằng PID truyền thống và PID dựa trên mạng nơ-ron RBF trong trường hợp có nhiễu (Mean = 0, Variance = 0.001)**

**4 KẾT LUẬN**

Bài báo trình bày một phương pháp hiệu chỉnh các tham số của bộ điều khiển PID sử dụng mạng nơ-ron RBF. Các tham số của bộ điều khiển được cập nhật sao cho thỏa mãn các chỉ tiêu chất lượng điều khiển khi mô hình có thay đổi thông số. Ưu điểm của phương pháp này là có thiết kế đơn giản, thời gian huấn luyện mạng nơ-ron nhanh và dễ dàng đáp ứng được các chỉ tiêu chất lượng điều khiển. Kết quả mô phỏng bằng MATLAB đã chứng minh rằng, bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron RBF cho kết quả tốt hơn so với bộ điều khiển PID truyền thống trong cả hai trường hợp thông số mô hình cố định và thông số mô hình thay đổi về các mặt như độ vọt lố, thời gian xác lập và thời gian tăng. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, các tham số của bộ điều khiển PID được cập nhật bởi mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm theo phương pháp offline. Theo đó, giải thuật cần một khoảng thời gian chạy mô hình để lấy dữ liệu phục vụ huấn luyện cho mạng. Trong nghiên cứu tiếp theo, phương pháp huấn luyện online được sử dụng để cập nhật các tham số của bộ điều khiển PID. Trong phương pháp này, mạng nơ-ron xuyên tâm được xây dựng có thể lấy mẫu dữ liệu liên tục từ mô hình để tính toán và ước lượng các tham số cho bộ điều khiển PID. Điều này sẽ giúp cải thiện chất lượng ngõ ra và sự thích nghi của bộ điều khiển khi thông số của mô hình thay đổi.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

Ziegler, J.G. and Nichols N.B., 1942. Optimum settings for automatic controllers. *Trans. ASME*. 64(11): 759-768.

Nguyễn Hoàng Dũng, 2010. Điều khiển trượt thích nghi hệ phi tuyến dùng mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm. *Tạp chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 15a: 263-272.

Nguyễn Hoàng Dũng, 2011. Điều khiển hệ phi tuyến dựa trên giải thuật Feedforward-Feedback. *Tạp chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 19a:17-26.

Nguyễn Hoàng Dũng, 2012. Điều khiển trượt dựa trên hàm trượt kiểu PID. *Tạp chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 21a: 30-36.

Zhu, Q., Ma, Z., and Warwick, K., 1999. Neural network enhanced generalised minimum variance self-tuning controller for nonlinear discrete-time systems. *IEE Proc. Control Theory Appl.* 146(4): 319-326.

Hou, Y., Du, J., and Wang, M., 2007. *Neural network*. XiDian University Press.

Nounou, H.N. and Rehman, H., 2007. Application of adaptive fuzzy PID Control to machines. *Applied Soft Computing*. 7(3): 899-907.

Ogata, K., 2010. PID controllers and modified PID controllers. *In: Ogata, K. (Ed.) Modern Control Engineering*. (5<sup>th</sup> ed.) Pearson Education, Inc., New Jersey, pp. 567-641.

Johnson, M.A. and Moradi, M.H., 2005. Process Reaction Curve and Relay Methods Identification and PID Tuning. *In: Johnson, M.*

- A. and Moradi, M. H. (Eds.). PID Control - New Identification and Design Methods. Springer, London, pp. 297-337.
- Hovakimyan, N., Nardi, F., Calise, A., *et al.*, 2002. Adaptive output feedback control of uncertain nonlinear systems using single-hidden-layer neural networks. *IEEE Trans. Neural Networks*. 13(6): 1420–1431.
- Yang, L., Ren, X., and Huang, H., 2006. Application of self tuning PID controller based on RBF network. *Computer Simulation*. 23(1): 270–273.
- Moody, J. and Darken, C., 1992. Learning rate schedules for faster stochastic gradient search, *Neural Networks for Signal Processing at IEEE*.
- Xiangsong, K., Xurui, C., and Jiansheng, G., 2016. PID Controller Design Based on Radial Basis Function Neural Networks for the Steam Generator Level Control. *Cybernetics and Information Technologies*. 16(5): 15-26.
- Lasheen, A.A., El-Garhy, A.M., Saad, E.M., and Eid, S.M., 2010. Tuning pid controllers using hybrid genetic and nelder-mead algorithm. *Journal of Engineering Sciences*. 38(4): 979-987.
- Nguyễn Hoàng Dũng và Dương Hoài Nghĩa, 2010. Điều khiển trượt thích nghi dùng mô hình nơron mờ. *Tạp chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 15a: 273-282.
- Johnson, M.A and Moradi, M.H., 2005. PID control: New Identification and Design Methods. Springer, London, 543 pages.
- Lee, C. C, Chung, P. C., Tsai, J. R., and Chang, C. I., 1999. Robust radial basis function neural networks. *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics: Part B Cybernetics*. 29(6): 674–685.
- Nguyễn Chí Ngôn và Nguyễn Hoàng Dũng, 2012. *Giáo trình Lý thuyết điều khiển tự động*. NXB Đại học Cần Thơ.