

DOI:10.22144/ctu.jvn.2017.138

THIẾT KẾ BỘ NHẬN DẠNG VÀ ĐIỀU KHIỂN THÔNG MINH LÒ NHIỆT

Nguyễn Trường Sanh và Nguyễn Chí Ngôn

Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 10/06/2017

Ngày nhận bài sửa: 08/08/2017

Ngày duyệt đăng: 29/11/2017

Title:

Design identifier and intelligent controller of the temperature oven system

Từ khóa:

Bồn khuấy, điều khiển nhiệt độ, điều khiển PID, điều khiển RBF, huấn luyện trực tuyến

Keywords:

Stirring tank, temperature control, PID control, RBF control, online training

ABSTRACT

This paper studies about the structure of RBF neural network, applied to identify and control objects. Selected object is a stirring tank system model, being a non-linearity model in some point of time. The stirring tank system required to reach to the desired temperature in a certain range of time, and to avoid overshooting and steady-state error. To achieve this requirement, an intelligent controller with one neuron PID controlled algorithm has been applied; an object identifier using RBF neural networks, with online training algorithms has also been developed. MATLAB simulation results show that the control system works stably and sustainably under the impact of interference.

TÓM TẮT

Bài báo nhằm nghiên cứu cấu trúc của mạng nơ-ron RBF, áp dụng để nhận dạng và điều khiển đối tượng. Đối tượng được chọn là mô hình hệ bồn khuấy, có tính phi tuyến ở một số thời điểm. Hệ thống bồn khuấy yêu cầu phải đạt nhiệt độ mong muốn trong một thời khoảng nhất định, tránh vọt lố và sai số xác lập. Để đáp ứng yêu cầu này, một bộ điều khiển thông minh với thuật toán điều khiển PID một nơ-ron đã được áp dụng; một bộ nhận dạng đối tượng dùng mạng nơ-ron RBF, với giải thuật huấn luyện trực tuyến cũng được xây dựng. Kết quả mô phỏng trên MATLAB® cho thấy hệ điều khiển hoạt động ổn định và bền vững dưới tác động của nhiễu.

Trích dẫn: Nguyễn Trường Sanh và Nguyễn Chí Ngôn, 2017. Thiết kế bộ nhận dạng và điều khiển thông minh lò nhiệt. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 53a: 29-37.

1 GIỚI THIỆU

Bộ điều khiển PID (Proportional-Integral-Derivative controller) được ứng dụng rất phổ biến trong điều khiển các quá trình công nghiệp, do khả năng điều khiển hiệu quả, cấu trúc đơn giản và phạm vi ứng dụng rộng (Åström *et al.*, 1993; Salami and Cain, 1995). Nhưng bộ điều khiển PID thông thường với các thông số cố định khó có thể thích ứng với thời gian khác nhau với các đặc tính trong phạm vi rộng. Trong lý thuyết điều khiển, có rất nhiều phương pháp để hiệu chỉnh thông số của bộ điều khiển PID, phổ biến nhất là phương pháp Ziegler-Nichols (Astrom, 1995). Tuy nhiên, đối với

một số hệ thống, việc hiệu chỉnh bộ điều khiển PID bằng phương pháp này đòi hỏi một quá trình thực nghiệm khá mất thời gian (Jones and Oliveira, 1995). Việc thiết lập các hệ số của bộ điều khiển PID cố định, trong nhiều trường hợp nó tỏ ra kém hiệu quả khi đặc tính động của đối tượng thay đổi (Jantzen, 1998). Vấn đề đặt ra là làm thế nào để có thể thay đổi tham số của bộ điều khiển thích nghi với sự thay đổi của đối tượng hoặc với sự tác động của các điều kiện bên ngoài một cách đơn giản và hiệu quả. Ngoài ra, một vấn đề cần quan tâm nữa là việc chỉnh định bộ điều khiển PID trong trường hợp này chỉ cần dựa trên sự biến đổi đáp ứng của hệ thống

mà không cần biết trước phương trình toán của đối tượng, vốn khó đạt được một cách chính xác trong thực tế (Schleicher and Blasinger, 2003).

Trong quá trình phát triển các kỹ thuật điều khiển thông minh, mạng nơ-ron được quan tâm nhiều. Khả năng tự học của mạng nơ-ron có một lợi thế mạnh so với nhiều phương pháp điều khiển cổ điển, hiện đại. Mạng nơ-ron nhân tạo bắt đầu để tạo ra một chân trời mới trong lĩnh vực kiểm soát hệ thống nhằm tìm hiểu và giải quyết vấn đề điều khiển phi tuyến, nơi mà phương pháp điều khiển truyền thống đã thất bại.

Mạng truyền thẳng nhiều tầng (multilayer perceptron-MLP) dùng để nội suy và xấp xỉ hàm nhiều biến. Mạng này đang sử dụng rộng rãi để xấp xỉ hàm số, nhưng nó không đảm bảo được bài toán nội suy và khó chọn số nơ-ron ẩn phù hợp. Nhược điểm cơ bản của mạng MLP là thời gian huấn luyện lâu và thường chỉ tìm được gần đúng cực trị địa phương. Mạng RBF (radial basis functions) là một lựa chọn để khắc phục nhược điểm này. Ưu điểm của mạng RBF (Lee *et al.*, 1999) là thời gian huấn luyện nhanh và luôn đảm bảo tới hội tụ đến cực trị và toàn cục của sai số trung bình phương. Với các hàm cơ sở bán kính có tâm là các môc nội suy thì có thể cho lời giải của bài toán nội suy. Vì vậy, cùng với mạng MLP, mạng RBF tỏ ra là một phương pháp hiệu quả và được ứng dụng rộng rãi để nội suy và xấp xỉ hàm nhiều biến.

2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Giới thiệu đối tượng

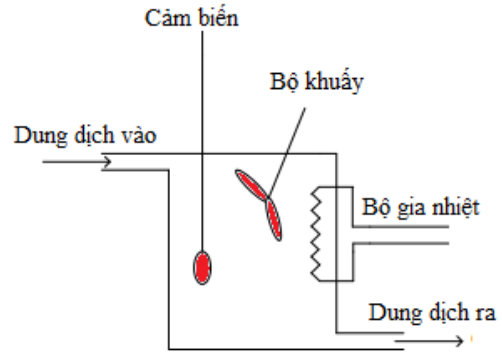
Trong mọi lĩnh vực sản xuất luôn luôn lúc nào cũng tồn tại các hệ thống nhiệt phục vụ cho sản xuất gọi chung là Lò Nhiệt. Đối với nghiên cứu này thì đối tượng Lò là hệ thống bồn khuấy với môi trường gia nhiệt là loại dung dịch hóa chất trong sản xuất các dung dịch nồng độ cao trong công nghiệp, cũng như trong chế biến thực phẩm nó đòi hỏi quá trình gia nhiệt rất khắc khe nhằm mục đích bảo quản các sản phẩm đạt chất lượng, đáp ứng nhiệt nhanh, an toàn, tiết kiệm năng lượng.

2.2 Mô tả hệ thống

Hệ thống nhiệt theo nghiên cứu của Omatu *et al.* (2012) được mô tả ở Hình 1.

Hệ thống có đặc tính động có tính phi tuyến gồm các thành phần sau: bồn chứa dung dịch chất lỏng, cảm biến nhiệt độ, bộ cấp nhiệt, bộ khuấy. Với đầu vào bồn là dung dịch lạnh và đầu ra là dung dịch nóng tùy theo giá trị đặt tại thời điểm xác định, dòng chảy của đầu vào và đầu ra đều như

nhau, khối lượng dung dịch trong bồn là không đổi. Thể tích bồn 8 dm³ (Kích thước là 250x290x100 (mm³)).



Hình 1: Mô tả hệ thống

Công suất gia nhiệt 600 w (sử dụng thyristor SJ6G12S-12 làm phần tử điều tiết công suất). Sử dụng một motor khuấy tốc độ xoay 120 rpm (vòng/phút).

2.3 Phương trình toán

Phương trình cho hệ thống động của việc kiểm soát nhiệt độ dung dịch được chọn theo (Verma *et al.*, 2012) như sau:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F}{V}(T_i - T) + \frac{Q}{\rho V C_p} \tag{1}$$

trong đó, T : nhiệt độ bể; F : tốc độ dòng chảy, T_i : nhiệt độ đầu vào, V : thể tích bể, Q : đầu vào nhiệt, C_p : trọng lực riêng, ρ : mật độ dung dịch.

Từ phương trình trên đưa về miền thời gian liên tục:

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{F(t)}{C} + \frac{y_0}{RC} - \frac{y(t)}{RC} \tag{2}$$

trong đó, t : biểu thị thời gian, $y(t)$: biểu thị nhiệt độ đầu ra, $F(t)$: biểu thị dòng nhiệt chảy vào bên trong hệ thống, y_0 : biểu thị nhiệt độ phòng (nhiệt độ ban đầu), C : biểu thị công suất nhiệt (nhiệt dung), R : biểu thị nhiệt điện trở giữa hệ thống vùng biên với môi trường xung quanh (nhiệt trở).

Giả sử rằng R và C về cơ bản không thay đổi. Ta viết lại hệ thống (3) chuyển sang miền rời rạc với một số xấp xỉ theo (Tavoosii *et al.*, 2011) như sau:

$$y(k+1) = \exp(-\alpha T)y(k) + \frac{\beta}{\alpha} \frac{(1 - \exp(-\alpha T))}{1 + \exp(0.5y(k) - 40)} u(k) + (1 - \exp(-\alpha T))y_0 \quad (3)$$

Tham số $\alpha = 1.00151 \times 10^{-3}$ và $\beta = 8.67973 \times 10^{-4}$, $y_0 = 25^\circ\text{C}$ được thu thập từ nghiên cứu (Verma *et al.*, 2012) bồn dung dịch thực tế.

Lấy biến đổi Laplace của phương trình (2), thu được:

$$sY(s) = \frac{F(s)}{C} + \frac{y_0(s)}{RC} - \frac{Y(s)}{RC} \quad (4)$$

Đặt: $a = \frac{1}{RC}, b = \frac{1}{C}$ (5)

$$U(s) = \frac{F(s)}{C} + \frac{ay_0(s)}{b} \quad (6)$$

Từ (4) viết lại:

$$Y(s)(s + \frac{1}{RC}) = \frac{F(s)}{C} + \frac{y_0(s)}{RC} \quad (7)$$

Từ (5) và (6) phương trình (7) trở thành:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b}{s+a} \quad (8)$$

Lấy biến đổi Z của phương trình (8) được:

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{bz}{(z-a)(z-1)} \quad (9)$$

Hệ số a, b là một số giá trị không đổi tùy thuộc vào nhiệt trở R và nhiệt dung C.

Các thông số còn lại có thể được thể hiện bằng cách biểu thị bởi một số hằng số giá trị α và β phụ thuộc vào R và C thể hiện như sau:

$$a = e^{-\alpha T}, b = \frac{\beta}{\alpha} (1 - e^{-\alpha T}) \quad (10)$$

Hàm truyền hệ thống:

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{0.26z}{(z - 0.9969)(z - 1)} \quad (11)$$

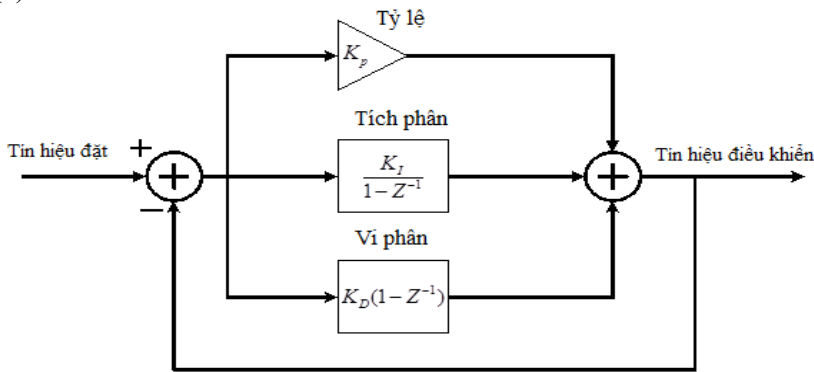
Thời gian lấy mẫu: $T \geq 30$ giây.

Phương trình (11) viết lại như sau:

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{0.26z}{(z^2 - 1.9969z + 0.9969)} \quad (12)$$

2.4 Bộ điều khiển PID

Bộ điều khiển PID được thiết kế như Hình 2.



Hình 2: Bộ điều khiển PID

Tích phân sai lệch $e(\tau)$ theo thời gian t_k :

$$\int_0^{t_k} e(\tau) d\tau = \sum_{i=1}^k e(t_i) \Delta t \quad (13)$$

Phương trình trên được viết xấp xỉ như sau:

$$\frac{de(t_k)}{dt} = \frac{e(t_k) - e(t_{k-1})}{\Delta t} \quad (14)$$

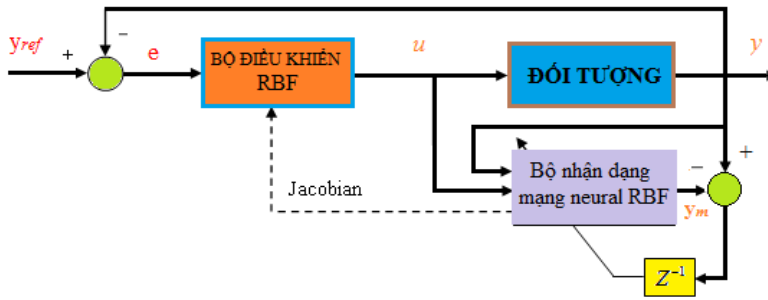
Thuật toán của bộ điều khiển PID:

$$u(t_k) = u(t_{k-1}) + K_p \left[\left(1 + \frac{\Delta t}{T_i} + \frac{T_d}{\Delta t}\right) e(t_k) + \left(-1 - \frac{2T_d}{\Delta t}\right) e(t_{k-1}) + \frac{T_d}{\Delta t} e(t_{k-2}) \right] \quad (15)$$

với: $T_i = \frac{K_p}{K_i}, T_d = \frac{K_d}{K_p}$ (16)

2.5 Thiết kế bộ điều khiển RBF

Bộ điều khiển RBF chính là bộ điều khiển PID thích nghi một nơ-ron mạng RBF, cho thấy ở Hình 3 là sơ đồ điều khiển vòng kín của hệ thống được thiết kế như sau:



Hình 3: Sơ đồ bộ điều khiển RBF

Đối tượng điều khiển là hệ thống có đặc tính động, có tính phi tuyến và không cần biết chính xác các tham số của nó. Bộ nhận dạng không tham số mô hình đối tượng dùng mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm được cập nhật online nhằm huấn luyện trực tuyến ước lượng thông tin độ nhạy của hệ thống. Tín hiệu sai lệch, tín hiệu Jacobian được cập nhật liên tục đưa vào thuật toán PID bên trong bộ điều khiển RBF. Mạng nơ-ron RBF có nhiệm vụ cập nhật các trọng số c, b, w nhằm đưa các trọng số tối ưu để có thông tin độ nhạy kịp thời theo thời gian t và các thông số điều khiển P, I, D sẽ được hiệu chỉnh thích nghi.

2.6 Thuật toán nhận dạng thông số độ nhạy

Gọi h_j là vector bán kính của mạng RBF thông qua hàm Gauss đa biến.

$$h_j = \exp\left(\frac{\|x - c_j\|^2}{2b_j^2}\right) \tag{17}$$

Vector trọng số của mạng :

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_m]^T \tag{18}$$

Ngõ ra mạng có thể viết:

$$y_m(k) = w_0 + w_1h_1 + w_2h_2 + \dots + w_mh_m$$

$$= w_0 + \sum_{j=1}^m w_jh_j \tag{19}$$

Chỉ số hiệu suất của bộ điều khiển:

$$J_1 = \frac{1}{2}(y(k) - y_m(k))^2 \tag{20}$$

Theo phương pháp gradient descent, thuật toán lặp đi lặp lại của trọng số:

$$w_j(k) = w_j(k-1) + \eta(y(k) - y_m(k))h_j + \alpha(w_j(k-1) - w_j(k-2)) \tag{21}$$

Thông số nút bán kính như sau:

$$\Delta b_j = (y(k) - y_m(k))w_jh_j \frac{\|x - c_j\|^2}{b_j^3} \tag{22}$$

$$b_j(k) = b_j(k-1) + \eta\Delta b_j + \alpha(b_j(k-1) - b_j(k-2)) \tag{23}$$

Thông số nút trung tâm:

$$\Delta c_{ji} = (y(k) - y_m(k))w_j \frac{\|x - c_{ji}\|^2}{b_j^2} \tag{24}$$

$$c_{ji}(k) = c_{ji}(k-1) + \eta\Delta c_{ji} + \alpha(c_{ji}(k-1) - c_{ji}(k-2)) \tag{25}$$

với: η là tốc độ học, α là mô men.

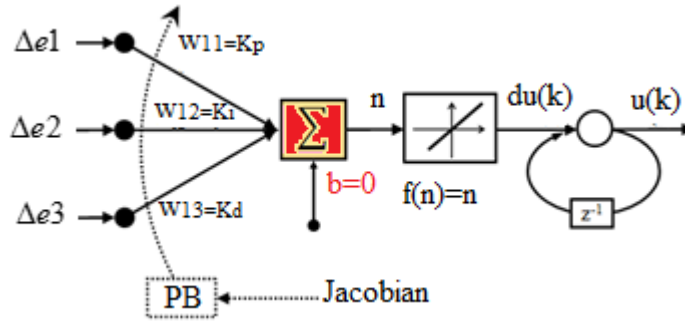
Ma trận Jacobian có thuật toán như sau:

$$\frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \approx \frac{\partial y_m(k)}{\partial u(k)} = \sum_{j=1}^m w_jh_j \frac{c_{ji} - x_1}{b_j^2} \tag{26}$$

trong đó: $x_1 = u(k)$ (27)

2.7 Thuật toán cập nhật trọng số P,I,D sử dụng mạng neural RBF

Bộ điều khiển PID thích nghi dựa trên nhận dạng mạng neural RBF có cấu trúc biểu hiện trong Hình 4 dưới đây:



Hình 4: Cấu trúc một nơron

trong đó: 3 thông số K_p, K_i, K_d được sửa đổi on-line bằng cách sử dụng các kết quả nhận dạng xác định từ bộ nhận dạng.

Phương trình toán bộ điều khiển PID số được thiết lập như sau:

$$u(k) = u(k-1) + (k_p \Delta e1 + k_i \Delta e2 + k_d \Delta e3). \quad (28)$$

Sai biệt ở thời gian thứ k giữa tín hiệu tham khảo y_{ref} và đáp ứng y hệ thống:

$$e(k) = y_{ref}(k) - y(k). \quad (29)$$

Với chu kỳ lấy mẫu T_s , thì 3 ngõ vào của bộ PID số được xác định:

$$\begin{aligned} x_1 &= \Delta e1 = e(k) - e(k-1), \\ x_2 &= \Delta e2 = T_s e(k), \\ x_3 &= \Delta e3 = \frac{1}{T_s} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]. \end{aligned} \quad (30)$$

Cấu trúc bộ điều khiển PID một nơron tuyến tính trên Hình 4, áp dụng trong nghiên cứu này được biểu diễn bởi phương trình (31):

$$\begin{aligned} n &= (w_{11} \Delta e1 + w_{12} \Delta e2 + w_{13} \Delta e3) \\ du(k) &= f(n) = n \\ u(k) &= u(k-1) + du(k) \end{aligned} \quad (31)$$

trong đó:

$w_{1,i}(k)_{i=1,2,3}$ là các trọng số kết nối của nơron, chính là bộ ba thông số K_p, K_i, K_d của bộ điều khiển PID và các thông số này được cập nhật trực tuyến trong quá trình điều khiển. Huấn luyện trực tuyến bộ điều khiển PID một nơron: Mục tiêu của quá trình huấn luyện bộ điều khiển PID một nơron là điều chỉnh bộ trọng số $w_{1,i}_{i=1,2,3}$ của mạng để cực tiểu hóa chi phí.

$$E(k) = \frac{1}{2} e^2(k) = \frac{1}{2} [y_{ref}(k) - y(k)]^2. \quad (32)$$

Để điều chỉnh bộ trọng số $w_{1,i}(k)_{i=1,2,3}$, theo phương pháp giảm độ dốc được áp dụng:

$$K_p = w_{11}(k+1) = w_{11}(k) + \Delta w_{11}(k). \quad (33)$$

$$K_i = w_{12}(k+1) = w_{12}(k) + \Delta w_{12}(k). \quad (34)$$

$$K_d = w_{13}(k+1) = w_{13}(k) + \Delta w_{13}(k). \quad (35)$$

trong đó: $\Delta w_{1,i}(k)_{i=1,2,3}$ là các gradient xác định bởi (36), (37) và (38), được kiểm chứng thành công bởi (Zengu *et al.*, 2012):

$$\begin{aligned} \Delta w_{11}(k) &= \eta^{k_p} \left(-\frac{\partial E(k)}{\partial w_{11}(k)} \right) \\ &= -\eta^{k_p} \frac{\partial E(k)}{\partial y(k)} \frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \frac{\partial u(k)}{\partial w_{11}(k)} \\ &= -\eta^{k_p} e(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \Delta e1. \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} \Delta w_{12}(k) &= \eta^{k_i} \left(-\frac{\partial E(k)}{\partial w_{12}(k)} \right) \\ &= -\eta^{k_i} \frac{\partial E(k)}{\partial y(k)} \frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \frac{\partial u(k)}{\partial w_{12}(k)} \\ &= -\eta^{k_i} e(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \Delta e2. \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \Delta w_{13}(k) &= \eta^{k_d} \left(-\frac{\partial E(k)}{\partial w_{13}(k)} \right) \\ &= -\eta^{k_d} \frac{\partial E(k)}{\partial y(k)} \frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \frac{\partial u(k)}{\partial w_{13}(k)} \\ &= -\eta^{k_d} e(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \Delta e3. \end{aligned} \quad (38)$$

Với: $\eta^k | k = k_p, k_i, k_d$ là các hằng số tốc độ học; $\Delta e1, \Delta e2$ và $\Delta e3$ xác định theo (30);

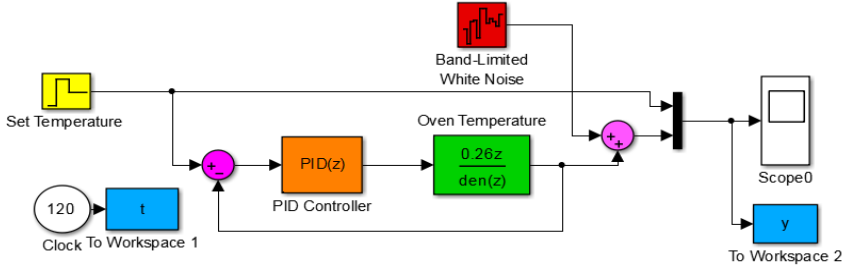
$\frac{\partial y(k)}{\partial u(k)}$ là độ nhạy của đáp ứng đối với tín hiệu điều khiển, còn gọi là thông tin Jacobian, được xác định thông qua bộ nhận dạng mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm.

điều khiển, còn gọi là thông tin Jacobian, được xác định thông qua bộ nhận dạng mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm.

3 KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

3.1 Mô hình bộ điều khiển PID trên mô phỏng

Thiết kế sơ đồ bộ điều khiển PID, có tác động của nhiễu vào hệ thống, sơ đồ hệ thống nhiệt mô phỏng biểu thị ở Hình 5.

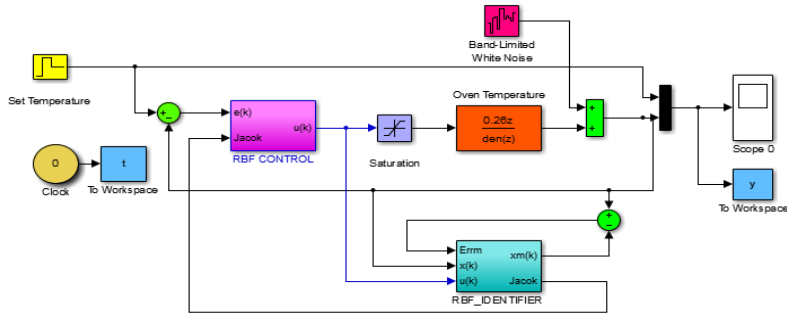


Hình 5: Sơ đồ bộ điều khiển PID

3.2 Bộ điều khiển PID thích nghi mạng nơ-ron RBF

Bộ điều khiển PID thích nghi mạng RBF được

thiết kế như Hình 6, có nhiều tác động vào hệ thống kiểm chứng tính ổn định của hệ thống.



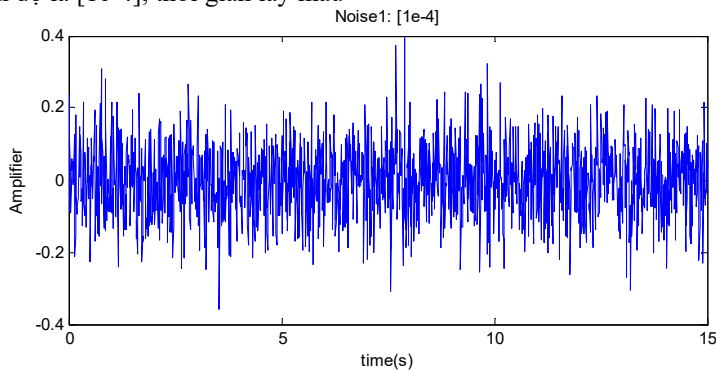
Hình 6: Sơ đồ điều khiển PID thích nghi mạng RBF

3.3 Các tín hiệu nhiễu

Các tín hiệu nhiễu với biên độ khác nhau được đưa vào hệ thống để đánh giá tính ổn định của bộ điều khiển, trong đó: tín hiệu nhiễu 1: là tín hiệu nhiễu trắng với biên độ là [1e-4], thời gian lấy mẫu

là 0.01s (sec). Tương tự tín hiệu nhiễu 2, tín hiệu nhiễu 3: lần lượt chọn biên độ [1e-6], [1e-8] các tín hiệu này sẽ được cộng vào hệ thống để đánh giá bộ điều khiển.

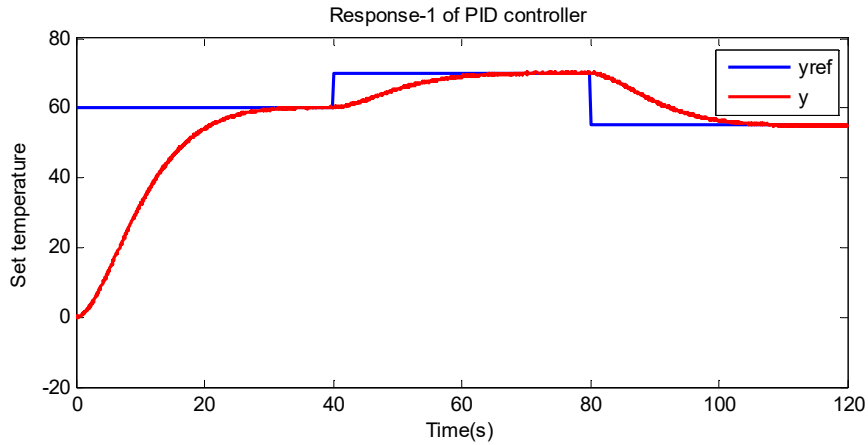
Tín hiệu nhiễu 1 có dạng Hình 7 dưới đây:



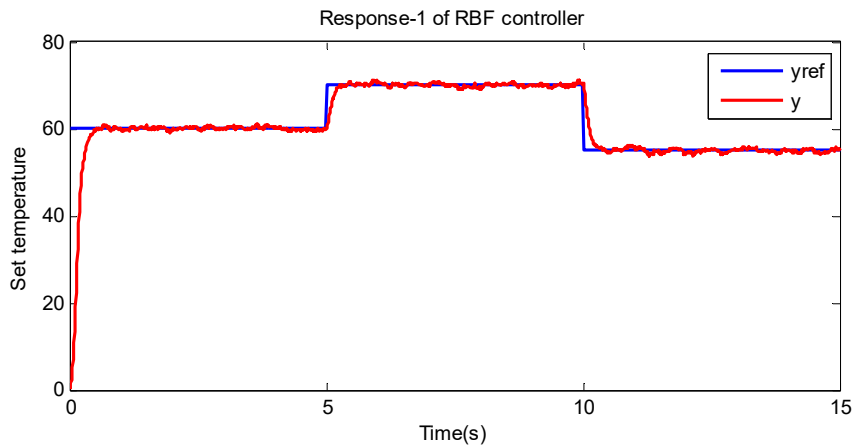
Hình 7: Tín hiệu nhiễu 1

3.4 Đáp ứng với tác động của nhiễu 1

Hình 8 đáp ứng cho từ bộ điều khiển PID, Hình 9 đáp ứng cho từ bộ điều khiển RBF.



Hình 8: Đáp ứng 1 của bộ điều khiển PID



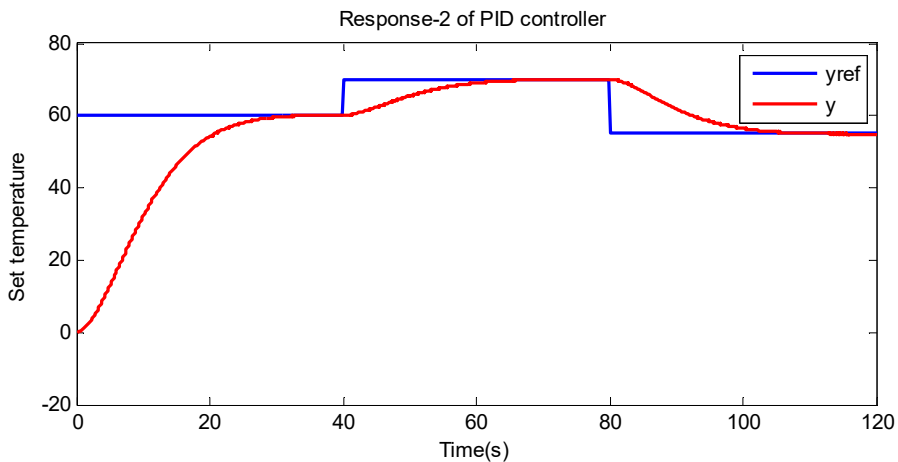
Hình 9: Đáp ứng 1 của bộ điều khiển RBF

Nhận xét: Kết quả đáp ứng từ bộ điều khiển RBF gần như không có vọt lố, trong thời gian rất ngắn khoảng 0,8s xác lập, lần đặt nhiệt độ kế tiếp hầu như vọt lố cũng gần bằng 0. Trong khi đó, bộ

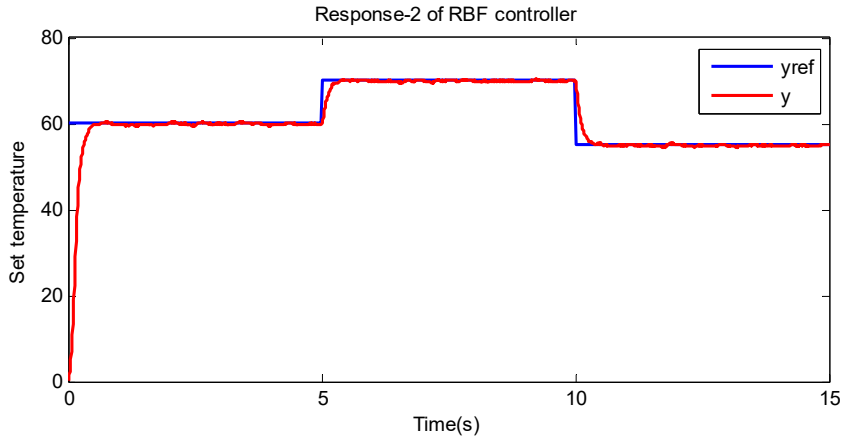
điều khiển PID mất khoảng 33s mới xác lập, bộ điều khiển này cũng cho thấy không tồn tại vọt lố.

3.5 Đáp ứng với tác động của nhiễu 2

Hình 10 đáp ứng cho từ bộ điều khiển PID, Hình 11 đáp ứng cho từ bộ điều khiển RBF.



Hình 10: Đáp ứng 2 của bộ điều khiển PID

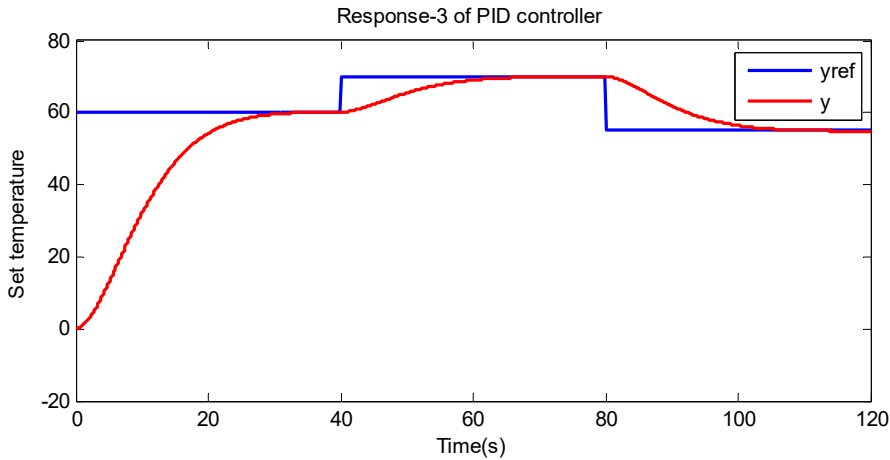


Hình 11: Đáp ứng 2 của bộ điều khiển RBF

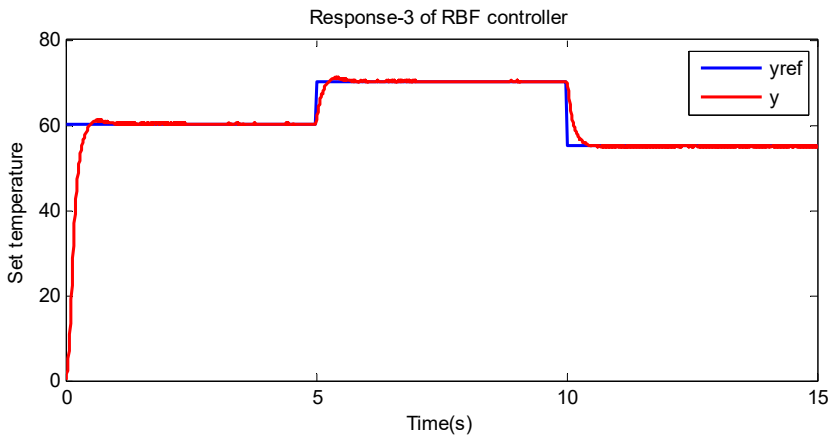
Nhận xét: Kết quả đáp ứng từ bộ điều khiển RBF gần như không có vọt lố, trong thời gian rất ngắn khoảng 1s xác lập, lần đặt nhiệt độ kế tiếp hầu như vọt lố cũng gần bằng 0. Trong khi đó, bộ điều khiển PID mất khoảng 33s mới xác lập, bộ điều khiển này cũng cho thấy không tồn tại vọt lố.

3.6 Đáp ứng với tác động của nhiễu 3

Hình 12 biểu thị đáp ứng cho từ bộ điều khiển PID, Hình 13 biểu thị đáp ứng cho từ bộ điều khiển RBF.



Hình 12: Đáp ứng 3 của bộ điều khiển PID



Hình 13: Đáp ứng 3 của bộ điều khiển RBF

Nhận xét: Kết quả đáp ứng từ bộ điều khiển RBF có vọt lố rất bé trong thời gian ngắn, và mất tối đa khoảng 1.4s xác lập, lần đặt nhiệt độ kế tiếp hầu như vọt lố cũng rất bé và vọt lố triệt tiêu ở lần đặt nhiệt độ tiếp theo. Trong khi đó, bộ điều khiển PID cũng mất khoảng thời gian gần 33s mới xác lập.

4 KẾT LUẬN

Qua mô phỏng cho thấy bộ điều khiển RBF đã thiết kế và hoạt động tốt đối với hệ bồn khuấy có đặc tính động. Kỹ thuật điều khiển này có ưu điểm nhận dạng rất tốt thông số độ nhay một cách trực tuyến nhờ thuật toán nhận dạng mạng nơ-ron RBF, mặc dù có sự tác động của nhiễu với các công suất nhiễu khác nhau đưa vào hệ thống nhưng bộ điều khiển vẫn đảm bảo được chất lượng điều khiển. Cụ thể trong thời gian ngắn, tối đa khoảng 1,4s đáp ứng tín hiệu bám tốt tín hiệu tham khảo với thời gian tăng và thời gian xác lập khá nhanh, không có vọt lố và triệt tiêu sai số xác lập. So với bộ điều khiển PID cho thấy thời gian xác lập rút ngắn hơn nhiều trong khi bộ điều khiển PID mất khoảng hơn 33s. Nghiên cứu này cũng góp phần chứng tỏ ưu điểm của giải thuật PID một nơ-ron sử dụng thuật toán RBF đã đề xuất so với các giải thuật đã công bố (Verma *et al.*, 2012) cho cùng đối tượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Astrom, K. J. (1995). "PID controllers: theory, design and tuning." Instrument society of America.

Åström, K. J., T. Hägglund, C.-C. Hang and W. K. Ho (1993). "Automatic tuning and adaptation for PID controllers-a survey." Control Engineering Practice 1(4): 699-714.

Jantzen, J. (1998). "Design of fuzzy controllers." Technical University of Denmark, Department of Automation, Bldg 326: 362-367.

Jones, A. and P. D. M. Oliveira (1995). Genetic auto-tuning of PID controllers. Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications, 1995. GALESIA. First International Conference on (Conf. Publ. No. 414), IET.

Lee, C.-C., P.-C. Chung, J.-R. Tsai and C.-I. Chang (1999). "Robust radial basis function neural networks." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics) 29(6): 674-685.

Omatu, S., M. B. Khalid and R. Yusof (2012). Neuro-control and its applications, Springer Science & Business Media.

Salami, M. and G. Cain (1995). An adaptive PID controller based on genetic algorithm processor. Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications, 1995. GALESIA. First International Conference on (Conf. Publ. No. 414), IET.

Schleicher, M. and F. Blasinger (2003). Regelungstechnik-Ein Leitfaden für Einsteiger, JUMO GmbH & Co. KG, Fulda.

Shin, Y. C. (1994). "Radial basis function neural network for approximation and estimation of nonlinear stochastic dynamic systems." IEEE Transactions on Neural Networks 5(4): 594-603.

Tavoosi, J., M. Alaei and B. Jahani (2011). Temperature Control of Water Bath by using Neuro-Fuzzy Controller. 5th Symposium on Advance in Science & Technology. May12-17.

Verma, O. P., R. Singla and R. Kumar (2012). "Intelligent Temperature Controller for Water Bath System." World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer, Information, Systems and Control Engineering 6(9).

Zeng, S., H. Hu, L. Xu and G. Li (2012). "Nonlinear adaptive PID control for greenhouse environment based on RBF network." Sensors 12(5): 5328-5348.