

ĐIỀU KHIỂN PID TÍCH HỢP MẠNG NƠ-RON THÍCH NGHI CHO TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY

ADAPTIVE RADIAL-BASIS FUNCTION NEURAL NETWORK-BASED PID CONTROL FOR MARINE DIESEL ENGINE SPEED

PHẠM VĂN TRIỆU^{1*}, NGUYỄN VĂN GIÁP^{2,3}

¹Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Học viên cao học, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

³Đoàn 871, Tổng cục Chính trị Quân đội nhân dân Việt Nam

*Email liên hệ: phamvantrieu@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo này đề xuất một hệ thống điều khiển thích nghi để điều chỉnh tốc độ động cơ diesel tàu thủy dựa trên mạng nơ-ron xuyên tâm (RBF) và điều khiển đạo hàm-tích phân-tỷ lệ (PID). RBF được sử dụng để ước lượng động lực học phi tuyến của động cơ diesel, trong khi bộ điều khiển PID được thiết kế để điều chỉnh tốc độ động cơ. Hệ thống điều khiển được đề xuất có khả năng xử lý sự bất định và nhiễu loạn vốn có trong môi trường biển, chẳng hạn như những thay đổi về tải và điều kiện làm việc. Khả năng thích nghi của RBF giúp bộ điều khiển thích ứng với những thay đổi động lực học của hệ thống, làm cho hệ thống điều khiển trở nên bền vững và có thể duy trì hiệu suất tối ưu trong nhiều điều kiện vận hành. Hiệu quả của hệ thống điều khiển đề xuất được thể hiện thông qua các mô phỏng được thực hiện bằng chương trình MATLAB-Simulink. Kết quả chứng minh rằng hệ thống điều khiển PID tích hợp mạng nơ-ron vượt trội hơn so với điều khiển PID truyền thống và các chiến lược điều khiển hiện có khác về khả năng đáp ứng tốc độ và bền vững.

Từ khóa: Động cơ diesel tàu thủy, điều khiển tốc độ, mạng nơ-ron xuyên tâm (RBF), điều khiển đạo hàm-tích phân-tỷ lệ (PID), điều khiển thích nghi bền vững.

Abstract

This paper proposes an adaptive control system for regulating the speed of marine main diesel engines based on a radial-basis function neural network (RBF) and proportional-integral-derivative (PID) control. The RBF is utilized to approximate the nonlinear dynamics of the diesel engine, while the PID controller is designed to regulate the engine speed. The proposed control system is capable of handling the uncertainties

and disturbances inherent in the marine environment, such as changes in load demand and sea conditions. The adaptive nature of the RBF enables it to adapt to changes in the system dynamics, making the control system robust and able to maintain optimal performance over a wide range of operating conditions. The effectiveness of the proposed control system is demonstrated through simulations conducted using the MATLAB-Simulink program. The results demonstrate that the proposed adaptive neural network integrated PID control system outperforms traditional PID control and other existing control strategies in terms of response speed and robustness.

Keywords: Marine diesel engines, speed control, radial-basis function neural network (RBF), proportional-integral-derivative (PID) control, robust adaptive control.

1. Giới thiệu

Động cơ diesel đóng một vai trò quan trọng trong hệ động lực của tàu thủy. Việc kiểm soát tốc độ của các động cơ là một nhiệm vụ đầy thách thức do đặc điểm phi tuyến, sự không chắc chắn và nhiễu tồn tại trong động lực học của động cơ. Phương pháp điều khiển truyền thống như điều khiển đạo hàm-tích phân-tỷ lệ (PID) có thể không mang lại hiệu suất thỏa đáng trong các điều kiện vận hành khác nhau. Do đó, ngày càng có nhiều mối quan tâm đến việc phát triển các hệ thống điều khiển tiên tiến cho các động cơ diesel tàu thủy cỡ lớn [1, 2].

Trong những năm gần đây, mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) được sử dụng nhiều trong thực tế, trong đó có việc thiết kế thuật toán điều khiển thông minh trong dự báo hiệu suất của động cơ diesel tàu thủy [3, 4]. Một vài nghiên cứu sử dụng mạng nơ-ron để điều khiển tốc độ động cơ diesel cỡ nhỏ [5, 6]. Các nghiên

cứ trên sử dụng mạng nơ-ron để nhận dạng và ước lượng các thông số ngoại tuyến. Trong nghiên cứu của chúng tôi, việc sử dụng mạng RBF được thực hiện trực tuyến và tích hợp trực tiếp vào hệ thống điều khiển PID sẵn có. Hệ thống điều khiển được thiết kế để thích nghi với những thay đổi trong điều kiện hoạt động của động cơ, do đó cải thiện hiệu suất và độ bền của động cơ. Kết quả của nghiên cứu này sẽ cung cấp cái nhìn về tiềm năng sử dụng mạng nơ-ron để điều khiển tốc độ của các động cơ diesel.

Cấu trúc của bài báo gồm 5 phần chính: Ngoài mở đầu và kết luận, trong Phần 2 sẽ trình bày về mô hình toán động cơ diesel tàu thủy thấp tốc cỡ lớn MAN B&W 6S60MC; Phần 3 trình bày về tối ưu hóa tham số bộ điều khiển PID bằng việc tích hợp RBF; Phần 4 thực hiện các trường hợp mô phỏng và đánh giá kết quả thu được.

2. Mô hình động cơ

Bộ điều khiển tốc độ cho động cơ diesel tàu thủy bao gồm cơ cấu chấp hành, bộ điều khiển và cảm biến tốc độ quay [7]. Trong trường hợp sử dụng chân vịt cố định cho động cơ diesel, chân vịt thường được truyền động bằng trục từ động cơ. Do tác động của chân vịt đến động cơ diesel, trục và chân vịt được coi là một đối tượng được điều khiển toàn diện, được gọi là mô hình tích hợp cho động cơ diesel. Tín hiệu dịch chuyển từ thanh răng nhiên liệu được sử dụng làm đầu vào cho hệ thống điều khiển, trong khi tốc độ động cơ là đầu ra. Điều chỉnh vị trí thanh răng nhiên liệu sẽ làm thay đổi tốc độ động cơ diesel và từ đó điều chỉnh tốc độ chung của tàu thủy.

Mô hình toán động cơ đã được trình bày trong nghiên cứu trước của chúng tôi [8]. Mô hình toán động cơ có thể coi là một liên kết tỷ lệ, hàm truyền được viết như sau:

$$G(s) = e^{-0.037s} \frac{98.5}{(12.1s + 1)(0.3s + 1)} \quad (1)$$

$$= e^{-0.037s} \frac{98.5}{3.63s^2 + 12.4s + 1}$$

Hàm truyền (1) được dùng để thiết kế thuật toán điều khiển ở phần tiếp theo.

3. Tối ưu hóa thông số bộ điều khiển PID

Giải thuật Z-N được áp dụng để xác định ba thông số của bộ điều khiển PID. Tuy nhiên, bộ điều khiển PID truyền thống lại khó bền vững với những yếu tố bất định từ mô hình cũng như ngoài môi trường biển. Thông thường, việc điều chỉnh thông số bộ điều khiển PID phải dựa trên kinh nghiệm của người kỹ sư vận hành để tìm ra điểm làm việc tối ưu mới. Vì vậy, một

cấu trúc mạng nơ-ron xuyên tâm được tích hợp để chỉnh định tự động tham số của bộ điều khiển này nhằm bền vững với các yếu tố bất định và nhiễu từ môi trường.

3.1. Bộ điều khiển PID

Hàm truyền của bộ điều khiển PID lý tưởng được xác định như sau:

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

Các tham số điều khiển K_I và K_D được xác định như sau:

$$K_I = \frac{K_p}{T_I}; \quad K_D = K_p T_D \quad (3)$$

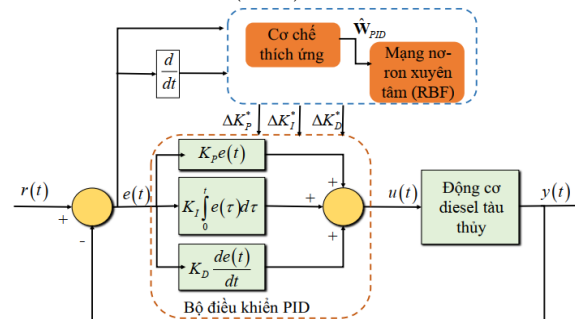
Thế (3) vào (2) ta được:

$$G_{PID}(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (4)$$

Bộ ba tham số $\{K_p, K_I, K_D\}$ cần được xác định để thỏa mãn các yêu cầu về chất lượng điều khiển.

3.2. Ước lượng tham số điều khiển dựa vào mạng nơ-ron xuyên tâm

Trong phần này, tác giả đề xuất một cấu trúc điều chỉnh tham số bộ điều khiển PID một cách tự động trong Hình 1. Cấu trúc đề xuất bao gồm 3 khối chính: Bộ điều khiển PID, khối bù thích nghi dựa trên mạng nơ-ron xuyên tâm và khối động cơ diesel tàu thủy. Bộ điều khiển PID được thiết kế dựa trên đầu vào là sai lệch giữa giá trị đặt $(r(t))$ và đầu ra của hệ thống $(y(t))$. Tuy nhiên, việc chỉnh định bộ điều khiển PID truyền thống chủ yếu phụ thuộc vào kinh nghiệm vận hành. Vì vậy, chúng tôi đã bổ sung một cơ chế bù thích ứng nhằm chỉnh định trực tuyến bộ ba tham số của bộ điều khiển PID. Với hai đầu vào là sai lệch $(e(t))$ và vi phân sai lệch $d(e(t))/dt$, cơ chế thích ứng đưa ra trọng số ước lượng (\hat{W}_{PID}) để tính toán tham số bù.



Hình 1. Mô hình điều khiển PID tích hợp mạng nơ-ron

Đầu tiên, định nghĩa về ước lượng hàm số $f(t)$ được đưa ra dựa trên mạng xuyên tâm như được minh

họa trong Hình 2. Mạng xuyên tâm được đưa ra với ba lớp: lớp đầu vào ($x \in \mathbf{R}^p$), lớp ẩn ($\mathbf{h} \in \mathbf{R}^q$) và lớp đầu ra ($\hat{f}(t)$). Đầu ra của lớp ẩn được biểu diễn thông qua hàm Gaussian trong công thức (10) như sau:

$$h_j = \exp\left(-\frac{\|x_j - c_j\|^2}{2\Phi_j^2}\right) \quad (5)$$

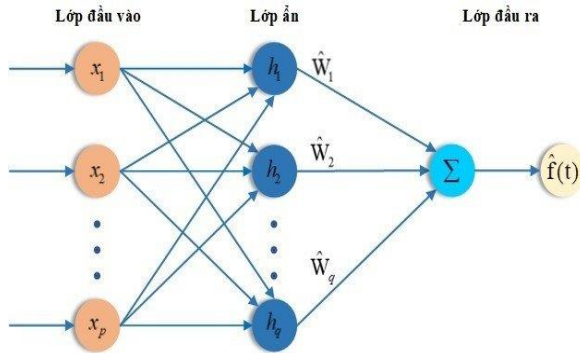
Trong đó: $\mathbf{h} = [h_j]^T$, c_j, Φ_j lần lượt là tâm và độ rộng của hàm xuyên tâm, $j = 1 \dots q$, p, q lần lượt là số lượng đầu vào và số nút ẩn.

Thuật toán xấp xỉ dựa trên mạng xuyên tâm được xây dựng như sau:

$$f(t) = \mathbf{W}^{st} \mathbf{h} + \varepsilon \quad (6)$$

$$\hat{f}(t) = \hat{\mathbf{W}}^T \mathbf{h} \quad (7)$$

Trong đó: $f(t)$ và $\hat{f}(t)$ lần lượt là hàm lý tưởng và hàm đầu ra được ước lượng bởi mạng nơ-ron xuyên tâm; \mathbf{W}^* và $\hat{\mathbf{W}}$ lần lượt là véc tơ trọng số lý tưởng và véc tơ trọng số ước lượng; ε là sai số xấp xỉ của mạng nơ-ron và $|\varepsilon| \leq \varepsilon^*$ với ε^* là một hằng số dương nhỏ tùy ý.



Hình 2. Cấu trúc mạng xuyên tâm

Bằng việc áp dụng mạng nơ-ron xuyên tâm vào việc điều chỉnh tham số bộ điều khiển PID, các tham số K_p, K_I, K_D lần lượt được cập nhật như sau:

$$\begin{cases} K_p = K_p^* + \Delta K_p^* \\ K_I = K_I^* + \Delta K_I^* \\ K_D = K_D^* + \Delta K_D^* \end{cases} \quad (8)$$

Trong đó: K_p^*, K_I^*, K_D^* là giá trị của bộ điều khiển

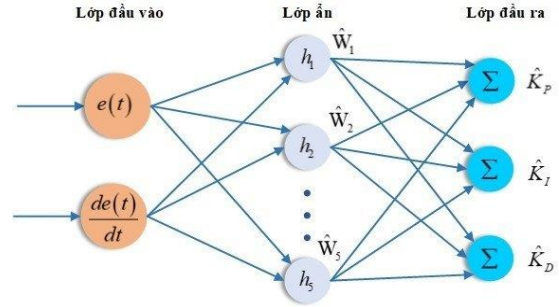
PID theo phương pháp Z-N, $\Delta K_p^*, \Delta K_I^*, \Delta K_D^*$ lần lượt

là các thành phần bù vào các giá trị của bộ điều khiển truyền thống PID để nâng cao khả năng bền vững. Để tìm ra các tham số này, cấu trúc mạng nơ-ron sẽ được xây dựng cho bộ điều tốc động cơ diesel tàu thủy với véc tơ đầu vào bao gồm hai thành phần là sai lệch và

vi phân sai lệch $\left(\mathbf{x} = \begin{bmatrix} e(t) \\ \frac{d(e(t))}{dt} \end{bmatrix}^T \right)$ và véc tơ đầu

ra gồm 3 thành phần tương ứng với $(\mathbf{PID} = [\Delta K_p^* \ \Delta K_I^* \ \Delta K_D^*]^T)$. Trước tiên, tác giả định nghĩa $e(t)$ là sai lệch giữa tín hiệu đặt $r(t)$ và tín hiệu đáp ứng của hệ thống $y(t)$ như sau:

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (9)$$



Hình 3. Cấu trúc ước lượng tham số bộ điều khiển PID

Trên Hình 3, với cấu trúc ước lượng tham số cho bộ điều tốc động cơ diesel tàu thủy, tác giả đã lựa chọn lớp ẩn là hàm Gaussian trong phương trình (10) với 5 nút ẩn như sau:

$$\mathbf{h}_{PID} = [h_{PID1} \ h_{PID2} \ h_{PID3} \ h_{PID4} \ h_{PID5}]^T \quad (10)$$

trong đó $\mathbf{h}_{PID} \in \mathbf{R}^{10}$, $\mathbf{h}_{PIDj} \in \mathbf{R}^2$, $j = 1 \div 5$.

Đầu ra ước lượng tham số của mạng xuyên tâm được tính toán bằng phương trình sau

$$\mathbf{PID} = \hat{\mathbf{W}}_{PID}^T \mathbf{h}_{PID} \quad (11)$$

Trong đó $\mathbf{W}_{PID} \in \mathbf{R}^{10 \times 3}$ là trọng số ước lượng của mạng. Để tìm ra trọng số ước lượng, tác giả đưa ra luật cập nhật như sau:

$$\hat{\mathbf{W}}_{PID}^T = \gamma \mathbf{h}_{PID} \mathbf{E}(e(t)) \quad (12)$$

với $\gamma \in \mathbf{R}^{10 \times 10}$ là ma trận đường chéo chính xác định dương và $\mathbf{E}(e(t)) \in \mathbf{R}^{1 \times 3}$ là ma trận của biến sai lệch.

Như vậy, luật bù thích ứng được trình bày trong phần này sẽ giúp bộ điều khiển PID có thể chỉnh định trực tuyến tham số trước những thay đổi của tải, bất định, hay nhiễu. Trong phần tiếp theo, hiệu quả của bộ điều khiển được đề xuất sẽ được thể hiện qua kết quả mô phỏng so sánh.

4. Mô phỏng

Thuật toán điều khiển được thiết kế trong Phần 3 cần được kiểm chứng thông qua mô phỏng để chứng minh hiệu suất của nó. Trong phần này, chúng tôi sử dụng ngôn ngữ lập trình MATLAB-Simulink để mô phỏng đáp ứng hệ thống. Kết quả đáp ứng đầu ra sẽ được so sánh với bộ điều khiển PID truyền thống dựa trên phương pháp Ziegler-Nichols (ZN-PID), bộ điều

khiển PID với tham số tối ưu hóa dựa trên giải thuật di truyền (ISE-PID, IAE-PID, và ITAE-PID) [9], bộ điều khiển PID kết hợp với lý thuyết mờ [8] để phân ánh rõ ưu điểm của phương án được đề xuất. Bảng 1 đưa ra bộ ba tham số điều khiển của bộ điều khiển PID như sau:

Bảng 1. Tham số bộ điều khiển

Bộ điều khiển \ Tham số	ZN-PID	ISE-PID	IAE-PID	ITAE-PID
K_p	0,2	3,0165	2,5097	5,5266
K_i	0,04	0,4144	0,3490	0,8902
K_d	0,03	0,5966	0,4609	0,9103

Ngoài ra, tham số của mạng nơ-ron xuyên tâm được lựa chọn:

$$c_1 = [0,5 \quad 0,2]^T, c_2 = [0,25 \quad -1]^T, c_3 = [-0,5 \quad 0,5]^T, \\ c_4 = [0,2 \quad -1]^T, c_5 = [0,25 \quad 0,5]^T, \gamma = 10I_{10}$$

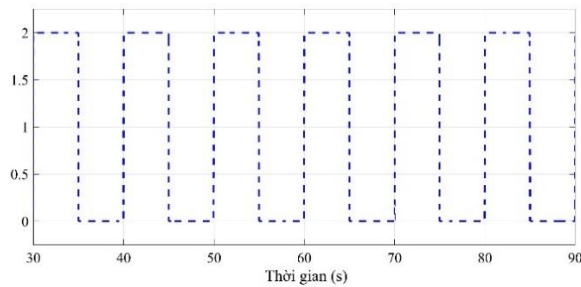
$\Phi = [0,5 \quad 1 \quad 0,5 \quad 2 \quad 0,25]^T$ và thời gian trích mẫu bằng 0,01 giây. Hai kịch bản mô phỏng được trình bày và mô tả như sau:

• **Kịch bản thứ nhất**

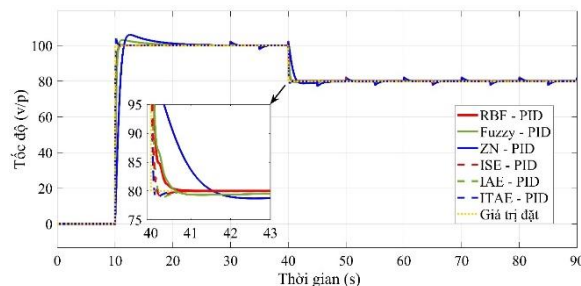
Tốc độ đặt được mô tả trong phương trình (13) với tổng thời gian thực hiện mô phỏng là 90 giây.

$$r(t) = \begin{cases} 0 & t < 10 \\ 100 & 10 \leq t < 40 \\ 80 & 40 \leq t < 90 \end{cases} \quad (13)$$

Yếu tố nhiễu cũng được xem xét với dạng xung vuông trong Hình 4 và được thêm vào giây thứ 30.

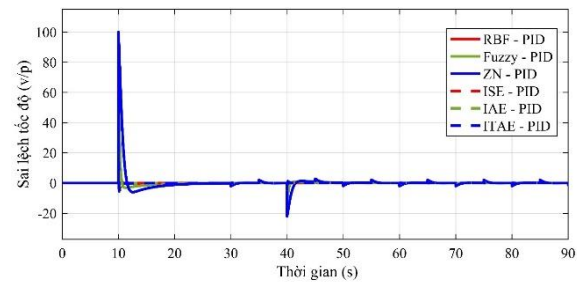


Hình 4. Nhiễu dạng xung vuông



Hình 5. Đáp ứng tốc độ với nhiễu dạng xung vuông

Hình 5 và Hình 6 lần lượt biểu diễn hiệu suất của các bộ điều khiển thông qua đáp ứng tốc độ và sai lệch của tốc độ. Tại thời điểm thay đổi tốc độ của bộ điều khiển diesel tàu thủy, hiệu suất của các bộ điều khiển đã được thể hiện rõ ràng. Cụ thể, cấu trúc tự chỉnh định tham số dựa trên mạng nơ-ron xuyên tâm được đề xuất (RBF-PID) và lý thuyết mờ (Fuzzy-PID) cho thấy hiệu suất tuyệt vời và rõ ràng về tiêu chí thời gian đáp ứng cũng như độ quá điều chỉnh so với bộ điều khiển PID truyền thống. Trong khi đáp ứng của các bộ điều khiển PID chỉnh định dựa trên mạng nơ-ron, bộ PID chỉnh định dựa trên lý thuyết mờ, bộ PID được tối ưu hóa theo giải thuật di truyền sau thời gian khoảng 0,5 giây tại thời điểm thay đổi tốc độ ở giây thứ 40 thì bộ điều khiển PID truyền thống mất khoảng 6 giây. Ngoài ra, ba bộ điều khiển PID được tối ưu bởi giải thuật di truyền đem lại hiệu suất tốt sau thời gian quá độ ngay cả khi có nhiễu xuất hiện, tuy nhiên, hiện tượng quá điều chỉnh tại các thời điểm thay đổi tốc độ vẫn còn tồn tại. Sau giây thứ 30 khi có nhiễu tác động vào bộ điều tốc, bộ điều khiển PID truyền thống luôn xuất hiện những sai lệch, đặc biệt tại các thời điểm xung nhiễu thay đổi.



Hình 6. Sai lệch tốc độ với nhiễu dạng xung vuông

Để thể hiện trực quan hiệu suất của từng bộ điều khiển, bốn chỉ tiêu sai số (ISE, IAE, ITSE, và ITAE) trong các phương trình (14)-(17) cũng được tác giả áp dụng và đánh giá [9].

Tiêu chuẩn tích phân bình phương sai số:

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (14)$$

Tiêu chuẩn tích phân trị tuyệt đối biên độ sai số:

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (15)$$

Tiêu chuẩn tích phân của tích thời gian và bình phương sai số:

$$ITSE = \int_0^{\infty} te^2(t) dt \quad (16)$$

Tiêu chuẩn tích phân của tích thời gian và trị tuyệt đối biên độ sai số:

$$ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)| dt \quad (17)$$

Bảng 2. Đánh giá hiệu suất bộ điều khiển theo các tiêu chuẩn sai số (kịch bản 1)

Tiêu chuẩn	ISE	IAE	ITSE	ITAE
RBF-PID	221,4	6,203	2.411	146
Fuzzy-PID	237	7,6	2.685	163,1
ZN-PID	3.924	124,3	47.140	2.843
ISE-PID	351,4	11,13	4.082	247,8
IAE-PID	430,3	13,83	5.001	308,1
ITAE-PID	249,6	8,107	2.896	180

Bảng 2 được đưa ra đã khẳng định lại những nhận xét được đề cập bên trên về hiệu suất của các bộ điều khiển.

• *Kịch bản thứ hai*

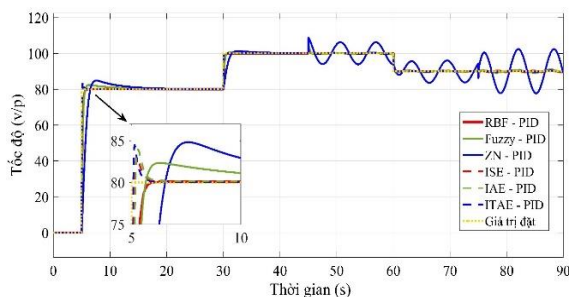
Tốc độ đặt được mô tả trong phương trình (18) với tổng thời gian thực hiện mô phỏng là 90 giây.

$$r(t) = \begin{cases} 0 & t < 5 \\ 80 & 5 \leq t < 30 \\ 100 & 30 \leq t < 60 \\ 90 & 60 \leq t < 90 \end{cases} \quad (18)$$

Yếu tố nhiễu dạng hình sin được thêm vào hệ thống vào thời điểm giây thứ 45 và giây thứ 75 được mô tả như phương trình (19).

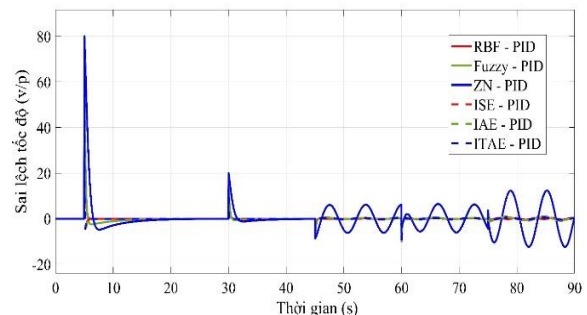
$$d(t) = \begin{cases} 0 & t < 45 \\ 5 \sin(t) & 45 \leq t < 75 \\ 5 \sin(t) + 5 \sin(2t) & 75 \leq t < 90 \end{cases} \quad (19)$$

Trong kịch bản mô phỏng thứ hai, tác giả đã thay đổi giá trị đặt cho bộ điều tốc động cơ diesel tàu thủy với nhiều lần thay đổi tốc độ hơn cũng như thay đổi dạng nhiễu với biên độ lớn hơn để có thể quan sát rõ ràng ưu nhược điểm của từng bộ điều khiển.



Hình 7. Đáp ứng tốc độ với nhiễu dạng hình sin

Tại thời điểm chuyển tốc độ từ 0 (vòng/ phút) lên 80 (vòng/phút) ở giây thứ 5, bộ điều khiển PID kết hợp với mạng nơ-ron xuyên tâm cho thấy rõ ràng lợi thế khi duy nhất bộ điều khiển này không tồn tại quá điều chỉnh cũng như ưu điểm về thời gian đáp ứng. Trong khi đó bộ điều khiển PID truyền thống tồn tại độ quá điều chỉnh cao nhất (khoảng 6%) cũng như thời gian đáp ứng lớn nhất (sau 10 giây). Ba bộ điều khiển PID dựa trên phương pháp tối ưu hóa giải thuật di truyền đem lại độ lợi về thời gian đáp ứng, tuy nhiên, độ quá điều chỉnh cao xấp xỉ bộ điều khiển PID truyền thống. Khi tác động nhiễu với biên độ lớn hơn kịch bản một tại thời điểm 45 giây và 75 giây, đáp ứng và sai lệch của tốc độ càng làm rõ bất lợi của bộ điều khiển PID truyền thống cũng như lợi thế của các bộ điều khiển còn lại. Bộ điều khiển PID truyền thống cho thấy rõ sự ảnh hưởng của nhiễu làm cho đáp ứng có dạng hình sóng sin thay vì bám theo giá trị đặt. Các bộ điều khiển còn lại đều bù được yếu tố nhiễu, điều đó được thể hiện rõ ràng trong sai lệch sau thời điểm nhiễu tác động hầu hết rất nhỏ. Đặc biệt, đường đáp ứng của bộ điều khiển PID kết hợp với bộ chỉnh định tham số dựa trên cấu trúc mạng nơ-ron đem lại hiệu quả vượt trội khi sai lệch tiệm cận 0.



Hình 8. Sai lệch tốc độ với nhiễu dạng hình sin

Trong trường hợp này, tác giả cũng sử dụng các tiêu chuẩn đánh giá sai lệch trong các phương trình (14)-(17) để so sánh hiệu quả của các bộ điều khiển. Giá trị tính toán cho sai lệch theo các tiêu chuẩn cũng được trình bày trong Bảng 3.

Bảng số liệu trên cũng cho thấy ưu nhược điểm về sai số của từng bộ điều khiển. Việc sử dụng bộ điều khiển PID kết hợp với bộ chỉnh định tham số tự động và bộ điều khiển PID với tham số được tối ưu hóa theo giải thuật di truyền mang lại ưu điểm lớn nhất về mặt sai lệch. Tuy nhiên, những phương pháp này cũng tồn tại những nhược điểm như: khối lượng tính toán lớn và độ phức tạp trong việc thiết kế.

Bảng 3. Đánh giá hiệu suất bộ điều khiển theo các tiêu chuẩn sai số (kịch bản 2)

Tiêu chuẩn Bộ điều khiển	ISE	IAE	ITSE	ITAE
RBF-PID	144,9	11,26	1.289	598,6
Fuzzy-PID	162,3	14,7	1.422	707,9
ZN-PID	4.153	316,9	139.000	17.280
ISE-PID	240,9	25,22	2.399	1.299
IAE-PID	296,7	30,7	3.072	1.569
ITAE-PID	167,9	15,53	1.466	743,4

5. Kết luận

Nghiên cứu này đề xuất thuật toán điều khiển PID tích hợp mạng nơ-ron xuyên tâm cho các động cơ diesel tàu thủy cỡ lớn. Hệ thống điều khiển được đề xuất sử dụng mạng nơ-ron RBF để ước lượng động lực học phi tuyến tính của động cơ và điều chỉnh các tham số của bộ điều khiển PID cho phù hợp. Kết quả chứng minh rằng hệ thống điều khiển RBF-PID vượt trội so với bộ điều khiển PID thông thường về độ bám tốc độ đặt và loại bỏ nhiễu. Hệ thống điều khiển được đề xuất có tiềm năng lớn cho các ứng dụng thực tế trong ngành vận tải biển, vì nó có thể nâng cao tính an toàn và hiệu quả của động cơ diesel tàu thủy. Việc sử dụng mạng nơ-ron RBF cho phép hệ thống điều khiển thích nghi với các điều kiện vận hành thay đổi, điều này rất quan trọng trong bối cảnh động cơ diesel tàu thủy có thể phải đối mặt với nhiều nhiễu loạn và sự không chắc chắn. Hơn nữa, hệ thống điều khiển được đề xuất có thể được triển khai dễ dàng trên các nền tảng điều khiển hiện có, làm cho nó trở thành một giải pháp khả thi cho các ứng dụng trong thực tế.

Để nghiên cứu được hoàn thiện hơn, công việc trong tương lai có thể tập trung vào việc thử nghiệm hệ thống điều khiển được đề xuất trên băng thử điều tốc và động cơ diesel tàu thủy. Ngoài ra, các nghiên cứu sâu hơn có thể được tiến hành để tối ưu hóa thiết kế của mạng nơ-ron RBF và khám phá tiềm năng các cấu trúc mạng nơ-ron khác trong điều khiển động cơ diesel tàu thủy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] X. Q. Shen and Y. X. Su (2012), *Marine diesel engine speed control system based on fuzzy-PID*, in *Applied Mechanics and Materials*, Vol.152-154 pp.1589-1594.
- [2] T. A. Tran (2020), *Analysis of the PID controller for marine diesel engine speed on simulink environment*, in 2020 International Conference on Electrical Engineering and Control Technologies (CEEECT), pp.1-5.
- [3] C. M. Nor, R. Mamat, G. Najafi, M. M. Yasin, C. Ihsan, and M. Noor (2016), *Prediction of marine diesel engine performance by using artificial neural network model*, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, Vol.10, pp.1917-1930.
- [4] C. M. Noor, R. Mamat, G. Najafi, W. W. Nik, and M. Fadhil (2015), *Application of artificial neural network for prediction of marine diesel engine performance*, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol.100, p.012023.
- [5] Y. Shi, L. Y. Zhang, J. Sun, and H. G. Zhang (2013), *Research on the speed of diesel engine based on improved bp neural network controller*, in *Applied Mechanics and Materials*, Vol.281, pp. 105-111.
- [6] W. Shi (2007), *Multi-neural networks control of marine diesel engine generator set*, in *Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD 2007)*, pp.508-512.
- [7] R. P. Sinha and R. Balaji (2018), *A mathematical model of marine diesel engine speed control system*, *Journal of the Institution of Engineers (India): Series C*, Vol.99, pp.63-70.
- [8] Mai Thế Trọng, Phạm Văn Triệu (2021), *Chỉnh định tham số PID của bộ điều tốc động cơ diesel tàu thủy dựa trên giải thuật di truyền và giải thuật mờ*, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải*, Số 67 (8/2021), tr.33-38.
- [9] T. D. O'Mahony, C. & Fatla, Klaudiusz (2002), *Genetic Algorithms for PID Parameter Optimisation: Minimising Error Criteria*, University of Strathclyde.

Ngày nhận bài:	30/03/2023
Ngày nhận bản sửa:	07/04/2023
Ngày duyệt đăng:	19/04/2023