

CHỈNH ĐỊNH THAM SỐ PID CỦA BỘ ĐIỀU TỐC ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY DỰA TRÊN GIẢI THUẬT DI TRUYỀN VÀ GIẢI THUẬT MỜ

TUNING PID GAINS OF MARINE DIESEL ENGINE GOVERNOR BASED ON GENETIC ALGORITHM AND FUZZY ALGORITHM

MAI THẾ TRỌNG, PHẠM VĂN TRIỆU*

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

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

Tóm tắt

Bài báo này trình bày những ưu điểm của bộ điều khiển PID truyền thống, khắc phục những nhược điểm bằng cách sử dụng giải thuật di truyền và bộ điều khiển mờ được áp dụng trên hệ thống điều khiển tốc độ của động cơ diesel tàu thủy. Thuật toán thiết kế cho đối tượng được trình bày và phân tích chi tiết. Kết quả mô phỏng dựa trên ngôn ngữ lập trình MATLAB®/Simulink® khẳng định hiệu quả của các bộ điều khiển được đề xuất.

Từ khóa: Động cơ diesel tàu thủy, hệ thống điều khiển tốc độ, bộ điều khiển PID, giải thuật di truyền, điều khiển mờ.

Abstract

This paper presents the advantages of the traditional PID controller, overcoming the disadvantages by using the genetic algorithm and the fuzzy controller applied on the speed control system of marine diesel engine. The design algorithm for the object is presented and analyzed in detail. Simulation results on MATLAB®/Simulink® environment have confirmed the efficiency of the proposed controllers.

Keywords: Marine diesel engine, speed control system, PID controller, genetic algorithm, fuzzy control.

1. Đặt vấn đề

Động cơ diesel đã được sử dụng rộng rãi làm năng lượng nguồn trong thực tế. Động cơ diesel dùng để dẫn động sử dụng cho ô tô, tàu thủy và máy phát điện [1]. Động cơ được trang bị trên tàu thủy là động cơ diesel lớn yêu cầu phải được kiểm soát về tốc độ. Việc điều khiển tốc độ động cơ diesel cỡ lớn được thực hiện thông qua bộ điều tốc và thanh răng nhiên liệu [2].

Hệ thống điều khiển tốc độ động cơ diesel tàu thủy đóng một vai trò quan trọng trong tự động hóa tàu thủy. Hiện tại, phương pháp điều khiển PID (Proportional-Integral-Derivative controller) được

phổ biến rộng rãi nhất được sử dụng trong bộ điều tốc động cơ diesel tàu thủy, do khả năng điều khiển hiệu quả, tính đơn giản trong thiết kế và phạm vi ứng dụng rộng [3]. Tuy nhiên, việc chỉnh định tham số của bộ điều khiển PID thường gặp khó khăn và khó tìm được giá trị tối ưu. Phương pháp Ziegler-Nichols (Z-N) được áp dụng phổ biến để chỉnh định tham số của bộ điều khiển PID, nhưng đòi hỏi quá trình thử nghiệm mất rất nhiều thời gian và phụ thuộc rất nhiều vào kết quả đo đạc các đáp ứng của hệ thống [4, 5]. Vì vậy, việc hiệu chỉnh thông số của bộ điều khiển PID khó đạt được giá trị tốt do ảnh hưởng của nhiễu và sai số của các thiết bị lên tín hiệu đo. Để khắc phục nhược điểm trên, việc chỉnh định tham số của bộ điều khiển PID đã được phát triển dựa trên các giải thuật mới. Trong đó, giải thuật di truyền (Genetic Algorithm - GA) được sử dụng rộng rãi để xây dựng hệ thống điều khiển [6]. Giải thuật này dựa trên một cơ chế tương tự như quá trình di truyền tự nhiên để tìm kiếm giá trị tối ưu của các tham số thiết kế, thỏa mãn một hàm mục tiêu nào đó, trong miền xác định của chúng.

Bên cạnh đó, thuật toán điều khiển PID có nhược điểm như: phụ thuộc nhiều vào mô hình đối tượng điều khiển, nó thường không thể khắc phục được ảnh hưởng của những thay đổi của tải, thông số mô hình và các yếu tố phi tuyến. Các thông số mô hình của động cơ diesel tàu thủy sẽ thay đổi rõ ràng dưới điều kiện làm việc khác nhau. Do đó, phương pháp điều khiển PID khó đảm bảo rằng các thông số điều khiển đã thiết lập có thể làm cho động cơ diesel có hiệu suất tốt hơn trong các điều kiện khác nhau. Thuật toán điều khiển mờ không yêu cầu mô hình chính xác cho đối tượng được điều khiển. Nó có thể thích ứng với đối tượng điều khiển có độ trễ, thay đổi thời gian và phi tuyến tính [7, 8].

Trong bài viết này, chúng tôi trình bày ba phương pháp điều khiển tốc độ của động cơ diesel tàu thủy:

Phương pháp 1: Sử dụng giải thuật di truyền để tối ưu hóa thông số của bộ điều khiển PID truyền thống.

Phương pháp 2: Kết hợp điều khiển mờ và điều

hiển PID truyền thống.

Phương pháp 3: Kết hợp bộ điều khiển mờ và giải thuật di truyền trong tối ưu hóa tham số PID.

Bài viết bao gồm những nội dung sau: Phần 2 trình bày về mô hình động cơ diesel tàu thủy của hãng MAN B&W; Phần 3 trình bày về tối ưu hóa các tham số bộ điều khiển PID dựa trên các giải thuật khác nhau; Phần 4 thực hiện mô phỏng và phân tích kết quả mô phỏng; Phần 5 kết luận.

2. Mô hình động cơ

Hệ thống điều khiển tốc độ động cơ diesel tàu thủy bao gồm bộ điều khiển, cơ cấu chấp hành và cảm biến tốc độ quay. Trong hệ động lực động cơ diesel lai chân vịt định bước, chân vịt tàu thủy được dẫn động trực tiếp từ động cơ qua các đoạn trục. Vì tác dụng tải của chân vịt đối với động cơ diesel, trục và chân vịt nên được coi là tổng thể đối tượng được điều khiển, được gọi là mô hình tích hợp cho động cơ diesel. Đầu vào của đối tượng điều khiển là tín hiệu dịch chuyển của thanh răng nhiên liệu, và đầu ra là tốc độ động cơ. Khi thay đổi vị trí thanh răng nhiên liệu của bơm cao áp sẽ làm cho tốc độ quay của động cơ thay đổi.

2.1. Mô hình tích hợp toán học của động cơ diesel

Rất khó để thiết lập một mô hình chính xác đối với một đối tượng được điều khiển phức tạp như động cơ diesel tàu thủy, bởi vì nó không chỉ liên quan đến điều kiện bên trong và quá trình đốt cháy nhiên liệu bên trong xi lanh động cơ diesel, mà còn cả trạng thái tàu và điều kiện hành trình. Để mô phỏng hệ thống điều khiển tốc độ động cơ diesel, một mô hình toán học được đơn giản hóa có thể được thiết lập bằng cách phân tích cơ chế trong phạm vi cho phép [4].

Khi động cơ diesel, trục và chân vịt được coi là một khối, hàm truyền từ sự dịch chuyển thanh răng nhiên liệu sang tốc độ động cơ diesel có thể được xác định thông qua việc rút gọn như sau:

$$G_o(s) = K_1 / (T_a s + 1) \quad (1)$$

Xét đặc tính làm việc của động cơ diesel tàu thủy, tức là có độ trễ thời gian từ sự thay đổi vị trí thanh răng nhiên liệu đến mômen xoắn tương ứng bởi động cơ diesel, tạo thành liên kết trễ thời gian thuần túy. Do đó, động cơ diesel có thể được coi là một liên kết quán tính mắc nối tiếp với một liên kết trễ thời gian thuần túy và hàm truyền là:

$$G_1(s) = K_1 e^{-\tau s} / (T_a s + 1) \quad (2)$$

Động cơ diesel tàu thủy thấp tốc cỡ lớn được sử dụng rộng rãi kiểu MAN B&W 6S60MC được coi là

một ví dụ. Theo tài liệu của hãng, hằng số thời gian bằng 12,1 giây, độ khuếch đại kênh hệ số bằng 93,8 và độ trễ thời gian thuần là 0,037 giây. Do đó, hàm truyền của mô hình tích hợp động cơ diesel là:

$$G_1(s) = e^{-0.037s} * 93.8 / (12.1s + 1) \quad (3)$$

2.2. Mô hình thiết bị truyền động

Cơ cấu chấp hành được sử dụng trong hệ thống điều khiển tốc độ động cơ diesel là động cơ servo DC với phản ứng hình khuyên, mô hình toán học có thể được đơn giản hóa như sau:

$$G_2(s) = \frac{K_a}{T_a s + 1} \quad (4)$$

Theo các tài liệu liên quan, T_a được chọn là 0,3 giây $K_a = 1.05$. Do đó, phương trình (4) trở thành:

$$G_2(s) = \frac{1.05}{0.3s + 1} \quad (5)$$

2.3. Mô hình cảm biến tốc độ

Cảm biến từ trường được sử dụng để đo tốc độ động cơ, chuyển đổi tần số của tín hiệu xung tỷ lệ với tốc độ. Mô hình toán học của nó có thể được coi là một liên kết tỷ lệ. Hệ số tỷ lệ được rút gọn là 1.

Từ trên, hàm truyền của mô hình tích hợp động cơ diesel cùng với bộ truyền động có thể được viết là:

$$\begin{aligned} G(s) &= e^{-0.037s} \frac{98.5}{(12.1s + 1)(0.3s + 1)} \\ &= e^{-0.037s} \frac{98.5}{3.63s^2 + 12.4s + 1} \end{aligned} \quad (6)$$

3. Tối ưu hóa thông số bộ điều khiển PID

Thuật toán di truyền là một phương pháp tìm kiếm ngẫu nhiên có thể được sử dụng để giải hệ phương trình phi tuyến và tối ưu hóa những vấn đề phức tạp. Ba thông số của bộ điều khiển PID được tìm theo phương pháp Z-N sẽ là cơ sở để tìm ra miền của giải thuật GA. Nhiệm vụ của giải thuật GA là chọn lọc bộ ba tối ưu cho bộ điều khiển PID, thỏa mãn một trong các hàm mục tiêu.

3.1. Bộ điều khiển PID

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

$$G_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (7)$$

Các hệ số tích phân K_i và vi phân K_d của bộ điều khiển được xác định:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}; \quad K_d = K_p T_d \quad (8)$$

Thay (8) vào (7) ta được:

$$G_{PID}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (9)$$

Yêu cầu đặt ra đối với người thiết kế bộ điều khiển PID là tìm ra bộ ba thông số thỏa mãn các yêu cầu về chất lượng điều khiển.

3.2. Giải thuật di truyền

Trong hệ điều khiển vòng kín ta có $e(t)$ là sai lệch giữa tín hiệu đặt $u(t)$ và tín hiệu đầu ra của đối tượng $y(t)$, ta có phương trình sai lệch như sau:

$$e(t) = u(t) - y(t) \quad (10)$$

Các hàm mục tiêu của quá trình tìm ra bộ điều khiển tối ưu được định nghĩa như sau:

Trường hợp 1:

$$T_1 = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (11)$$

Trường hợp 2:

$$T_2 = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \quad (12)$$

Trường hợp 3:

$$T_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i^2(t) \quad (13)$$

Ý nghĩa của giải thuật di truyền được áp dụng là tìm ra thông số tối ưu của bộ điều khiển PID, mà ở đó các hàm T_i ($i=1, 2, 3$) đạt giá trị cực tiểu.

Quá trình tinh chỉnh thông số bộ điều khiển PID được trình bày theo các bước như sau:

Bước 1: Khởi tạo quần thể ngẫu nhiên ban đầu cho ba thông số của bộ điều khiển PID, đó là việc lựa chọn số thế hệ, kích thước quần thể, tần suất lai ghép và xác suất đột biến.

Bước 2: Tính toán sai lệch giữa giá trị đặt và giá trị đáp ứng để đánh giá các hàm mục tiêu (T_i ($i=1, 2, 3$)).

Bước 3: So sánh với điều kiện dừng. Nếu thông số đưa ra thỏa mãn điều kiện dừng thì sẽ đưa ra bộ thông số tối ưu và kết thúc giải thuật. Nếu thông số đưa ra chưa thỏa mãn điều kiện dừng thì sẽ tiếp tục chọn lọc, lai tạo, đột biến để sinh ra thế hệ mới và tiếp tục vòng lặp quay lại bước 2.

Bảng 1 là tham số của bộ điều khiển PID khi áp dụng giải thuật di truyền với ba hàm mục tiêu đề xuất. Hoàn toàn có thể khẳng định rằng nếu sử dụng phương pháp truyền thống thì rất khó có thể tìm ra được bộ thông số tối ưu. Các đáp ứng của hệ thống điều khiển trong ba trường hợp sẽ được trình bày trong phần mô phỏng.

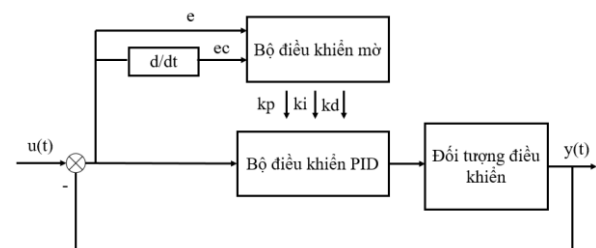
Bảng 1. Thông số bộ điều khiển PID theo các tiêu chuẩn thiết kế

Tham số PID	Z-N	T1	T2	T3
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

3.3. Thiết kế bộ điều khiển mờ-PID

Bộ điều khiển PID truyền thống không thể điều chỉnh các thông số bộ điều khiển trực tuyến và khó thích ứng được với các đối tượng điều khiển có phụ tải và các thông số thường xuyên thay đổi. Rất khó để đạt được hiệu quả điều khiển như mong muốn.

Kỹ thuật điều khiển mờ là một kỹ thuật điều khiển thông minh mới được phát triển trong những năm gần đây. Nó không yêu cầu kiến thức về mô hình toán học chính xác cho các đối tượng được điều khiển. Chiến lược điều khiển được hình thành bởi các quy tắc điều khiển nhân tạo và biến điều khiển được quyết định bởi chiến lược điều khiển. Kết hợp điều khiển mờ với điều khiển PID, hệ thống không chỉ linh hoạt và lợi thế thích nghi của điều khiển mờ mà còn có các đặc tính chính xác cao của điều khiển PID. Các hệ thống phức tạp sử dụng bộ điều khiển mờ-PID tự động điều chỉnh này có hiệu quả điều khiển tốt. Cấu trúc của nó được hiển thị trong Hình 1.



Hình 1. Cấu trúc của bộ điều khiển mờ-PID

Trong sơ đồ cấu trúc, bộ điều khiển PID thực hiện điều khiển hệ thống. Đầu vào của bộ điều khiển mờ nhận sai lệch và đạo hàm của sai lệch, bộ điều khiển mờ điều chỉnh các tham số PID trực tuyến thông qua phương pháp giải mờ để đáp ứng các yêu cầu điều khiển khác nhau theo sai số và đạo hàm sai số để đối tượng điều khiển có hiệu suất động và tĩnh tốt.

3.3.1. Xác định hàm liên thuộc

Đối với động cơ diesel loại MAN B&W 6S60MC, bộ điều khiển mờ-PID sử dụng hai đầu vào và ba đầu ra. Hai đầu vào là sai số và đạo hàm sai số và ba đầu ra là số gia điều chỉnh của ba tham số PID. Tập hợp mờ là {AL, AV, AN, K, DN, DV, DL}. Các phần tử trong tập hợp đại diện cho âm lớn, âm trung bình, âm

nhỏ, không, dương nhỏ, dương trung bình và dương lớn tương ứng. Miền của nó là [-6, 6] và các mức định lượng là {-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6}. Mỗi hàm liên thuộc có dạng tam giác. Phương pháp centroid được sử dụng trong quá trình giải mờ.

Vì sai số e và đạo hàm sai số ec của hệ thống thực tế có thể không nằm trong khoảng [-6, 6], chúng phải nhân với hệ số mờ K_e hoặc K_{ec} . Theo đó, ba đầu ra của bộ điều khiển mờ nên được nhân với hệ số giải mờ f_p , f_i , f_d tương ứng.

Dựa trên thuật toán PID, thông qua tính toán sai số và đạo hàm sai số, bộ điều khiển mờ-PID thực hiện giải mờ bằng cách sử dụng các quy tắc mờ, dẫn đến ba giá số PID tham số (ΔK_p , ΔK_i và ΔK_d). Các công thức điều chỉnh là:

$$\begin{aligned} K_p &= K_{p0} + \Delta K_p \times f_p \\ K_i &= K_{i0} + \Delta K_i \times f_i \\ K_d &= K_{d0} + \Delta K_d \times f_d \end{aligned} \quad (14)$$

Trong đó: K_{p0} , K_{i0} , K_{d0} là giá trị của bộ điều khiển PID theo phương pháp Z-N.

3.3.2. Quy tắc điều khiển mờ

Cốt lõi của thiết kế bộ điều khiển mờ là tổng hợp kiến thức kỹ thuật và kinh nghiệm vận hành thực tế của các nhà thiết kế kỹ thuật và thiết lập các bảng quy tắc điều khiển mờ hợp lý.

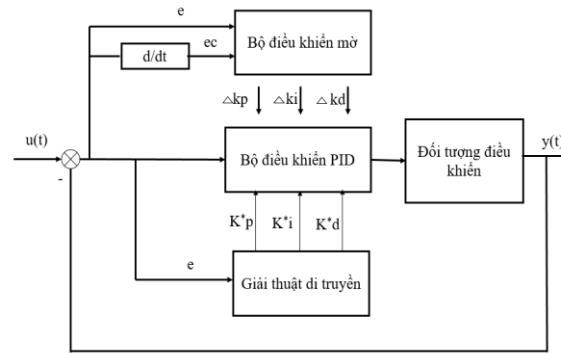
Để mô phỏng động cơ diesel tàu thủy loại MAN B&W 6S60MC, kết hợp với tham số PID điều chỉnh quy tắc theo kinh nghiệm thực tế, bảng quy tắc mờ của ΔK_p , ΔK_i và ΔK_d được thành lập, được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Bảng quy tắc mờ của ΔK_p , ΔK_i và ΔK_d

$\Delta K_p/\Delta K_i/\Delta K_d$	ec							
	AL	AV	AN	K	DN	DV	DL	
e	AL	DL	DL	DV	DV	DN	K	K
		AL	AL	AV	AV	AN	K	K
		DN	AN	AL	AL	AL	AV	DN
	AV	DL	DL	DV	DN	DN	K	AN
		AL	AL	AV	AN	AN	K	K
		DN	AN	AL	AV	AV	AN	K
	AN	DV	DV	DV	DN	K	AN	AN
		AL	AV	AN	AN	K	DN	DN
		K	AN	AV	AV	AN	AN	K
	K	DV	DV	DN	K	AN	AV	AV
		AV	AV	AN	K	DN	DV	DV
		K	AN	AN	AN	AN	AN	K
	DN	DN	DN	K	AN	AN	AV	AV
		AV	AN	K	DN	DN	DV	DL
		K	K	K	K	K	K	K
	DV	DN	K	AN	AV	AV	AV	AL
		K	K	DN	DN	DV	DL	DL
		DL	AN	DN	DN	DN	DN	DL
	DL	K	K	AV	AV	AV	AL	AL
		K	K	DN	DV	DV	DL	DL
		DL	DV	DV	DV	DN	DN	DL

3.4. Thiết kế bộ điều khiển mờ-GA

Thông qua nội dung từ phần 3 và phần 4, ta thấy được ý nghĩa của hai phương pháp điều khiển đề xuất. Việc kết hợp cả hai phương pháp với kỳ vọng tạo ra được một bộ điều khiển mang ưu điểm từng giải thuật, cụ thể là khả năng thích nghi của bộ điều khiển mờ và độ chính xác cao của bộ điều khiển PID tối ưu khi sử dụng giải thuật di truyền.



Hình 2. Cấu trúc của bộ điều khiển mờ-GA

Từ kết quả bộ điều khiển PID tối ưu và công thức điều chỉnh (14), luật điều chỉnh cho bộ điều khiển mờ-GA được xác định như sau:

$$\begin{aligned} K_p &= K_p^* + \Delta K_p \times f_p \\ K_i &= K_i^* + \Delta K_i \times f_i \\ K_d &= K_d^* + \Delta K_d \times f_d \end{aligned} \quad (15)$$

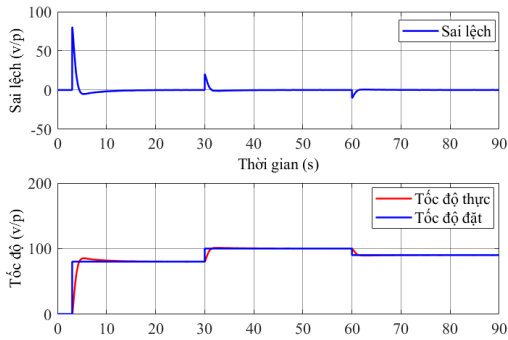
Trong đó: K_p^* , K_i^* , K_d^* là giá trị của bộ điều khiển PID theo phương pháp .

4. Mô phỏng

Trong phần này, những bộ điều khiển được thiết kế trong Phần 3 sẽ được mô phỏng kiểm chứng trên ngôn ngữ lập trình MATLAB®/Simulink® cho đối tượng được trình bày trong Phần 2. Hai kịch bản mô phỏng được trình bày với quỹ đạo đặt là những lần tăng tốc và giảm tốc để thấy rõ hiệu quả của từng phương pháp điều khiển.

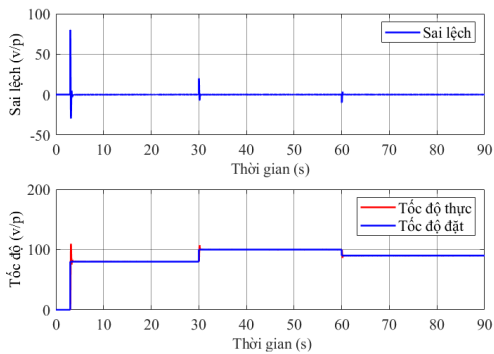
• Khi chưa xuất hiện nhiễu

Đầu tiên, bộ điều khiển PID được thiết kế theo phương pháp Z-N với thông số $K_p=0.2$, $K_i=0.04$, $K_d=0.03$. Kết quả mô phỏng cho thấy thời gian để bộ điều khiển bám được theo quỹ đạo đặt lần lượt như sau: mất 16s để bám được tốc độ khi khởi động, mất 10s để tăng tốc, mất 7s để giảm tốc.

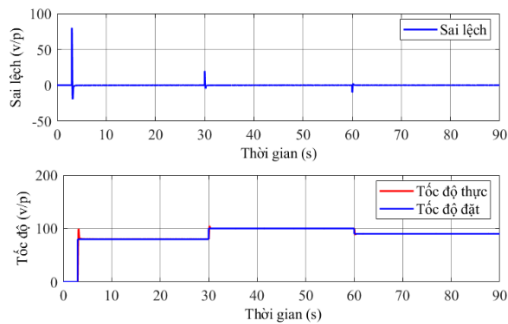


Hình 3. Sai số và tốc độ của bộ điều khiển PID (Z-N)

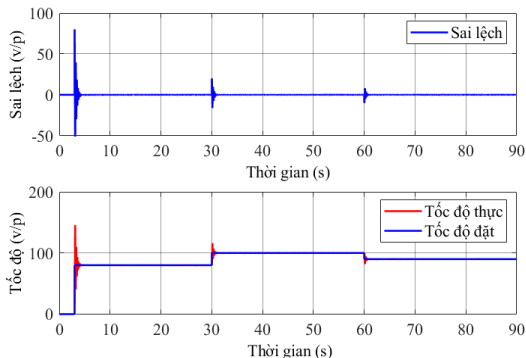
Thứ hai, bộ điều khiển PID sử dụng giải thuật di truyền với các thông số trình bày tại Bảng 1. Kết quả mô phỏng đã cải thiện được thời gian để tốc độ thực bám được tốc độ đặt, cụ thể: mất 4s để bám được tốc độ khi khởi động, mất 1s tăng tốc, 0,5s để giảm tốc.



Hình 4. Sai số và tốc độ của bộ điều khiển PID (T₁)

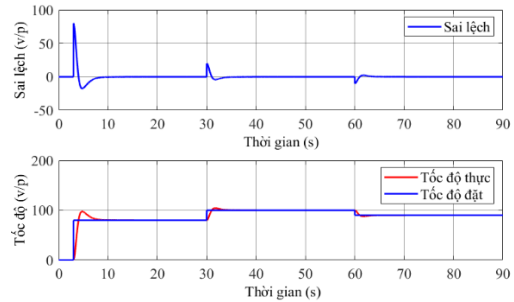


Hình 5. Sai số và tốc độ của bộ điều khiển PID (T₂)



Hình 6. Sai số và tốc độ của bộ điều khiển PID (T₃)

Thứ ba, bộ điều khiển mờ-PID với các thông số như sau: $K_e = 1$, $K_{ec} = 0.1$, $K_{p0} = 0.2$, $K_{i0} = 0.04$, $K_{d0} = 0.03$, $f_p = 0.1$, $f_i = 0.2$ và $f_d = 0.015$.

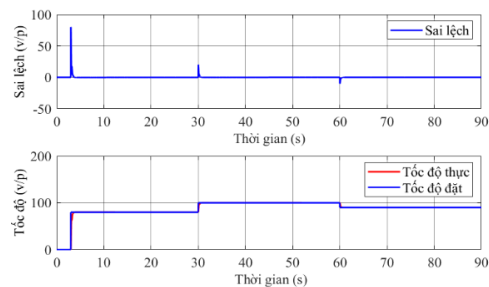


Hình 7. Sai số và tốc độ của bộ điều khiển mờ-PID

Bộ điều khiển mờ-PID với các giá trị tham số của bộ điều khiển PID được thiết kế theo phương pháp Z-N có thời gian bám quỹ đạo đặt sau 8s khi khởi động, 4s khi tăng tốc và 2s giảm tốc.

Cuối cùng, bộ điều khiển mờ-GA với các thông số như sau: $K_e = 1$; $K_{ec} = 0,1$; $K_p^* = 3,0165$; $K_i^* = 0,4144$; $K_d^* = 0,5966$, $f_p = 0,1$; $f_i = 0,2$ và $f_d = 0,015$.

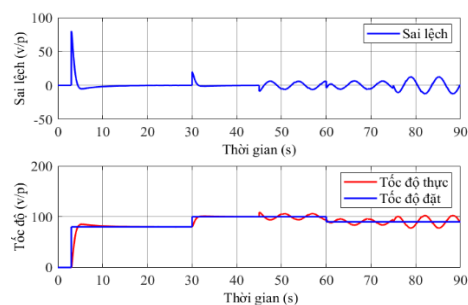
Bộ điều khiển mờ-GA cho thấy hiệu quả điều khiển rõ rệt như sau: mất 1s để bám khi khởi động, 0,5s cho quá trình tăng tốc và giảm tốc.



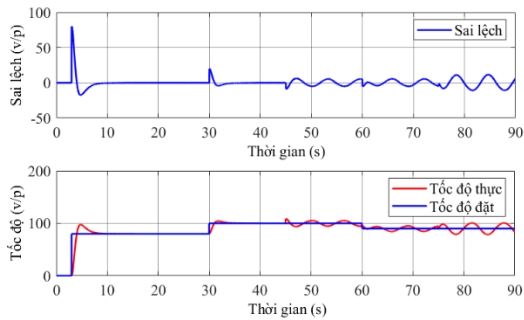
Hình 8. Sai số và tốc độ của bộ điều khiển mờ-GA

• Khi xuất hiện nhiễu

Trong trường hợp 2, cũng với các thông số hệ thống như trường hợp đầu tiên nhưng được đưa vào hệ thống nhiễu ở dạng $d = 10\sin(t)$ tại thời điểm 45s và 75s. Nhiễu tác động trực tiếp vào đối tượng điều khiển.

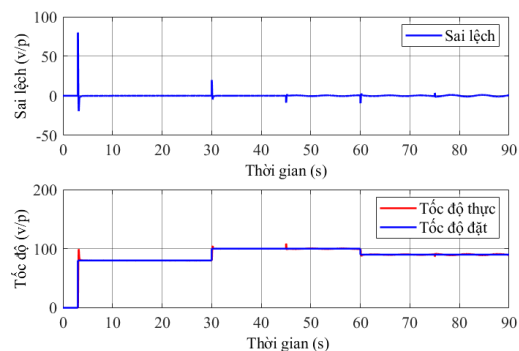


Hình 9. Sai số và tốc độ của bộ điều khiển PID (Z-N)

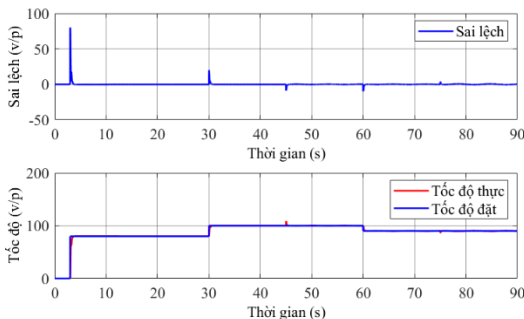


Hình 10. Sai số và tốc độ của bộ điều khiển mờ-PID

Ta nhận thấy rằng, khi đưa nhiễu vào hệ thống thì bộ điều khiển PID thiết kế theo phương pháp Z-N và bộ điều khiển mờ-PID sử dụng thông số của Z-N đều bất định.



Hình 11. Sai số và tốc độ của bộ điều khiển PID (TI)



Hình 12. Sai số và tốc độ của bộ điều khiển mờ-GA

Qua kết quả mô phỏng tại Hình 11, Hình 12 khi sử dụng bộ tham số PID theo giải thuật di truyền và bộ điều khiển mờ-GA ta thấy được hiệu quả xử lý nhiễu. Kết quả mô phỏng còn khẳng định bộ điều khiển có khả năng thích nghi khi cùng với một dạng nhiễu thì ở lần sau (giây thứ 75s) dao động nhỏ hơn lần trước (giây thứ 35s).

5. Kết luận

Qua nghiên cứu này, nhóm tác giả đã trình bày được ba phương pháp nhằm khắc phục được những nhược điểm của bộ điều khiển PID truyền thống để nâng cao chất lượng điều khiển mà vẫn giữ được những ưu điểm vốn có của nó. Từ lý thuyết đến kết quả mô phỏng đều cho thấy hiệu quả rõ rệt. Ngoài ra,

những hướng phát triển tiếp theo có thể tập trung kết hợp nhiều bộ điều khiển để có chất lượng điều khiển ưu việt.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số DT20-21.16.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Jiang, J., *Optimal Gain Scheduling Controller for a Diesel Engine*. IEEE Conference on Control Applications, Vancouver, British Columbia, Canada, September 13-16, 1993.
- [2] Zheng-Ming, G. Ching-I Lee, *Non-linear Dynamics and control of chaos for a rotational machine with a hexagonal centrifugal governor with a spring*. J. Sound Vib.262, pp.845-864, 2003.
- [3] Salami, M. and G. Cain. *An adaptive PID controller based on genetic algorithm processor*. IEEE Conf. Publ. No. 414, 12-14 Sep 1995, pp. 88-93, 1995.
- [4] Singh, R. and I. Sen. *Tuning of PID Controller Based AGC System Using Genetic Algorithms*. TENCON 2004. IEEE Region 10th Confer. pp. 531-534, 2004.
- [5] Johnson M.A. and M.H. Moradi. Chapter 8, in: *PID Control - New Identification and Design Methods*, pp.297-337. Springer-Verlag London Limited. ISBN-10: 1-85233-702-8, 2005.
- [6] Kwok, D.P. and P. Wang. *Fine-tuning of classical PID Controllers based on Genetic Algorithms*. IEEE Inter. Workshop on Emerging Technologies and Factory Automation, pp.37-43, 1992.
- [7] Jinkun Liu. *MATLAB Simulation of Advanced PID control [M]*. Beijing: Electronic Industry Press, 2004.
- [8] S.E. Mansour, G.C. Kember, R. Dubay, B. Robertson. *Online Optimization of Fuzzy-PID Control of a Thermal Process [J]*. ISA Transactions, Vol.44(2): pp.305-314, 2005.

Ngày nhận bài: 18/5/2021

Ngày nhận bản sửa: 31/5/2021

Ngày duyệt đăng: 04/6/2021