

ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ DC BẰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN THÔNG MINH: ỨNG DỤNG TRONG CÔNG NGHIỆP

● TRIỆU QUỐC HUY

TÓM TẮT:

Bài báo nghiên cứu thiết kế và ứng dụng bộ điều khiển thông minh vào việc điều khiển ổn định tốc độ động cơ DC, đồng thời so sánh với bộ điều khiển PID kinh điển. Dựa trên nguyên lý của phương pháp điều khiển PID theo Ziegler - Nichols, tác giả thực hiện phân tích mô hình và tính toán các thông số K_p , K_i , K_d . Từ đó, đề xuất giải pháp kết hợp bộ điều khiển PID với bộ điều khiển mờ tạo thành bộ điều khiển thông minh. Quá trình nghiên cứu được thực hiện bởi phương pháp mô phỏng với sự hỗ trợ của phần mềm Matlab. Các kết quả nghiên cứu đã cho thấy, bộ điều khiển thông minh đạt chất lượng điều khiển tốt hơn bộ điều khiển PID thông thường. Đặc biệt, dòng khởi động của bộ điều khiển thông minh chỉ bằng 1/6 so với bộ điều khiển PID thông thường.

Từ khóa: mô hình toán động cơ DC, điều khiển tự động, điều khiển PID, điều khiển mờ, điều khiển mờ, điều khiển thông minh.

1. Đặt vấn đề

Động cơ điện một chiều (DC) là một trong các thiết bị được sử dụng rộng rãi trong sản xuất và đời sống. Đã có nhiều bộ điều khiển tốc độ động cơ được chế tạo, cũng như nhiều phương pháp điều khiển hiện đại đã và đang được nghiên cứu nhằm ngày càng nâng cao chất lượng cho các bộ điều khiển này. Một phương pháp điều khiển rất nổi tiếng được biết đến và đã trở thành phương pháp kinh điển để điều khiển động cơ DC cũng như nhiều thiết bị khác trong công nghiệp là PID (Proportional Integral Derivative). Tuy nhiên, thiết kế bộ điều khiển PID liên quan đến phương trình toán học, động học, hàm truyền và việc chọn các hệ số K_p , K_i , K_d phải qua rất nhiều khâu tính

toán. Khi thực hiện điều khiển thiết bị, người điều khiển chủ yếu dựa trên các thông số này để chỉnh định đáp ứng ngõ ra của đối tượng cần điều khiển sao cho ổn định như mong muốn, phương pháp này chỉ áp dụng cho hệ thống điều khiển các đối tượng đơn giản. Hơn nữa, các thông số K_p , K_i và K_d tìm được chưa phải là các thông số tối ưu. Trong khi đó, điều khiển logic mờ được xem là một trong các phương pháp điều khiển thông minh nhờ vào ưu điểm khi thiết kế không nhất thiết phải biết trước mô hình toán, mà chỉ cần sự hiểu biết về phương thức hoạt động của đối tượng, đồng thời thể hiện qua các biến ngôn ngữ. Trong nhiều trường hợp, khả năng nhận dạng đối tượng qua mô hình toán là cực kỳ khó khăn và đôi khi không thể

điều khiển được với các bộ điều khiển thông thường. Điểm mạnh của bộ điều khiển mờ là sử dụng điều khiển các đối tượng phức tạp, các đối tượng mà việc xây dựng mô hình toán cực kỳ khó khăn. Ngay cả đối với các đối tượng điều khiển đơn giản thì quy trình thiết kế bộ điều khiển mờ cũng ngắn hơn so với quy trình thiết kế các hệ thống điều khiển thông thường. Ngày nay, điều khiển mờ đã được ứng dụng thành công trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt là đối với các hệ thống phi tuyến. Bên cạnh những ưu điểm thì bộ điều khiển mờ trực tiếp cũng còn những mặt hạn chế như: thường được thiết kế dựa vào kinh nghiệm chuyên gia và mang tính “thử sai”, do đó khi gặp các đối tượng phức tạp, người thiết kế sẽ mất rất nhiều thời gian mà kết quả có được sẽ không tối ưu hoặc sai số điều khiển lớn.

Từ các ưu điểm của bộ điều khiển mờ, nhằm mục đích nâng cao hiệu quả của bộ điều khiển PID kinh điển, cùng với nhu cầu ứng dụng công nghệ tự động hóa ngày càng gia tăng đặc biệt là trong thời kỳ cách mạng công nghiệp 4.0, đã thúc đẩy tác giả thực hiện nghiên cứu này. Với những điểm mới và đóng góp chính của nghiên cứu sẽ tập trung vào những nội dung như sau:

- Đề xuất mô hình điều khiển thông minh bằng cách kết hợp bộ điều khiển mờ với bộ điều khiển PID để điều khiển tốc độ động cơ DC, với mục tiêu chính là ổn định tốc độ và giảm dòng khởi động. Từ đó, giúp tiết kiệm năng lượng cũng như tăng độ an toàn trong quá trình vận hành hệ thống.

- Kết quả nghiên cứu chứng tỏ bộ điều khiển đề xuất tốt hơn bộ điều khiển PID thông thường.

2. Tổng quan nghiên cứu

Phương pháp điều khiển PID từ lâu đã được xem như là một phương pháp điều khiển kinh điển của kỹ thuật điều khiển tự động. PID có nhiều ưu điểm như có khả năng điều chỉnh sai số thấp nhất có thể, tăng tốc độ đáp ứng, giảm độ vọt lố, hạn chế sự dao động. Tuy nhiên, bộ điều khiển PID gần như chỉ áp dụng được với đối tượng tuyến tính và có mô hình toán ở dạng hàm truyền rõ ràng, đối với những đối tượng có tính phi tuyến cao thì không thể điều khiển được chỉ bằng phương pháp PID đơn lẻ. Để khắc phục nhược điểm này của bộ

điều khiển PID, các tác giả ở công trình nghiên cứu [1] đã đề xuất giải pháp kết hợp PID với bộ “điều khiển cuốn chiếu” (Backstepping Controller) để điều khiển robot hai bánh tự cân bằng bám quỹ đạo cho trước. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy, bộ điều khiển kết hợp PID và “điều khiển cuốn chiếu” có thể điều khiển robot bám quỹ đạo cực kỳ tốt với góc nghiêng nhỏ hơn 30°. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là không thể ổn định được hệ thống khi góc nghiêng của robot là tương đối lớn.

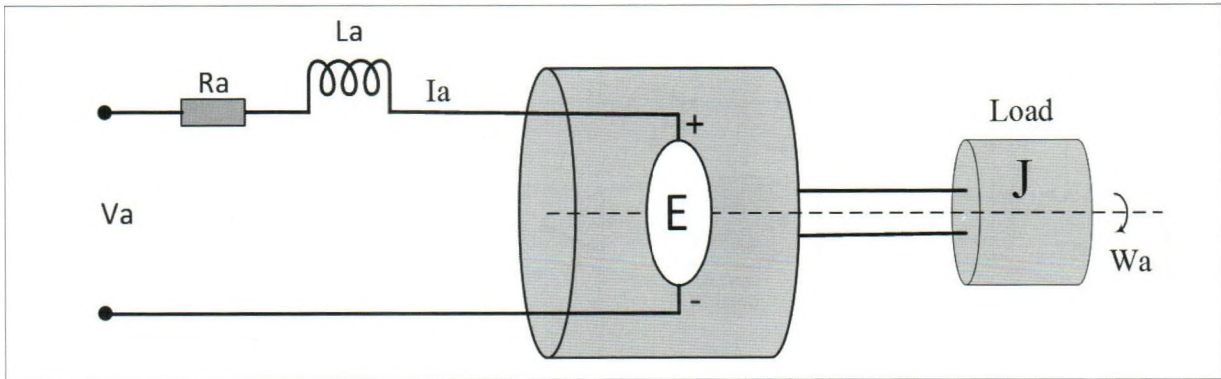
Bên cạnh giải pháp kết hợp PID với các phương pháp điều khiển phi tuyến để điều khiển các đối tượng phức tạp, với sự phát triển mạnh mẽ và nhanh chóng của khoa học kỹ thuật đã cho ra đời nhiều phương pháp điều khiển thông minh, điều khiển mờ được xem là một trong những phương pháp đó. Điều khiển mờ có đặc điểm là phỏng theo quá trình xử lý thông tin và ra quyết định điều khiển giống như con người. Phương pháp này rất thích hợp để điều khiển các đối tượng phức tạp, không xác định được mô hình toán. Tuy nhiên, bộ điều khiển mờ trực tiếp thường được thiết kế dựa vào kinh nghiệm chuyên gia và mang tính “thử sai”, do đó khi gặp các đối tượng phức tạp, người thiết kế sẽ mất rất nhiều thời gian mà kết quả có được lại không tối ưu. Để khắc phục nhược điểm này của bộ điều khiển mờ trực tiếp, đã có nhiều công trình nghiên cứu kết hợp bộ điều khiển mờ với các bộ điều khiển khác nhằm tối ưu hóa chất lượng điều khiển như: điều khiển ổn định tốc độ động cơ DC với bộ điều khiển PID mờ lai [2-4]; kết hợp bộ điều khiển mờ và thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO) để tự chỉnh định và tối ưu hóa các thông số của bộ điều khiển PID, giúp robot bám quỹ đạo cho trước [5]; hay kết hợp 3 bộ điều khiển là trượt - mờ - PID để khắc phục hiện tượng dao động tần số cao của bộ điều khiển trượt [6].

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Mô hình toán học động cơ điện DC

Giả thuyết kích từ động cơ được giữ không đổi, ta có mô hình động cơ DC kích từ độc lập được mô tả trên Hình 1. Ngoài ra, cũng giả thuyết mạch từ động cơ là tuyến tính. (Bảng 1)

Hình 1: Mô hình động cơ DC kích từ độc lập



Bảng 1. Các tham số của động cơ DC kích từ độc lập

STT	Kí hiệu	Ý nghĩa	Đơn vị
1	R_a	Điện trở phần ứng	Ohms (Ω)
2	L_a	Điện cảm phần ứng	H
3	V_a	Điện áp phần ứng	Volt (V)
4	E	Sức phản điện động	Volt (V)
5	n_a	Tốc độ vòng	Vòng/phút (RPM)
6	ω_a	Tốc độ động cơ	Rad/s
7	M	Momen của động cơ	Nm
8	M_c	Momen tải quy đổi về trục động cơ	Nm
9	B	Hệ số ma sát	Nms
10	J	Momen quán tính	Kg-m ²
11	Φ	Từ thông danh định	Vs
12	K	Hằng số động cơ	

Phương trình mạch vòng điện áp cho phần ứng động cơ:

$$V_a = e + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (3.1)$$

Trong đó: $E = K\Phi\omega_a$ (3.2)

Phương trình cân bằng mô men trên trục động cơ:

$$M = M_c + B\omega_a + J \frac{d\omega_a}{dt} \quad (3.3)$$

Trong đó: $M = K\Phi i_a$ (3.4)

Áp dụng biến đổi Laplace, các phương trình (3.1), (3.2), (3.3) và (3.4) trở thành:

$$V_a(s) = E(s) + R_a I_a(s) + L_a s I_a(s) \quad (3.5)$$

$$E(s) = K\Phi\omega_a(s) \quad (3.6)$$

$$M(s) = M_c(s) + B\omega_a(s) + J s \omega_a(s) \quad (3.7)$$

$$M(s) = K\Phi I_a(s) \quad (3.8)$$

Từ (3.5) suy ra:

$$I_a(s) = \frac{(V_a(s) - E(s))R_a^{-1}}{1 + \tau_a s} \quad (3.9)$$

Trong đó: $r_a = L_a/R_a$ là thời hằng phần ứng (thời hằng điện từ) của động cơ.

Từ biểu thức (3.7) suy ra:

$$\omega_a(s) = \frac{(M(s) - M_c(s))B^{-1}}{1 + \tau_m s} \quad (3.10)$$

Trong đó: $r_m = J/B$ là thời hằng cơ của hệ thống.

Thực hiện tiếp tục một vài phép toán đơn giản, ta thu được hàm truyền của động cơ DC như biểu thức (3.11) như sau:

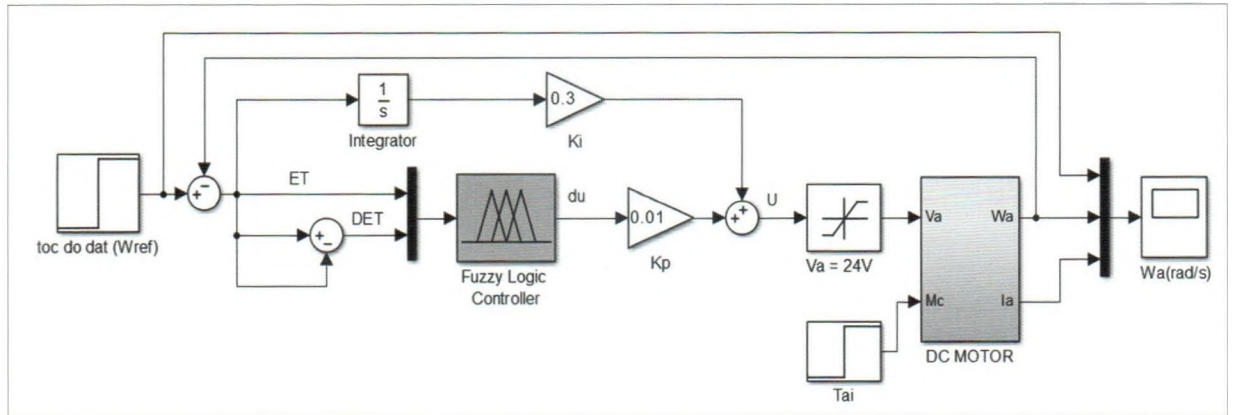
$$\frac{\omega_a(s)}{V_a(s)} \quad (3.11)$$

$$= \frac{K\Phi}{L_a J s^2 + (R_a J + L_a B)s + R_a B + (K\Phi)^2}$$

3.2. Giải pháp đề xuất

Mô hình hệ thống điều khiển ổn định tốc độ động cơ DC với bộ điều khiển thông minh được thiết kế dựa trên nguyên lý được biểu diễn như Hình 2. Áp dụng mô hình mờ Mamdani gồm có 2 ngõ vào và 1 ngõ ra. Trong đó, đầu vào thứ nhất của bộ mờ là sai lệch giữa tốc độ đặt và tốc độ

Hình 2: Sơ đồ điều khiển tốc độ động cơ DC bằng bộ điều khiển thông minh



thực “e(t)”, đầu vào thứ hai của bộ mờ là tốc độ biến thiên theo thời gian $[de(t)/dt]$ của sai lệch tốc độ. Đầu ra của bộ mờ là hệ số chỉnh định điện áp “du”. Căn cứ vào kết quả mô phỏng điều khiển tốc độ với bộ điều khiển PID kinh điển ứng với các giá trị tốc độ và tải khác nhau, ta có thể xác định được miền giới hạn đổi của các biến vào và ra trong hệ thống.

3.2.1. Định nghĩa các biến vào/ra bộ mờ

- Đầu vào: gồm có 2 biến là sai lệch và đạo hàm sai lệch tốc độ.

+ Sai lệch: $ET = (\text{tốc độ đặt}) - (\text{tốc độ đo})$; (chu kỳ lấy mẫu $T = 1s$)

+ Đạo hàm của sai lệch (hay là tốc độ của sự thay đổi)

$$DET = \frac{ET(i) - ET(i-1)}{T}$$

- Đầu ra: một biến Du, là hệ số sai lệch điện áp.

- Số lượng biến ngôn ngữ được chọn là 5, cụ thể: Âm lớn (NB); Âm nhỏ (NS); Zero (Z); Dương nhỏ (PS); Dương lớn (PB).

3.2.2. Xác định tập mờ cho các biến vào/ra

- Miền giá trị các biến vào:

+ Sai lệch $ET \in [-300 \ 300]$

+ Tốc độ của sự thay đổi $DET \in [-0.5 \ 0.5]$

- Miền giá trị biến ra:

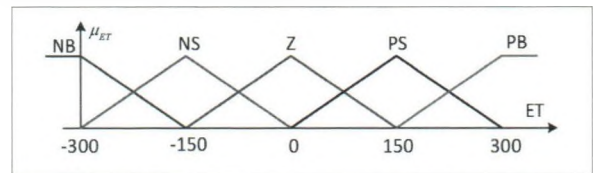
+ Hệ số Du $DU \in [-1 \ 1]$

- Tập mờ các biến vào:

+ Sai lệch $ET = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$

Biểu diễn hàm liên thuộc tập mờ của biến ET như Hình 3.

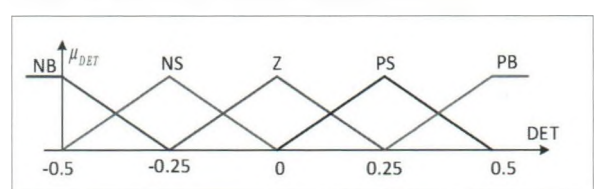
Hình 3: Hàm liên thuộc ngõ vào ET



+ Tốc độ của sự thay đổi $DET = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$

Biểu diễn hàm liên thuộc tập mờ của biến DET như Hình 4.

Hình 4: Hàm liên thuộc ngõ vào DET



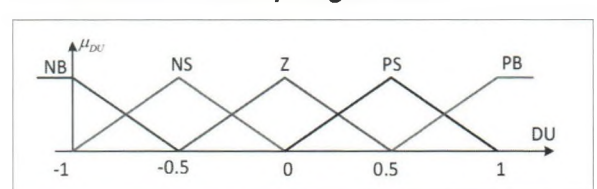
- Tập mờ các biến đầu ra:

+ Áp điều khiển ngõ ra

$DU = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$

Biểu diễn hàm liên thuộc tập mờ của biến DU như Hình 5.

Hình 5: Hàm liên thuộc ngõ ra Du



3.2.3. Xây dựng luật điều khiển

Có tổng cộng $5 \times 5 = 25$ luật IF... Then, các luật hợp thành mờ được thể hiện như Bảng 2.

Bảng 2. Các quy tắc mờ của bộ điều khiển thông minh

Du(output)		Tốc độ của sự thay đổi error (DET)				
		NB	NS	Z	PS	PG
Error (ET)	NB	NB	NB	NS	NS	Z
	NS	NB	NS	NS	Z	PS
	Z	NS	NS	PS	PS	PS
	PS	NS	Z	PS	PS	PB
	PB	Z	PS	PS	PB	PB

- Luật hợp thành mờ: Chọn luật MAX - MIN
- Giải mờ: Theo phương pháp trọng tâm.

4. Kết quả nghiên cứu

Trong phần này, tác giả thực hiện mô phỏng Matlab để đánh giá chất lượng của bộ điều khiển thông minh so với bộ điều khiển PID kinh điển, với giá trị $K_p = 0.33$, $K_i = 1.46$ và $K_d = 0.0185$ được tính toán theo phương pháp Ziegler - Nichols. Các thông số của động cơ DC và giá trị bộ điều khiển PID sử dụng trong mô phỏng được trình bày như Bảng 3.

- Kết quả mô phỏng ở chế độ không tải ($M_c = 0 \text{ Nm}$)

Kết quả mô phỏng khi động cơ không tải được thể hiện như Hình 6 và Hình 7.

Bảng 3. Các thông số động cơ DC

STT	Thông số	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Điện áp nguồn	V_a	24	Volt (V)
2	Công suất	P	30	Watt (W)
1	Điện trở phần ứng	R_a	0.5	ohms
2	Điện cảm phần ứng	L_a	0.015	H
3	Hằng số lực điện động	$k\Phi$	0.05	Nm/A
4	Mômen quán tính của roto	J	0.00025	Kgm^2/s^2
5	Hệ số ma sát của hệ thống cơ	B	0.0001	Nms
6	Điện áp phần ứng	V_a	30	Volt (V)
7	Tốc độ góc tối đa	ω_a	314	Rad/s
8	Tốc độ quay maximum	n_a	3000	Vòng/ph (RPM)
9	Lấy giá trị pi	p	3.14	

Kết quả mô phỏng tốc độ và dòng điện khởi động của động cơ ở chế độ hoạt động không có tải được thể hiện như Hình 6, Hình 7. Dễ dàng thấy được rằng, cả 2 bộ điều khiển đều đạt chất lượng điều khiển rất tốt, với độ vọt lố và sai số xác lập bằng 0, thời gian đáp ứng và thời gian xác lập của 2 bộ điều khiển có độ chênh lệch là không đáng kể. Tuy nhiên, bộ điều khiển thông minh có dòng khởi động rất thấp (gần 7A) và bằng 1/6 dòng khởi động của bộ điều khiển PID. Điều này chứng tỏ bộ điều khiển thông minh cải thiện được dòng điện khởi động, giúp cho hệ thống hoạt động an toàn và tiết kiệm năng lượng hơn.

- Kết quả mô phỏng ở chế độ có tải ($M_c = 0.2 \text{ Nm}$)

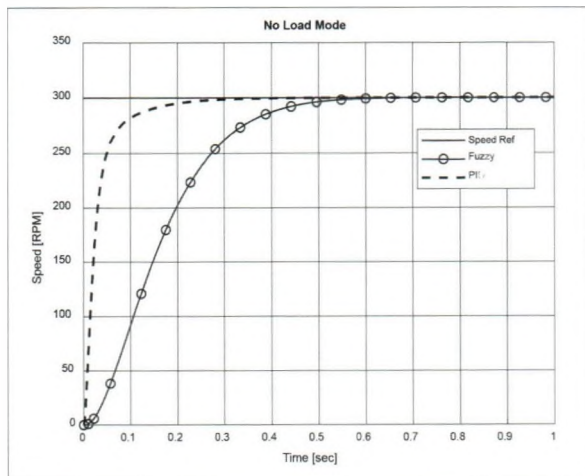
Kết quả mô phỏng khi động cơ có tải được thể hiện như Hình 8 và Hình 9.

Kết quả mô phỏng ở chế độ có tải thể hiện như Hình 8 và Hình 9 cho thấy rằng: tại thời điểm đóng tải, tốc độ động cơ bị giảm xuống, dòng khởi động tăng lên. Điều này là hoàn toàn đúng với thực tế hoạt động của hệ thống. Tuy nhiên, chỉ trong một thời gian ngắn khoảng 0.5 giây, hệ thống đã trở lại ổn định. Điều này chứng tỏ rằng các bộ điều khiển đã hoạt động tốt.

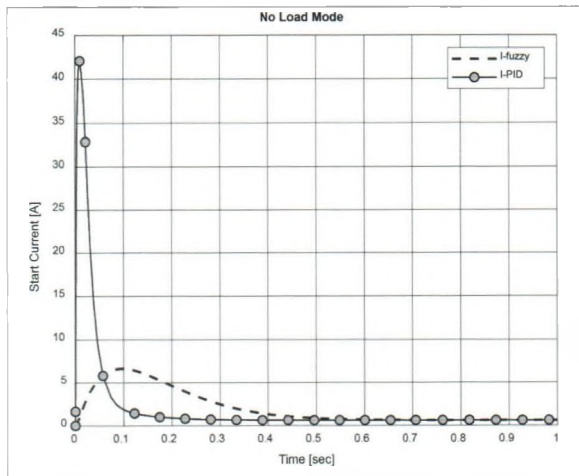
5. Kết luận và khuyến nghị

Bài báo đã nghiên cứu và đề xuất giải pháp cải thiện chất lượng bộ điều khiển PID kinh điển bằng bộ điều khiển thông minh. Điểm nổi bật của nghiên cứu là đã thiết kế và mô phỏng thành công bộ điều khiển thông minh trên cơ sở kết hợp phương pháp điều khiển mờ và PID. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy bộ điều khiển thông minh có thể điều khiển ổn định tốc độ động cơ DC với sai số xác lập gần như bằng 0. Hơn nữa, bộ điều khiển thông minh cải thiện đáng kể về dòng khởi động của động cơ DC so với bộ điều khiển PID thông thường.

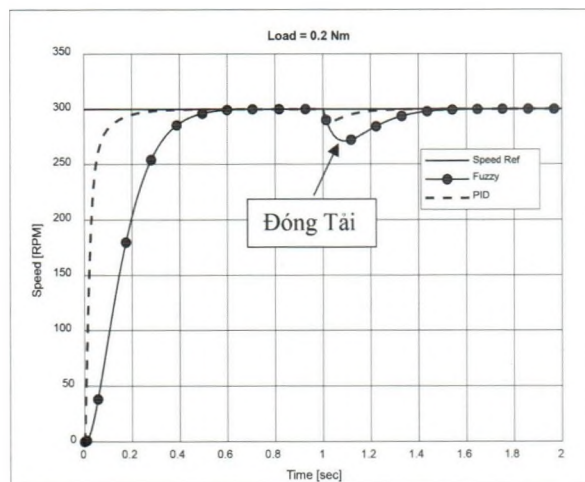
Hình 6: Đáp ứng tốc độ góc không tải của bộ điều khiển PID với bộ điều khiển thông minh



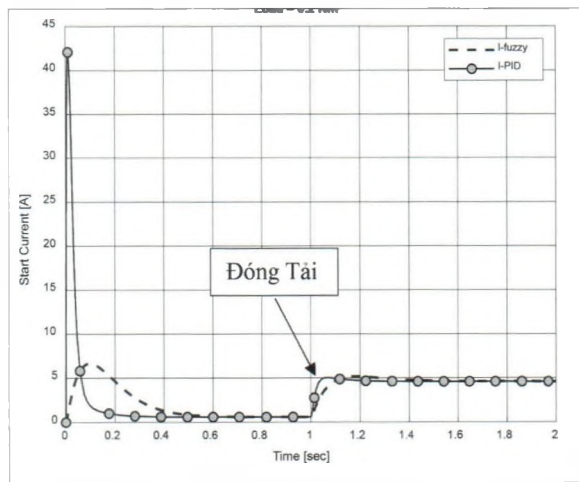
Hình 7: Đáp ứng dòng điện không tải của bộ điều khiển PID so với bộ điều khiển thông minh



Hình 8: Đáp ứng tốc độ chế độ có tải của bộ điều khiển PID và Thông minh



Hình 9: Đáp ứng dòng điện có tải của bộ điều khiển PID và Thông minh



Điều này chứng tỏ rằng sự kết hợp bộ điều khiển PID với bộ điều khiển mờ sẽ đạt được chất lượng điều khiển tuyệt vời, cũng như có thể khắc phục

được nhược điểm của PID và bộ điều khiển mờ trực tiếp, giúp cho hệ thống hoạt động an toàn và tiết kiệm năng lượng ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Nguyen Gia Minh Thao, Duong Hoai Nghia and Nguyen Huu Phuc (2010). A PID backstepping controller for two-wheeled self-balancing robot. *International Forum on Strategic Technology*, 2010, 76-81.
2. Z. X. Ming and L. S. Yu. (2012). Simulation Study on Fuzzy PID Controller for DC Motor Based on DSP. *International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering*, 2012, 1628-1631.

3. A.H. Gomaa Haroun, Yin-ya Li. A. (2017). Novel optimized hybrid fuzzy logic intelligent PID controller for an interconnected multi-area power system with physical constraints and boiler dynamics. *ISA Transactions*, 71, 364-379.
4. Kota, Venkata Reddy & Kommula, Bapayya. (2015). Performance evaluation of Hybrid Fuzzy PI speed controller for Brushless DC motor for Electric vehicle application. Conference on Power, Control, Communication and Computational Technologies for Sustainable Growth (PCCCTSG), 2015, 266-270.
5. Phạm hoàng Quân (2012). *Điều khiển mờ mobile robot dùng thuật toán tối ưu bầy đàn*. Luận văn tốt nghiệp cao học, Trường Đại học Giao thông Vận tải TP. Hồ Chí Minh.
6. Đặng Hữu Phúc (2012). Thiết kế, thi công và điều khiển mờ hệ con nôm ngược. *Tạp chí khoa học Trường Đại học Trà Vinh*, 5, 2-9.

Ngày nhận bài: 8/11/2021

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 8/12/2021

Ngày chấp nhận đăng bài: 18/12/2021

Thông tin tác giả:

TRIÊU QUỐC HUY

Trường Đại học Trà Vinh

USING THE INTELLIGENT CONTROLLER TO CONTROL DC MOTORS SPEED: AN APPLICATION IN THE INDUSTRIAL FIELD

● **TRIEU QUOC HUY**

Tra Vinh University

ABSTRACT:

This study is to design and use an intelligent controller for stable speed control of a DC motor and compare this intelligent controller with the conventional PID controller. Based on Nichol's PID controller design approach, this study performs model analysis and calculates the parameters K_p , K_i , K_d . Then, the study proposes a solution to combine the PID controller with the fuzzy controller to form an intelligent controller. The study process is implemented by Matlab simulation method. The study's results show that the intelligent controller is better than the conventional PID controller in controlling speed of a DC motor. Especially, the starting current of DC motor when using the intelligent controller is only 1/6 of that of PID controller.

Keywords: DC motor modeling, automation control, PID controller, fuzzy control, intelligent control, Hybrid Fuzzy,