

MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM BỘ ĐIỀU KHIỂN PID FUZZY ADAPTIVE CHO ĐỘNG CƠ SERVO DC

Dương Quang Thiện, Nguyễn Công Vinh

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng

Tóm tắt. Động cơ Servo DC được sử dụng rộng rãi đối với nhiều ứng dụng của ngành công nghiệp. Điều khiển tốc độ là yêu cầu phổ biến trong điều khiển công nghiệp với nhiều điều kiện hoạt động khác nhau, ví dụ như khi các tham số không đảm bảo, nhiễu tải... Đối với các bộ điều khiển thông thường, nhóm tác giả chỉnh sửa các thông số của hệ thống mỗi khi thay đổi chế độ làm việc trong thời gian thực. Kỹ thuật thích nghi là phù hợp nhất cho những tình huống này. Bài báo trình bày nghiên cứu về điều khiển tốc độ thực của động cơ Servo DC với thuật toán điều khiển PID Adaptive-fuzzy. Mô phỏng đã được thực hiện trong phần mềm Matlab/Simulink, với việc thành lập cấu hình của bộ điều khiển cho hiệu suất cao ngay cả khi các tham số thay đổi. Sau đó, so sánh kết quả thực nghiệm và mô phỏng để xác định cách điều khiển các tham số tốt nhất. Các mô phỏng và kết quả thực nghiệm được báo cáo trong bài báo này cũng hiệu quả đối với bộ điều khiển trong các điều kiện khác nhau.

Từ khóa. Điều khiển mờ, điều khiển PID, Servo DC, điều khiển thích nghi.

1. GIỚI THIỆU

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất sơ đồ tính toán mềm thông minh của bộ điều khiển thích nghi với các tham số để điều khiển tốc độ động cơ Servo DC. Động cơ Servo DC có thể điều khiển được trong một phạm vi rộng với các đặc tính ổn định và tuyến tính. Để giải quyết các vấn đề phi tuyến và thời gian khác nhau trong quy trình điều khiển tốc độ động cơ Servo DC, một số phương pháp điều khiển thông minh đã được trình bày, chẳng hạn như phương pháp PID thích nghi [3]; phương pháp PID mạng neuron RBF mờ [2]; phương pháp mạng RBF nơ-ron PID [1]; phương pháp PID di truyền [4]; phương pháp PID Adaptive-fuzzy [5]. Tuy nhiên, thời gian đáp ứng của neuron PID lại quá dài, tính phức tạp của ba thuật toán khác lớn hơn và PID Adaptive-fuzzy có sự vượt trội hơn so với PID thông

thường; điều khiển mờ không phụ thuộc vào mô hình toán học chính xác của đối tượng được điều khiển [6], có thể vượt qua được ảnh hưởng của yếu tố phi tuyến tính.

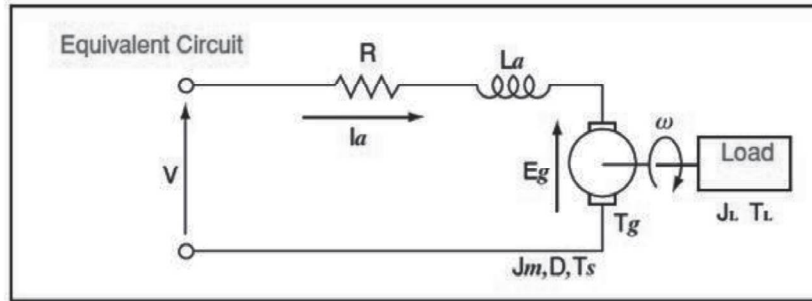
Trên cơ sở đó, chúng tôi mô phỏng và nghiên cứu thực nghiệm một bộ điều khiển PID Adaptive-fuzzy trong hệ thống điều khiển tốc độ động cơ Servo DC. Thông số có thể được điều chỉnh theo thời gian thực. Để cải thiện hiệu suất của hệ thống điều khiển PID Adaptive-Fuzzy, cần tăng số lượng biến đầu vào và các chức năng từng tham số cũng như từng bộ quy luật cho mỗi thông số K_p , K_i và K_d . Bằng cách sử dụng các quy luật nhất định, bộ điều khiển có thể thích ứng với bất kỳ thay đổi nào của các tham số. Đối với bộ điều khiển Fuzzy-PID, chỉ có một quy luật chung được hình thành cho K_p , K_i và K_d . Mục tiêu của bài báo này là cho thấy phản ứng của tốc độ với bộ điều

Điều khiển PID Adaptive-Fuzzy để giữ tốc độ động cơ được ổn định khi tải thay đổi. Kết quả mô phỏng cho thấy hiệu suất của bộ điều khiển PID Adaptive-fuzzy tốt hơn hiệu suất của cả hai phương pháp Fuzzy-PID và

điều khiển PID thông thường.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình hóa toán học của động cơ Servo DC



Hình 1. Mạch điện tương đương của động cơ Servo DC [7]

Mạch điện trên tương ứng với một động cơ Servo DC với tải cố định. Điện áp đầu vào V cân bằng với tổng của sức điện

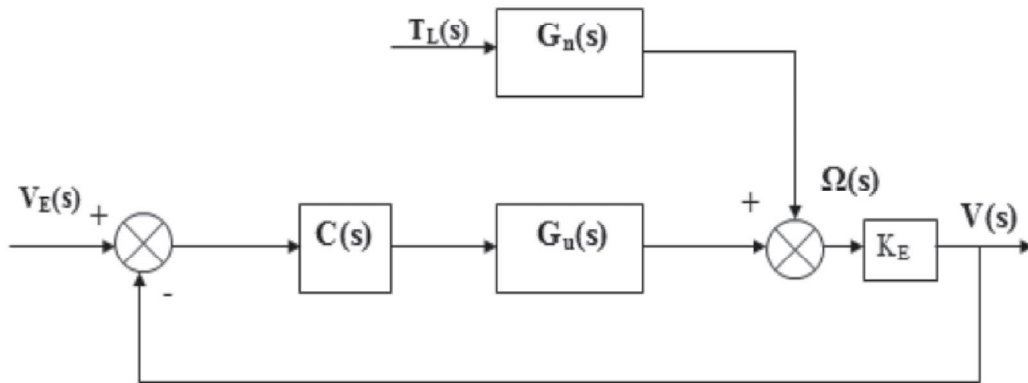
động phản kháng E_g , điện áp trên điện trở phản ứng R và điện áp trên điện cảm phần ứng L_a .

Bảng 1. Các thông số cơ bản của động cơ

V	Điện áp đầu vào [V]
R	Điện trở phần ứng [1.1Ω]
L_a	Điện cảm phần ứng [0.9mH]
E_g	Sức phản điện động [V] ($= K_E \cdot \omega$)
ω	Vận tốc góc [rad/s]
J_m	Moment quán tính của động cơ [$0.157 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$]
D	Hệ số giảm xóc của động cơ [N.m.s/rad]
T_f	Moment xoắn ma sát [$1.7 \times 10^{-2} \text{ N.m}$]
T_g	Moment xoắn khởi tạo [N.m]
J_L	Moment của tải chuyển đổi về trục động cơ
T_L	Moment xoắn ma sát của tải chuyển đổi về trục động cơ
K_E	Hệ số điện áp (0.06 V.s/rad)
K_T	Hệ số moment xoắn [$5.7 \times 10^{-2} \text{ N.m/A}$]

Length	4.3 m
Width	1.7 m
Height	1.4 m
Body weight	1048 kg
Engine	1.3 L
Power net	59 HP/5000

Trong quá trình mô phỏng chúng tôi giả thiết xem xét động cơ Servo DC riêng biệt. Các phương trình mô tả trạng thái động của động cơ Servo DC được cho bởi:



Hình 2. Sơ đồ khối của hệ thống điều khiển tốc độ động cơ

- Tốc độ đầu ra:

$$V(s) = \frac{1}{K_T} \cdot S \cdot J (S \cdot L_a + R) + K_E \cdot \Omega(s) + \frac{S \cdot L_a + R}{K_T} T_L(s)$$

- Điện áp đầu vào:

$$\Omega(s) = \frac{K_T}{SJ(SL_a + R) + K_E K_T} V(s) + \frac{-(SL_a + R)}{SJ(SL_a + R) + K_E K_T} T_L(s)$$

$T_L(s)$

Theo đó điện áp ra hay tốc độ đầu ra phụ thuộc vào điện áp đầu vào và momen của tải.

- Hàm truyền của động cơ:

$$G_n(s) = \frac{-(sL_a + R) / K_E K_T}{(sT_m + 1)(sT_e + 1)} \quad (1)$$

- Hàm truyền của

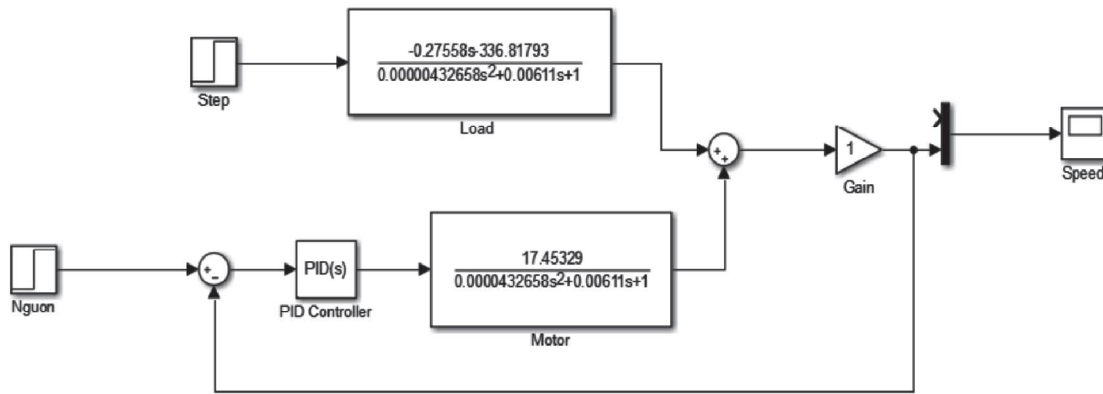
$$\text{tải: } G_u(s) = \frac{1/K_E}{(sT_m + 1)(sT_e + 1)} \quad (2)$$

$$\text{Với } T_m = \frac{RJ}{K_E K_T} \text{ và } T_e = \frac{L_a}{R}$$

Mặt khác từ phương trình quan hệ giữa đầu vào $e(t)$ và đầu ra $u(t)$ qua bộ điều khiển PID, ta có được hàm truyền đạt sau:

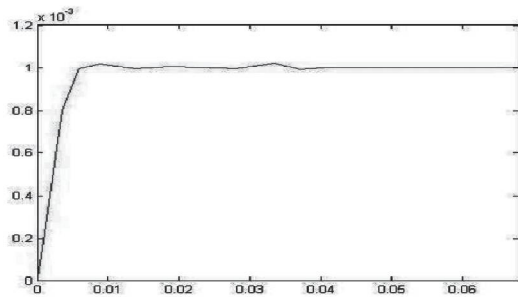
$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

$$\Rightarrow C(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s = K \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right) = \frac{U(s)}{E(s)}$$



Hình 3. Mô hình bộ điều khiển PID trong Matlab Simulink

Để xác định các thông số K_p , K_i , K_d bộ điều khiển PID, chúng ta xây dựng mô hình hệ thống trong Matlab Simulink như Hình 3. Có nhiều phương pháp để xác định các thông số của bộ điều khiển PID như điều chỉnh thủ công, Ziegler - Nichols, các công cụ phần mềm, Cohen - Coon. Trong nghiên cứu này để đảm bảo độ chính xác ta sử dụng chức năng PID Tuner trong Matlab Simulink.

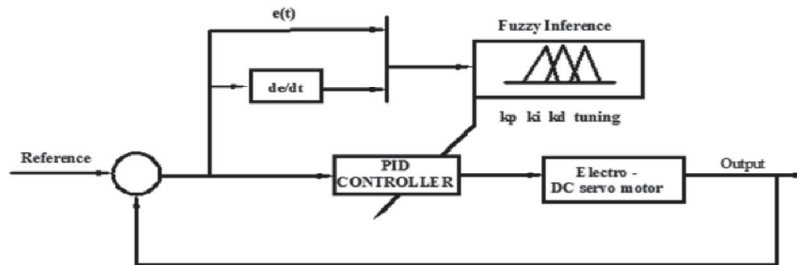


Hình 4. Đáp ứng tốc độ đầu ra

2.2. Thiết kế bộ điều khiển Fuzzy-PID thích nghi

Bộ điều khiển PID Fuzzy thích nghi được sử dụng trong bài báo này dựa trên hai đầu vào và ba đầu ra. Cấu trúc tổng thể của bộ điều khiển được thể hiện trong hình 5. Bộ điều khiển Fuzzy - PID có ba đầu ra là K_p , K_i và K_d . Tốc độ (E) và gia tốc (CE) dưới dạng đầu vào điều khiển mờ và đầu ra mờ là ΔK_p ; ΔT_i và ΔT_d . Với $\Delta K_p = K_p \cdot \Delta K_p$; $\Delta T_i = T_i \cdot \Delta T_i$ và $\Delta T_d = T_d \cdot \Delta T_d$.

Trong quá trình nghiên cứu, chúng tôi sử dụng thuật toán lý luận can thiệp mờ của Mamdani và độ phân giải mờ bằng cách sử dụng phương pháp trọng tâm. Sau đó, có thể thu được đầu ra của ΔK_p , ΔT_i , ΔT_d bởi độ phân giải mờ.

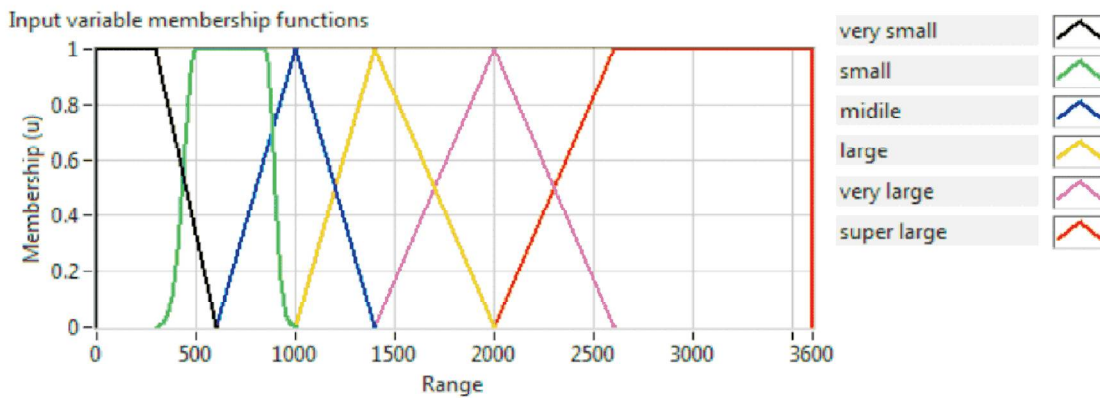


Hình 5. Mô hình bộ điều khiển Fuzzy-PID Adaptive trong Matlab Simulink

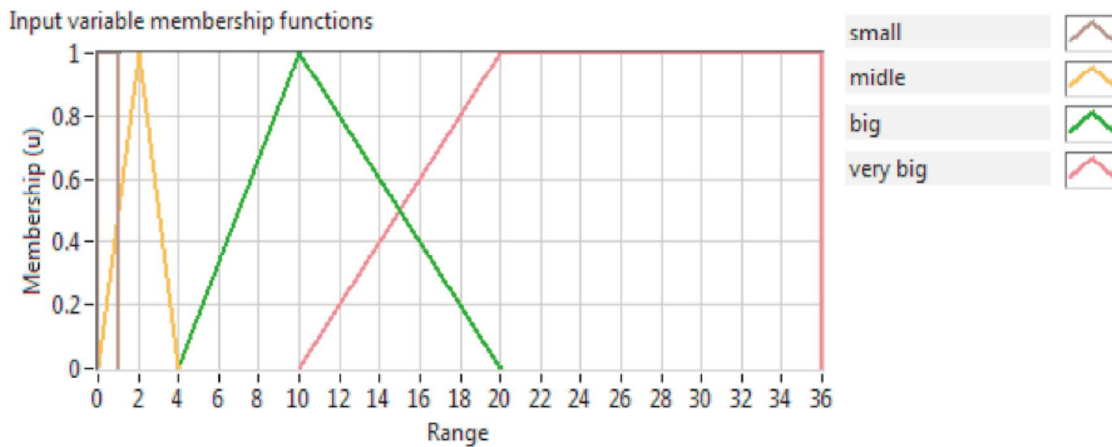
Các biến ngôn ngữ đầu vào và đầu ra đã được phân loại là: very small; small; middle; large; very large và super large. Biến đầu vào tốc độ trong khoảng $[0 \div 3600]$; gia tốc trong khoảng $[0 \div 36]$; biến đầu ra ΔK_p trong khoảng $[0.005 \div 0.009]$; ΔT_i trong khoảng $[0.001 \div 0.005]$ và được tổng hợp trong Bảng 2.

Bảng 2. Bảng luật điều khiển mờ

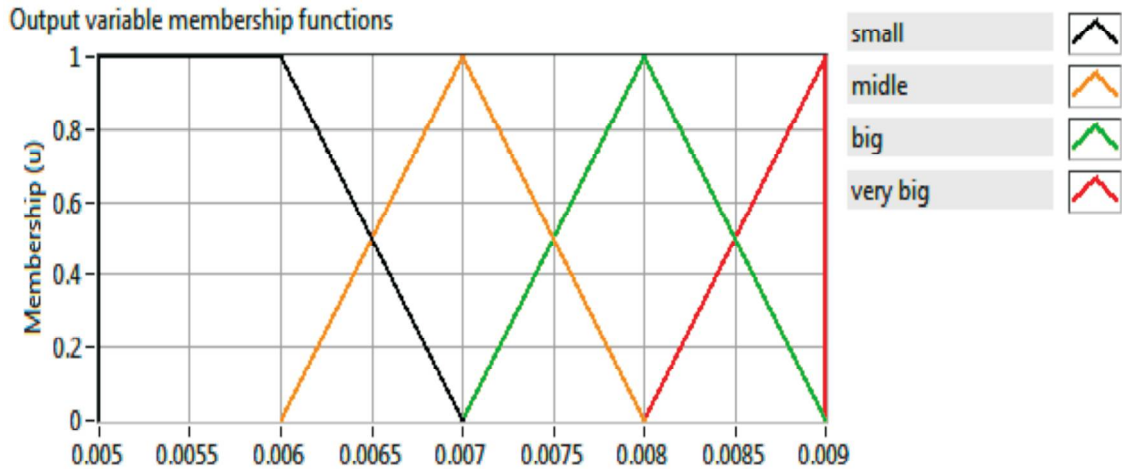
$de(t)\backslash e(t)$	Very Small	Small	Middle	Large	Very Large	Super Large
Small	Small	Small	Middle	Middle	Big	Big
Middle	Small	Small	Middle	Big	Big	Big
Big	Small	Middle	Middle	Big	Big	Very Big
Very Big	Small	Middle	Big	Big	Very Big	Very Big



Hình 6. Quy luật thay đổi tốc độ



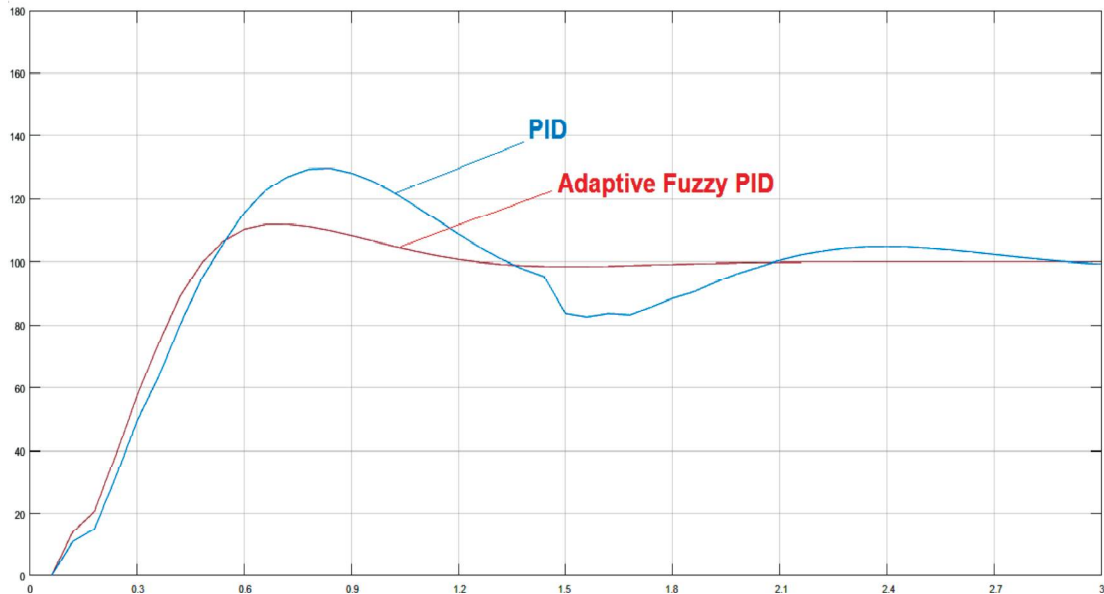
Hình 7. Quy luật thay đổi gia tốc



Hình 8. Quy luật thay đổi biến K_p

2.3. Kết quả thực nghiệm và bàn luận

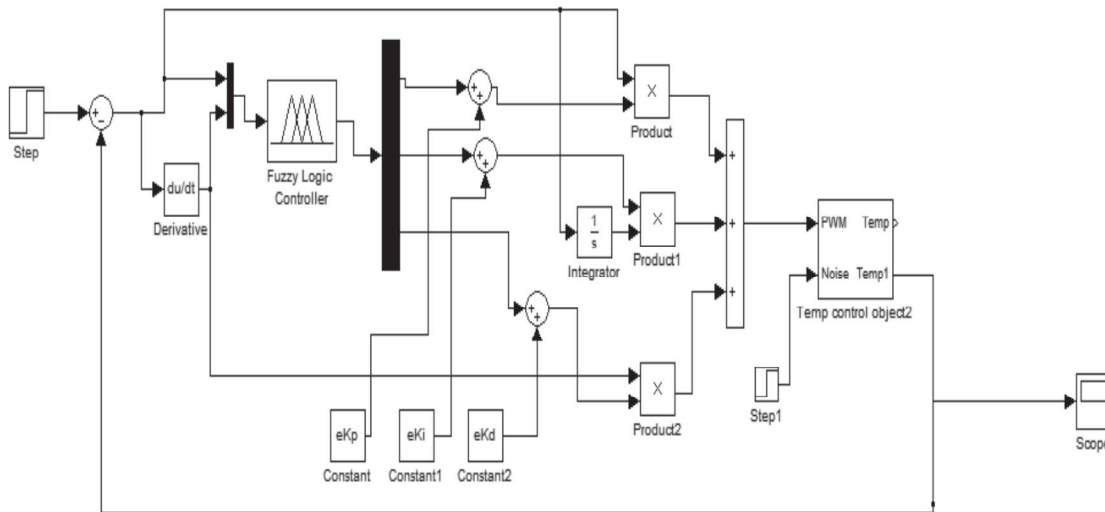
2.3.1. Mô phỏng Adaptive Fuzzy-PID



Hình 9. Phản ứng của động cơ Servo DC bằng PID Adaptive-fuzzy và PID thông thường

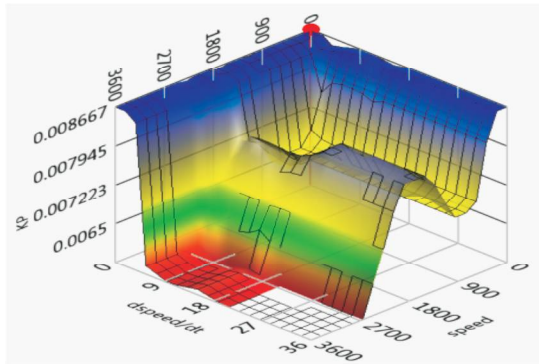
Hình 9 cho thấy hiệu suất của bộ điều khiển PID Adaptive-fuzzy và điều khiển PID thông thường của động cơ Servo DC ở tốc độ 1000 vòng/phút với cùng điều kiện tải trọng bằng cách sử dụng mô phỏng trên Matlab. Chúng tôi nhận thấy được các đặc

điểm của bộ điều khiển PID Adaptive-fuzzy có ưu thế hơn so với bộ điều khiển PID thông thường. Tất cả các tín hiệu đi vào bộ điều khiển PID Adaptive-fuzzy tạo ra các quy luật để điều khiển tốc độ của động cơ.



Hình 10. Sơ đồ khối của bộ điều khiển PID Adaptive-fuzzy điều khiển động cơ

Giá trị đầu vào và phạm vi điều khiển của tốc độ và gia tốc lần lượt như sau $0 \div 3600$ (vòng/phút); $0 \div 36$ (rad/s^2).



Hình 11. Quan hệ đầu vào - ra của bộ điều khiển mờ động cơ Servo DC

Hình 11 chỉ ra mối quan hệ giữa đầu vào và đầu ra khi điều khiển tốc độ động cơ Servo DC. Các biến thể của tốc độ và gia tốc trong hình này giúp chúng ta tìm ra điểm tối ưu của tham số PID.

2.3.2. Chương trình phần cứng và phần mềm

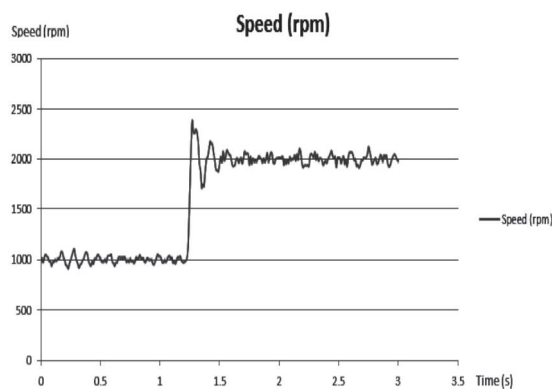
Chương trình cấu trúc phần cứng trong bài báo này được hiển thị trong Hình 12. Mô hình thực nghiệm của hệ thống gồm có

động cơ servo DC của TAMAGAWA TS 3761 có gắn kèm cảm biến tốc độ Encoder, nguồn acqui 12V. Sử dụng cổng đầu ra PWM và đầu vào kết nối với bộ mã hóa MyRIO. Tiếp đến, MyRIO gửi tín hiệu đến máy dò lỗi để điều khiển tốc độ của động cơ. Đồng thời, năng lượng của mạch phần cứng được chỉ định trên bảng điều khiển giúp chúng tôi điều khiển tốc độ quay của động cơ Servo DC và phân tích phản ứng hệ thống và được thể hiện trên Hình 12.

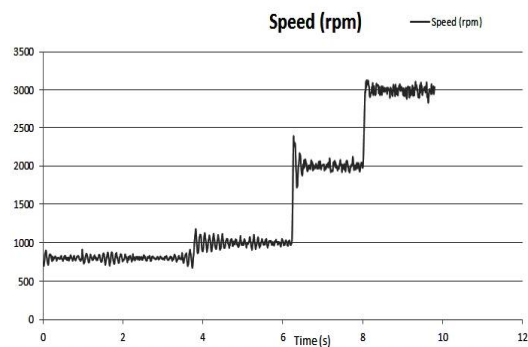


Hình 12. Mô hình thực nghiệm kết nối với màn hình

Hình 13 và hình 14 chỉ ra kết quả đáp ứng tốc độ. Thời gian tăng của quá trình điều khiển tương tự như mô phỏng khoảng 0.5 giây. Nhưng trong mô hình thí nghiệm, có một số nhiễu và độ lệch tĩnh cao hơn giá trị mô phỏng. Trong hình 13, quá trình thay đổi tốc độ thay đổi từ 1000 vòng/phút đến 2000 vòng/phút. Sự liên tục của phản ứng tốc độ nằm trong khoảng 800 vòng/phút và 3000 vòng/phút.



Hình 13. Phản ứng của tốc độ động cơ Servo DC



Hình 14. Tốc độ thay đổi như mong muốn

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Andrei Cozma, Dan Pitica (2014), Artificial Neural Network and PID Based Control System for DC Motor Drives, *International Conference on Advanced Logistics and Transport*, p. 270.

3. KẾT LUẬN

Trong quá trình mô phỏng và thực nghiệm trên mô hình, chúng tôi đã trình bày các thuật toán vận hành cho bộ điều khiển PID Adaptive-fuzzy về tốc độ. Kết quả nghiên cứu tập trung chủ yếu vào động cơ Servo DC và làm thế nào để điều khiển tốc độ theo mong muốn. Dựa trên lý thuyết về điều khiển mờ và PID thông thường, chúng tôi sử dụng phần cứng MyRIO để điều khiển phản ứng tốc độ với thiết kế nhanh bằng chức năng của các biến. Sự kết hợp của Matlab/Simulink và Labviews có thể xác minh kết quả giữa thực nghiệm và mô phỏng. Bằng cách mô phỏng, phương pháp này cho giá trị gần đúng với kết quả thực nghiệm.

Với kết quả nghiên cứu lý thuyết kết hợp với thực nghiệm, phương pháp điều khiển này đã mang lại những kết quả tốt hơn về tốc độ với sự thay đổi ngẫu nhiên của tải. Tuy nhiên, phương pháp này vẫn còn có một số nhiễu và chỉ chính xác trong điều kiện xác lập. Vì vậy trong thời gian đến, chúng tôi sẽ thiết kế lại mô hình với các quy luật mới của dữ liệu mờ để kiểm chứng và hiệu chỉnh lại sao cho phù hợp với các thông số đã tính toán được. Trên cơ sở đó, sẽ nghiên cứu phát triển cho động cơ vận hành trong các điều kiện quá độ như khởi động, hãm dừng, quay ngược.

[2] Ping Xue, Haichao Wang, Juanjuan Hou, Wenchao Li (2012), Based on the Fuzzy-PID brushless DC motor control system design, *in 2012 International Conference on Measurement, Information and Control (MIC)*, p.703.

- [3] R. Kandiban, R. Arulmozhiyal (2012) Design of Adaptive Fuzzy-PID Controller for Speed control of BLDC Motor, *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, p. 386.
- [4] Xiao-Yun Lu and Karl Hedrick (2014), Longitudinal control algorithm for automated vehicle merging, *International Journal of Control*, vol 76(2), p. 193-202.
- [5] Y. Shiao, Y.Zou, and B.M.Chang (2015), Simulation of the Fuzzy-PID control system for brushless dc motors based on Matlab, p. 1850.
- [6] Jinjin He, Zhiqin He (2010), Research of Brushless DC Motor Control Based on Fuzzy-PID Algorithm[J], *Machinery & Electronics*, 7(1): 80-82.
- [7]SERVO DCMOTORS/DC MOTORS, Catalogue No.T12-1633N1, Motortronics, Tamagawa Seiki CO.,LTD.

MODELISATION AND EXPERIMENT THE PID FUZZY ADAPTIVE DEVICE FOR SERVO DC MOTOR

Abstract. *DC servo motors have been widely used in many applications of industry. Speed control is popular requirement in industrial controller with many operating condition i.e. parameter uncertainty, load disturbance etc. For conventional controllers, we need fix the parameters of the system so that we have not been successful for real time applications. Adaptive techniques are the best suited for these situations. This paper presents the study on speed control of real DC servo motor are applied the algorithm of adaptive Fuzzy-PID controller. The model has been carried out in MATLAB/SIMULINK with the configuration of controller that has also been observed for robust performance against variations of parameter and uncertainties. After that, Comparison of experience and simulation to determine the best way of parameter controller for model. The simulation and experience results reported in this paper perform the effectiveness of the proposed controller against varying operationg conditions.*

Keywords: *Fuzzy control, PID control, DC servo, Adaptive control.*

Liên hệ:

Dương Quan Thiện,

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng, 48 Cao Thắng, Hải Châu, Đà Nẵng.