

THỰC THI BỘ ĐIỀU KHIỂN LOGIC MỜ CHO ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP SỬ DỤNG MÁY TÍNH CÁ NHÂN VÀ VI ĐIỀU KHIỂN AVR ATMEGA16

ĐỖ THANH TÙNG

Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

PHẠM HỮU ĐỊNH

Cục Quản lý Xây dựng công trình, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn

NGUYỄN THANH SƠN, NGUYỄN THẾ CÔNG

Viện Điện, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Ngày nay, có rất nhiều loại động cơ ra đời nhưng động cơ điện một chiều vẫn được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp do loại động cơ này có chất lượng điều khiển cao. Hơn thế nữa, hệ thống truyền động của động cơ đơn giản và dễ dàng triển khai các thuật toán điều khiển mờ. Bài báo này trình bày các bước thực thi hệ thống điều khiển mờ cho động cơ điện một chiều kích từ độc lập. Ưu điểm của bộ điều khiển mờ là ở chỗ thuật toán điều khiển không đòi hỏi mô hình toán học của đối tượng điều khiển và dựa chủ yếu trên kinh nghiệm của người vận hành. Bộ điều khiển mờ được thiết kế bằng cách sử dụng máy tính cá nhân và vi điều khiển thông dụng AVR Atmega16. Máy tính cá nhân làm việc như một hệ thống đo lường và điều khiển ảo. Trong khi đó, vi điều khiển làm nhiệm vụ truyền thông theo tiêu chuẩn RS232. Bên cạnh đó, bài báo so sánh kết quả thực nghiệm khi sử dụng bộ điều khiển mờ và bộ điều khiển PID kinh điển. Kết quả thực nghiệm cho thấy bộ điều khiển mờ giảm được đáng kể độ quá hiệu chỉnh của tốc độ động cơ so với phương pháp sử dụng bộ điều khiển PID kinh điển.

Từ khóa: động cơ một chiều, bộ điều khiển mờ, máy tính cá nhân, vi điều khiển.

Giới thiệu

Tốc độ của động cơ điện một chiều có thể được hiệu chỉnh trong một dải rộng. Hệ thống điều khiển động cơ một chiều là hệ một vào - một ra (SISO/Single Input-Single Output) do hệ có một đầu vào là điện áp phân ứng và một đầu ra là tốc độ của động cơ [1]. Bộ điều khiển PID (tỷ lệ - tích phân - vi phân) tuyến tính là thuật toán điều khiển phổ biến nhất để tự động điều khiển tốc độ của động cơ một chiều theo sự thay đổi của tải. Tuy nhiên, phương pháp này yêu cầu mô hình toán học của động cơ (các thông số của động cơ như điện trở, điện cảm và mô men quán tính) hoặc dựa trên thực nghiệm như phương pháp Ziegler - Nichols [2]. Động cơ là một đối tượng điều khiển phi tuyến. Do đó, các bộ

điều khiển PID tuyến tính chỉ cho phép động cơ làm việc tốt trong một phạm vi nhất định.

Các bộ điều khiển mờ bắt nguồn từ lý thuyết tập mờ ra đời từ năm 1965 được sử dụng cho các hệ điều khiển phi tuyến. Ngày nay, logic mờ được ứng dụng rộng rãi cho các thiết bị điện và điện tử như máy ảnh số tự động chỉnh nét, máy giặt, máy rửa bát và trong công nghiệp ô tô... Ứng dụng logic mờ trong điều khiển động cơ một chiều không phải là mới với các nghiên cứu thuần túy mô phỏng [1, 3] hoặc thực thi sử dụng các bộ xử lý tín hiệu số (DSP/Digital Signal Processor) [4] hoặc các bộ thu thập dữ liệu (DAQ/Data Acquisition Device) với các công cụ điều khiển mờ tích hợp sẵn trong phần mềm [5]. Nhìn chung, các hệ điều khiển này có giá thành

IMPLEMENTATION OF FUZZY LOGIC CONTROLLER FOR A SEPARATELY EXCITED DC MOTOR USING PERSONAL COMPUTER AND AVR ATMEGA16 MICROCONTROLLER

Summary

Today, despite of the development of various types of electric motors, traditional DC motors are still widely used in industry as this type of motors has a high control quality. Moreover, the motor driven system are simple and easy to deploy novel control algorithms. This paper describes steps of implementing a fuzzy logic controller for speed control of a separately excited DC motor. The main advantage of the fuzzy control algorithm is that it does not require the mathematical model of the controlled system and is mainly based on operator's experience. The fuzzy logic controller is designed by using a personal computer (PC) and a low-cost AVR Atmega16 microcontroller. In particular, the PC can be seen as a virtual measurement and control system. Meanwhile, the microcontroller is responsible for a RS232 communication protocol. In addition, an experimental comparison between the PID controller-based method and fuzzy logic controller-based method is also mentioned in details. Experimentally, the overshoot of the speed response of the motor can be reduced significantly compared to using of the traditional PID controller.

Keywords: DC motor, fuzzy logic controller, personal computer, microcontroller.

cao do chi phí đáng kể của phần cứng và phần mềm. Đóng góp của bài báo này là ở chỗ các tác giả đã xây dựng một hệ thống điều khiển mờ động cơ điện một chiều sử dụng PC và vi điều khiển thông dụng giá thành thấp AVR Atmega16. PC được sử dụng như một bộ đo lường và điều khiển ảo với giao diện tiện lợi cho quá trình giám sát hệ thống. Vi điều khiển AVR Atmega16 được lập trình để thực hiện giao thức truyền thông RS232 (Recommended Standard 232).

Các tác giả thực thi hệ truyền động cho động cơ điện một chiều sử dụng bộ điều khiển PID tuyến tính và bộ điều khiển logic mờ (Fuzzy logic controller). Ngoài ra, các tác giả còn tiến hành phân tích và so sánh kết quả thực nghiệm thu được từ hai phương pháp này.

Mô hình động cơ điện một chiều kích từ độc lập

Đối với động cơ điện một chiều kích từ độc lập, cuộn dây kích từ được cấp bởi một điện áp một chiều không đổi. Do đó, dòng điện kích từ có thể xem như là một hằng số. Mô hình của động cơ khi đó bao gồm các phương trình sau:

$$u_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t) \tag{1}$$

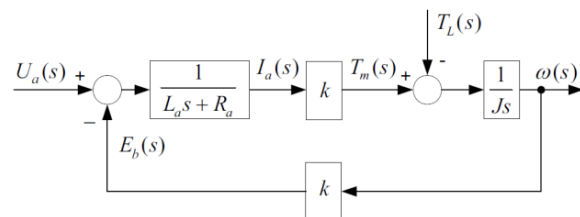
$$e_b(t) = k\omega(t) \tag{2}$$

$$T_m(t) = k i_a(t) \tag{3}$$

$$\frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{T_m(t) - T_L(t)}{J} \tag{4}$$

Trong đó: $u_a(t)$: điện áp phần ứng; $i_a(t)$: dòng điện phần ứng; $e_b(t)$: điện áp cảm ứng; $\omega(t)$: vận tốc góc; $T_m(t)$: mô men điện từ; $T_L(t)$: mô men tải; R_a : điện trở phần ứng; L_a : điện cảm phần ứng; J : mô men quán tính; K : hằng số động cơ.

Dựa trên các phương trình từ (1) đến (4) ta có sơ đồ khối mô hình toán học của động cơ điện một chiều kích từ độc lập như hình 1.



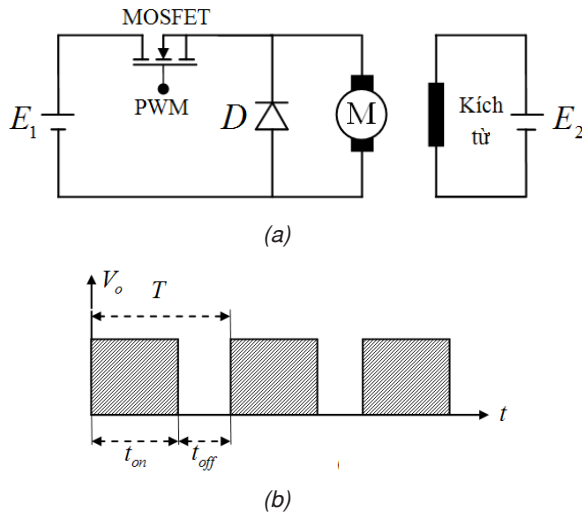
Hình 1: sơ đồ khối của động cơ điện một chiều kích từ độc lập

Hình 2(a) giới thiệu sơ đồ mạch động lực điều khiển tốc độ động cơ một chiều kích từ độc lập sử dụng phương pháp băm xung một chiều (DC chopper) cho góc phần tư thứ nhất. Hình 2(b) giới thiệu nguyên lý làm việc của phương pháp điều biến độ rộng xung (PWM/Pulse Width Modulation). Đối với phương pháp này, chu kỳ đóng cắt của khóa MOSFET là T không đổi. Khi thời gian mở của khóa MOSFET là t_{on} thay đổi, điện áp trung bình V_o đặt lên phần ứng của động cơ được

tính như sau:

$$V_o = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} E_1 = \frac{t_{on}}{T} E_1 = DE_1 \quad (5)$$

Trong phương trình (5), D là 'duty circle' đơn vị là %. Trong thực tế, khi sử dụng các khóa điện tử là MOSFET hay IGBT thì tần số băm xung khoảng vài chục đến hàng trăm kHz cùng với điện cảm của phần ứng động cơ khá lớn nên dòng phần ứng là liên tục.

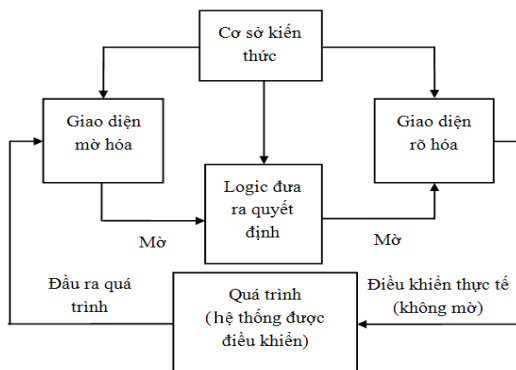


Hình 2: mạch động lực điều khiển động cơ theo phương pháp băm xung - góc phần tư thứ nhất: (a) Mạch động lực, (b) Nguyên lý điều biến độ rộng xung

Điều khiển tốc độ động cơ sử dụng logic mờ

Khái niệm về điều khiển mờ động cơ

Để đạt được khả năng làm việc tốt nhất cho toàn bộ hệ thống điều khiển động cơ, bộ điều khiển mờ được thay thế cho bộ điều khiển PID kinh điển. Sơ đồ khối của một bộ điều khiển mờ được trình bày trên hình 3.



Hình 3: sơ đồ khối của một bộ điều khiển mờ

Các khối của một bộ điều khiển mờ bao gồm:

1) Giao diện mờ hóa (Fuzzification interface) bao gồm các chức năng sau:

- Đo các giá trị của biến đầu vào.

- Định lại tỷ lệ của dải giá trị biến vào thành dải giá trị tương ứng của các biến ngôn ngữ đi kèm với các hàm liên thuộc. Mỗi hàm liên thuộc của biến vào và ra được gán với các nhãn là các từ viết tắt tiếng Anh ví dụ như là NB (Negative Big), NS (Negative Small), ZZ (Zero), PS (Positive Small), PB (Positive Big).

2) Cơ sở kiến thức (Knowledge base) bao gồm:

- Cơ sở dữ liệu (Data base) với những định nghĩa cần thiết được sử dụng để đưa ra các quy tắc điều khiển ở dạng ngôn ngữ và thao tác dữ liệu mờ trong bộ điều khiển mờ.

- Cơ sở quy tắc (Rule base) đặc trưng cho mục đích điều khiển và kinh nghiệm chuyên gia thể hiện qua tập các quy tắc điều khiển dưới dạng ngôn ngữ.

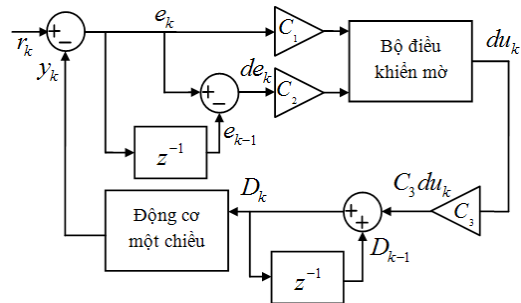
3) Logic tạo quyết định (Decision making logic) là cốt lõi của bộ điều khiển mờ. Khâu này mô phỏng quyết định của chuyên gia dựa trên các khái niệm mờ và suy diễn các hoạt động điều khiển mờ bằng cách sử dụng các quy tắc kéo theo và các quy tắc suy luận mờ.

4) Dao diện rõ hóa (Defuzzification interface) bao gồm các chức năng sau:

- Định lại tỷ lệ dải giá trị biến đầu ra sang không gian ngôn ngữ (universe of discourse).

- Rõ hóa các hoạt động điều khiển mờ được suy luận thành các hoạt động điều khiển không mờ.

Sơ đồ khối của điều khiển logic mờ cho động cơ điện một chiều có dạng như hình 4.



Hình 4: sơ đồ khối của bộ điều khiển mờ động cơ điện một chiều

Trong đó: r_k là tốc độ tham chiếu tại thời điểm lấy mẫu thứ k ; y_k là tốc độ của động cơ tại thời điểm lấy mẫu thứ k ; $e_k = r_k - y_k$ là sai lệch tốc độ tại thời điểm lấy mẫu thứ k ; e_{k-1} là sai lệch tốc độ tại thời điểm lấy

mẫu thứ $k-1$; $de_k = e_k - e_{k-1}$ là thay đổi của sai lệch e_k tại thời điểm lấy mẫu thứ k ; du_k là đầu ra của bộ điều khiển mờ và được gọi là thay đổi của 'duty circle' trong một chu kỳ T ; các hệ số $C1, C2$ và $C3$ được xác định trong quá trình thực nghiệm.

'Duty circle' tại thời điểm lấy mẫu thứ k là $D_k = D_{k-1} + C_3 du_k$ với D_{k-1} là 'duty circle' tại thời điểm lấy mẫu thứ $k-1$.

Ta có bảng các quy tắc như bảng 1 với 25 quy tắc. Tại một thời điểm nhất định, một số quy tắc có thể được trình bày như sau: nếu e_k là PB và de_k là NB thì du_k là ZZ; nếu e_k là PB và de_k là NS thì du_k là PS; nếu e_k là PB và de_k là ZZ thì du_k là PS; nếu e_k là PB và de_k là PS thì du_k là PB; nếu e_k là PB và de_k là PB thì du_k là PB.

Bảng 1: bảng các quy tắc

		de				
		NB	NS	ZZ	PS	PB
e	PB	ZZ	PS	PS	PB	PB
	PS	NS	ZZ	PS	PS	PB
	ZZ	NS	NS	ZZ	PS	PS
	NS	NB	NS	NS	ZZ	PS
	NB	NB	NB	NS	NS	ZZ

Tập mờ đầu của bộ điều khiển mờ được rõ hóa bằng phương pháp trọng tâm (COA/Centre of Area) như sau:

$$du_{COA} = \frac{\sum_i \mu(du(i)) \times du(i)}{\sum_i \mu(du(i))} \quad (6)$$

Ở đây: $du(i)$ là giá trị thứ i của biến du ; $\mu(du(i))$ là giá trị của hàm liên thuộc ứng với giá trị thứ i của biến du ; du_{COA} là giá trị của du sau khi được làm rõ hóa bằng phương pháp trọng tâm.

Các bước thực thi bộ điều khiển

Bước 1: định lại tỷ lệ dải các đầu vào đo được nằm trong khoảng từ 0 đến 255. Đối với đầu vào e và de ta có các giá trị sau khi định lại tỷ lệ X_1 và X_2 lần lượt như sau:

$$X_1 = 8,5(e+15)$$

$$X_2 = 85(de+1,5)$$

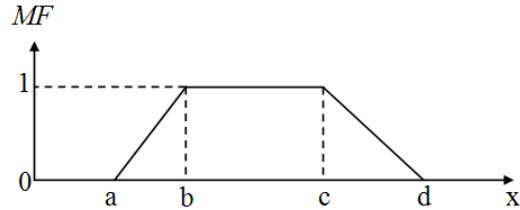
Bước 2: định nghĩa hàm liên thuộc hình thang tổng quát:

Nếu $x \leq a$ hoặc $x \geq d$ thì $MF = 0$

Nếu $x > a$ và $x \leq b$ thì $MF = (x-a)/(b-a)$

Nếu $x \leq b$ và $x > c$ thì $MF = 1$

Nếu $x > c$ và $x \leq d$ thì $MF = (x-d)/(c-d)$



Hình 5: hàm liên thuộc hình thang tổng quát

Xây dựng các hàm liên thuộc của các biến vào và ra với các giá trị của a, b, c và d tương ứng. Lưu ý, hàm liên thuộc hình tam giác chỉ là một trường hợp riêng của hàm liên thuộc hình thang với $b = c$.

Bước 3: xây dựng chương trình để xác định giá trị MAX và MIN của hai số.

Bước 4: tìm giá trị MIN của 25 cặp biến vào e và de .

Bước 5: tìm giá trị MIN của giá trị MIN ở bước 4 và các giá trị của hàm liên thuộc đầu ra.

Bước 6: xác định giá trị MAX của 25 giá trị đầu ra.

Bước 7: giải mờ theo phương pháp trọng tâm như phương trình (6).

Bước 8: định lại tỷ lệ cho biến ra như sau:

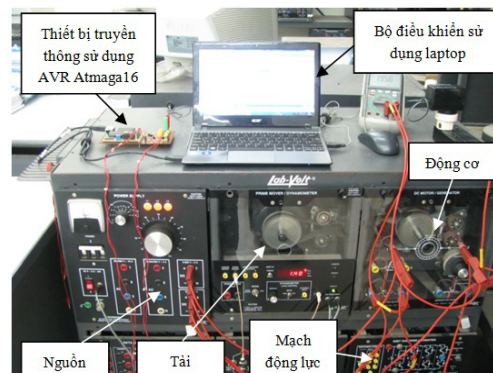
$$Y = (du + 127,5) / 85$$

Giá trị y là thay đổi của 'duty circle'. Sau đó 'duty circle' tại thời điểm lấy mẫu thứ k được tính như sau:

$$D_k = D_{k-1} + C_3 Y$$

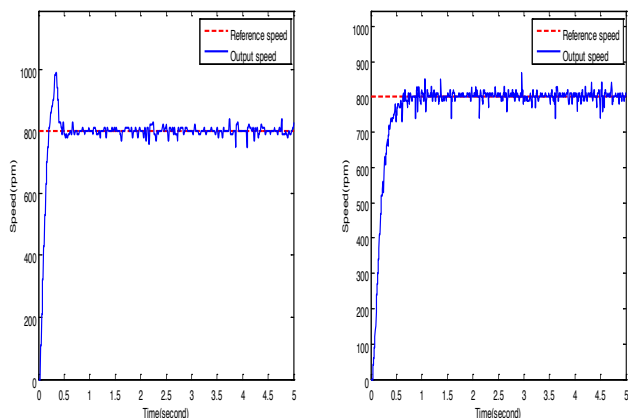
Thực nghiệm

Vi điều khiển AVR Atmega16 được lập trình để thực hiện giao thức truyền thông RS232. Vi điều khiển được lập trình sử dụng ngôn ngữ C với trình dịch là CodeVision. Phần mềm Visual Basic được sử dụng để xây dựng chương trình đo lường và điều khiển ảo. Toàn bộ hệ thống thực nghiệm được trình bày như trên hình 6.



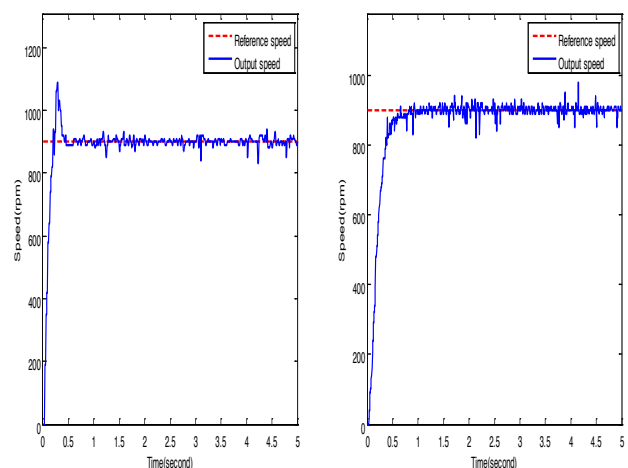
Hình 6: hệ thống thực nghiệm dựa trên hệ truyền động của hãng Lab-Volt

Hình 7(a) là đáp ứng tốc độ động cơ khi tốc độ đặt là 800 vòng/phút và mô men tải là 1 Nm với bộ điều khiển PID và hình 7(b) là đáp ứng của tốc độ động cơ khi tốc độ đặt là 800 vòng/phút và mô men tải là 1 Nm với bộ điều khiển mờ. Ta nhận thấy bộ điều khiển PID gây nên hiện tượng quá hiệu chỉnh (25%). Trong khi đó, bộ điều khiển mờ không gây nên hiện tượng quá hiệu chỉnh.



(a) (b)
Hình 7: đáp ứng tốc độ bộ điều khiển PID(a) và bộ điều khiển mờ (b)

Tương tự, trên hình 8 khi tốc độ đặt tăng (900 vòng/phút) và mô men tải là 1 Nm ta thấy hiện tượng quá hiệu chỉnh xảy ra khi sử dụng bộ điều khiển PID (22%) (hình 8a). Hiện tượng quá hiệu chỉnh không xảy ra khi sử dụng bộ điều khiển mờ (hình 8b).



(a) (b)

Hình 8: đáp ứng tốc độ bộ điều khiển PID (a) và bộ điều khiển mờ (b)

Khi sử dụng bộ điều khiển PID, để giảm hiện tượng quá hiệu chỉnh, hằng số tích phân được chọn là lớn và gây nên hiện tượng đáp ứng chậm đối của đáp ứng tốc độ đầu ra. Trong khi đó, đối với hệ thống sử dụng logic mờ để đáp ứng tốc độ nhanh, ta chỉ cần giảm thời gian lấy mẫu.

Kết luận

Bài báo đã trình bày các bước để thực thi bộ điều khiển mờ cho điều khiển động cơ điện một chiều kích từ độc lập. Ưu điểm của hệ thống sử dụng logic mờ là không đòi hỏi mô hình toán của đối tượng điều khiển. Đây chính là ưu điểm nổi bật của điều khiển mờ nói chung và điều khiển mờ động cơ điện một chiều nói riêng. Điều này cho thấy sử dụng phương pháp logic mờ sẽ được ứng dụng nhiều hơn cho các hệ thống điều khiển động cơ một chiều, nhất là với các hệ truyền động công suất lớn với cấu trúc mạch động lực phức tạp trong truyền động có đảo chiều quay hay làm việc trong bốn góc phần tư. Đây sẽ là các bước nghiên cứu tiếp theo của nhóm tác giả ■

Tài liệu tham khảo

- [1] S. Aydemir, S. Sezen and H.M. Ertunc, "Fuzzy logic speed control of a DC motor", The 4th International Power Electronics and Motion Control Conference, vol. 2, pp. 766-771, 2004.
- [2] S. Duman, D. Maden and U. Guvenc, "Determination of the PID controller parameters for speed and position control of DC motor using Gravitational Search Algorithm", 7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), pp. 225-229, 2011.
- [3] B.Y. Cakir, A.B. Abut, N. Inanc, "DC motor control by using computer based fuzzy technique", Fourteenth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition, vol. 1, pp. 391-395, 1999.
- [4] A. A. Ahmed, Y. Xia and B. Liu, "Design and simulation of fuzzy controller based (IPM) converter fed DC Motors", 2012 UKACC International Conference on Control pp. 217 - 222, 2012.
- [5] P. Thepsatorn, A. Numsomran, V. Tipsuwanporn and T. Teanthong, "DC Motor Speed Control using Fuzzy Logic based on LabVIEW", International Joint Conference on SICE-ICASE, pp. 3617-3620, 2006.