

TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN PID MỜ CHO KHÂU HÀN LƯỖI TRONG HỆ THỐNG THIẾT BỊ HÀN TỰ ĐỘNG SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ PMSM

SYNTHESIS OF FUZZY PID CONTROLLER FOR TONGUE WELDING STAGE
IN AUTOMATIC WELDING SYSTEM USING PMSM MOTOR

Lê Văn Duyên¹, Nguyễn Tất Kiên¹, Ngô Xuân Cường²,
Lục Văn Thương², Bùi Tuấn Minh¹, Ngô Văn Dũng²

¹Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

²Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tổng hợp bộ điều khiển động cơ PMSM, nhằm ổn định tốc độ hàn và điều chỉnh tọa độ đầu hàn chính xác trong công đoạn hàn lưỡi của hệ thống thiết bị tự động hàn máng cào. Chiến lược điều khiển véc tơ định hướng từ thông rotor, trong đó, bộ điều khiển tốc độ và dòng điện là bộ điều khiển PI được tổng hợp theo phương pháp tối ưu mô đun. Bộ điều khiển PID mờ sử dụng cho vòng vị trí. Bộ điều khiển tổng hợp được nhằm nâng cao chất lượng mối hàn và giảm thời gian hàn tối thiểu cho sản phẩm.

Từ khóa: Động cơ đồng bộ; Nam châm vĩnh cửu; Xoay chiều ba pha.

ABSTRACT

This paper presents the researching results to build PMSM motor controller. The controller is used to stabilize welding speed and control the accuracy of welding positions in tongue welding stage, which is used in automatic trough welding system. The rotor flux oriented control strategy is performed with Fuzzy PID position controller, PI speed controller and PI current controller to improve welding quality and reduce minimize welding time for the product.

Keywords: Synchronous motor; Permanent magnet.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trên thế giới, công nghiệp khai thác khoáng sản phát triển rất mạnh mẽ ở trình độ chuyên môn hoá cao, từ khai thác đến chế tạo các trang thiết bị phục vụ. Trong khai thác hầm lò, máng cào với nhiều chủng loại kết cấu của nước ngoài đã xuất khẩu sang Việt Nam từ nhiều năm nay. Nhu cầu về máng cào hay cầu máng cào không chỉ dừng lại ở ngành Than mà còn được đáp ứng cho các nhà máy nhiệt điện, xi măng dùng để vận tải than, thải tro xỉ... Nhu cầu máng cào, cầu máng cào và các phụ kiện khác phải thay thế hàng năm cũng là con số rất lớn. Với các lý do trên, thì việc nghiên cứu, xây dựng, thiết kế và chế tạo hệ thống thiết bị tự động hàn cầu máng cào, ứng dụng trong công nghiệp khai thác than rất có ý nghĩa và là nhu cầu cấp bách.

Trong các bước công nghệ của dây chuyền hàn tự động cầu máng cào; khâu hàn lưỡng là một trong những công đoạn khó nhất của dây chuyền. Khâu này, thực hiện gá lưỡng tự động; hàn lưỡng tự động đồng thời hai mỏ, tư thế hàn thẳng đứng. Với tư thế hàn thẳng đứng và tự động; để đạt được mỗi hàn đạt tiêu chuẩn theo yêu cầu đặt ra, đòi hỏi phải ổn định tốc độ đầu hàn cao; cũng như điều khiển tọa độ hàn chính xác theo chương trình đặt trên phần mềm. Giải pháp đưa ra là sử dụng hai hệ điều khiển servo, cơ cấu chấp hành của hệ thống là động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu xoay chiều ba pha (PMSM). Khi Driver lắp ở vòng tốc độ, bộ điều khiển vị trí căn cứ vào sai số vị trí tín hiệu đầu vào và tín hiệu phản hồi của 2 trục để tính ra giá trị đầu vào vòng tốc độ của các Driver hai mỏ hàn, từ đó điều khiển 2 trục động cơ chuyển động, thông qua hệ chuyển động trực vít điều khiển 2 tay hàn. Driver của hệ thống bao gồm 2 vòng kín là vòng tốc độ và vòng dòng điện. Kết quả tổng hợp các bộ điều

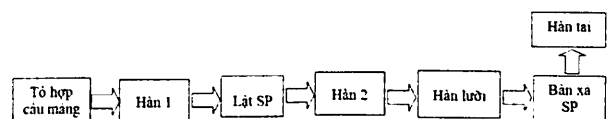
khiển khi áp dụng trực tiếp vào sản xuất đã cho ra các sản phẩm đạt chất lượng cao, đáp ứng được yêu cầu khắt khe của nhà sản xuất. Có thể áp dụng các kết quả nghiên cứu cho công nghệ kiểu hàn đứng được ứng dụng nhiều trong các dây chuyền sản xuất quốc phòng, cũng như trong các dây chuyền sản xuất kinh tế.

2. SƠ ĐỒ CÁC BƯỚC CÔNG NGHỆ TRONG HỆ THỐNG HÀN TỰ ĐỘNG CẦU MÁNG CÀO

2.1. Sơ đồ các bước công nghệ trong hệ thống hàn tự động cầu máng cào

Sơ đồ các bước công nghệ cho hình 1. Các công đoạn của hệ thống:

- Tổ hợp gá các chi tiết hàn trên đồ gá;
- Hàn 1, hàn tự động 2 đường trên thân máng;
- Nấn chống biến dạng đồng thời trên hệ thống;
- Lật sản phẩm;
- Hàn 2, hàn tự động 2 đường dưới thân máng;
- Hàn tự động lưỡng máng, hàn đứng đồng thời hai mỏ;
- Hàn các chi tiết tai: Hàn bán tự động kết hợp đồ gá.



Hình 1. Sơ đồ các bước công nghệ trong hệ thống hàn tự động cầu máng cào.

2.2. Công đoạn hàn lưỡng

- Thực hiện di chuyển phôi trong quá trình hàn và giữa các bước công nghệ; gá lưỡng tự động; thực hiện hàn lưỡng tự động đồng thời hai mỏ, tư thế hàn thẳng đứng.

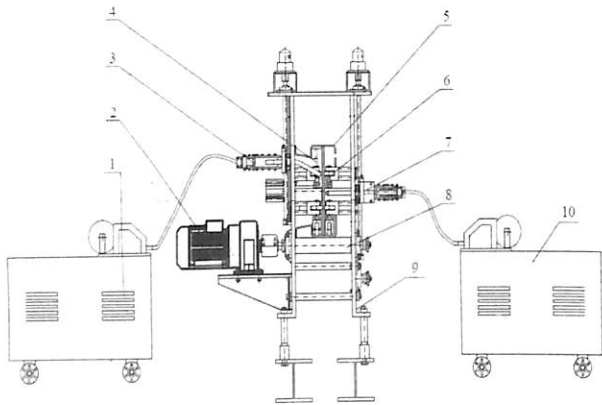
- Kết cấu cơ khí, bao gồm: Hệ thống khung giá đỡ; hệ thống băng truyền xích di

chuyển sản phẩm; cơ cấu con lăn tỳ; hệ thống điều chỉnh tọa độ và di chuyển đầu hàn; cơ cấu gá lưỡi tự động.

- Thiết bị hàn: 02 máy hàn, điều chỉnh dòng hàn tự động.

- Thiết bị điều khiển: Sử dụng các cảm biến tiệm cận, cảm biến quang để phát hiện phôi hàn tự động và xác định góc của hệ thống servo. Ổn định tốc độ đầu hàn, cũng như điều khiển tọa độ đầu hàn bằng động cơ PMSM và các bộ Driver.

- Toàn bộ thông tin trạng thái của thiết bị được truyền qua giao tiếp mạng Ethernet về hệ thống điều khiển trung tâm.



Hình 2. Sơ đồ hệ thống hàn lưới.

- 1, 10) Máy hàn; 2) Động cơ đẩy phôi;
3, 7) Cụm điều chỉnh tọa độ và di chuyển đầu hàn;
4) Cơ cấu định vị lưỡi; 5) Phôi cầu máng; 6) Con lăn dẫn hướng; 8) Con lăn truyền động;
9) Vách - khung máy.

3. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN CỦA HỆ THỐNG HÀN LƯỠI TỰ ĐỘNG THEO PHƯƠNG PHÁP TỐI ƯU MÔ ĐUN

3.1. Mô hình toán học động cơ PMSM

Hệ phương trình vi phân mô tả động cơ PMSM trên hệ tọa độ (d,q) nhận được như sau:

$$\begin{cases} u_d = Ri_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega L_q i_q \\ u_q = Ri_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega L_d i_d + \omega \psi_p \end{cases} \quad (1)$$

Ta có phương trình các thành phần từ thông:

$$\begin{cases} \psi_d = L_d i_d + \psi_p \\ \psi_q = L_q i_q \end{cases} \quad (2)$$

Phương trình mô men:

$$M_e - M_L - B\omega_r = J \frac{d\omega_r}{dt}$$

$$M_e = \frac{3}{2} Z_p [\psi_p i_q + i_d i_q (L_d - L_q)]$$

Trong đó: M_e, M_L : Mô men động cơ và mô men tải; J : Mô men quán tính; ω : Vận tốc góc điện; ω_r : Vận tốc góc cơ; Z_p : Số đôi cực; B : Hệ số ma sát; ψ_p : Từ thông cực; R : Điện trở stator; L_d : Điện cảm stator dọc theo trục d; L_q : Điện cảm stator dọc theo trục q; i_d, i_q lần lượt là hình chiếu dòng điện stator trên 2 trục d và q.

3.2. Cấu trúc bộ điều khiển

Ta xây dựng các bộ điều khiển cho hệ điều khiển vị trí sử dụng động cơ PMSM với bộ điều khiển véc tơ tọa độ từ thông, nghiên cứu gần đúng trong khuôn khổ của lý thuyết hệ tuyến tính.

Sơ đồ khối hệ thống điều khiển cho một đầu hàn được minh họa trên hình 3. Đây là hệ thống điều khiển được xây dựng theo nguyên lý điều khiển hệ thống với các vòng điều khiển lệ thuộc [1]. Các bộ điều khiển dòng điện, tốc độ và vị trí được tổng hợp theo phương pháp tối ưu mô đun.

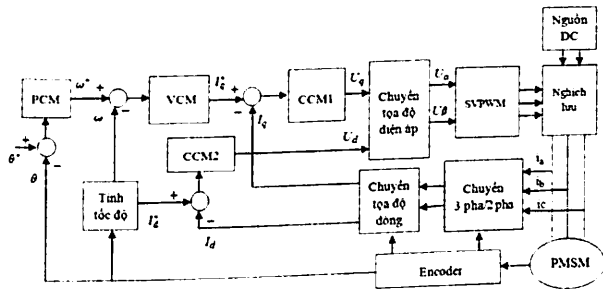
- Vòng trong cùng là vòng dòng điện, bao gồm hai vòng CCM1, CCM2. Vòng CCM1 dùng để điều khiển dòng điện i_q , Vòng CCM2 dùng để điều chỉnh dòng điện i_d .

- Vòng tốc độ VCM, đầu vào lấy từ vòng PCM, đầu ra VCM là đầu vào CCM1.

- Vòng ngoài cùng là vòng vị trí (PCM).

Do: $T_v, \tau \ll T_u, T_v \ll T_v + \tau$, đặt $T_i = T_v + \tau$. Ta có:

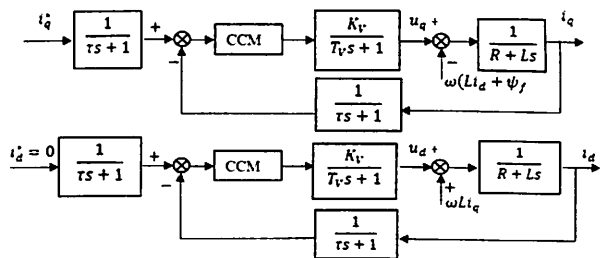
$$W_{dmm} = \frac{1}{2T_i s (T_i s + 1)} \quad (7)$$



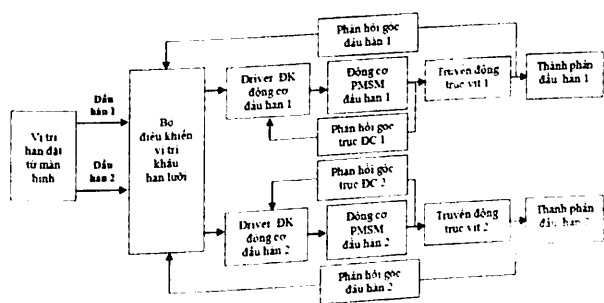
Hình 3. Sơ đồ khối hệ truyền động servo điều khiển vị trí sử dụng động cơ PMSM.

Sơ đồ tổng hợp bộ điều khiển CCM1, CCM2 cho hình 5. Coi bộ điều chế độ rộng xung là khâu quán tính với hệ số khuếch đại là K_v và hằng số thời gian là T_v

Đặt: $T_u = L/R$, hằng số thời gian điện từ.



Hình 5. Tổng hợp các bộ điều khiển CCM.



Hình 4. Sơ đồ khối hệ truyền động servo điều khiển vị trí 2 đầu hạn sử dụng động cơ PMSM.

Hàm truyền của đối tượng:

$$W_{od} = \frac{K_v/R}{(T_v s + 1)(1 + T_u s)(\tau s + 1)} \quad (5)$$

Bộ điều khiển tốc độ được tổng hợp sau khi đã tổng hợp bộ điều khiển dòng điện theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun.

Hàm truyền đối tượng điều khiển của vòng vận tốc khi kể đến hằng số thời gian nhỏ T_s của khâu đo lường tốc độ, gần đúng xem như khâu tuyến tính, có dạng:

$$W_{td} = U_{đt}/\omega_{đc} \quad (9)$$

Trong đó: U_{dt} là lượng đặt vào bộ điều khiển tốc độ.

$$W_{td} = \frac{K_C}{(Js + B)(2T_i s + 1)(T_s s + 1)} \quad (10)$$

Hàm truyền của đối tượng trong vòng điều khiển tốc độ:

Đặt: $T_C = T_s + 2T_i$, $T_{1v} = J/B$, ta có:

$$W_{td} \approx \frac{K_C/B}{(T_{1v}s + 1)(T_C s + 1)} \quad (11)$$

Chọn hằng số không bù T_C . Tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun, hàm truyền mong muốn của bộ điều khiển tốc độ có dạng [1]:

$$W_{tdmm} = \frac{1}{2T_C s(T_C s + 1)} \quad (12)$$

Hàm truyền bộ điều khiển của vòng tốc độ được xác định là:

$$W_{dktd} = \frac{W_{tdmm}}{W_{td}} = \frac{1}{2T_C s(T_C s + 1)} \frac{B(T_{1v}s + 1)(T_C s + 1)}{K_C} \quad (13)$$

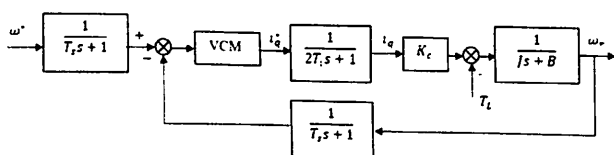
$$= \frac{B}{2K_C T_C s} (T_{1v}s + 1)$$

Đặt:

$$K_2 = BT_{1v}/2K_C T_C, T_2 = 2K_C T_C/B$$

Ta có bộ điều khiển tốc độ (PI):

$$W_V = K_2 + \frac{1}{T_2 s} \quad (14)$$



Hình 6. Tổng hợp bộ điều khiển VCM.

Bộ điều khiển vị trí là bộ điều khiển

vòng ngoài được thực hiện sau khi đã tổng hợp bộ điều khiển tốc độ và bộ điều khiển dòng điện. Bộ điều khiển vị trí được tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun như trong hình 7.

Hàm truyền đối tượng điều khiển của vòng vị trí khi kể đến hằng số thời gian nhỏ T_p của khâu đo lường, gần đúng xem như khâu tuyến tính, có dạng:

$$W_{vt} = \frac{\Delta x}{\theta} \quad (15)$$

Trong đó: $\Delta x = \theta^* - \theta$ là sai lệch vị trí.

Hàm truyền của đối tượng trong vòng điều khiển vị trí:

$$W_{vt} = \frac{1}{s(2T_C s + 1)(2T_P s + 1)} \quad (16)$$

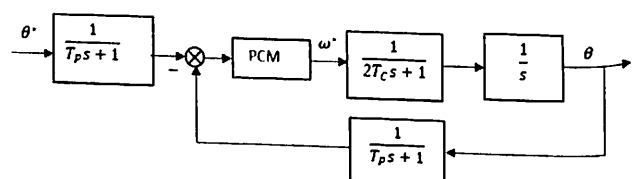
Tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun, hàm truyền mong muốn của bộ điều khiển vị trí có dạng [1]:

$$W_{vtmm} = 1/2T_P s(T_P s + 1) \quad (17)$$

Hàm truyền bộ điều khiển của vòng vị trí được xác định là:

$$W_{dkvt} = \frac{W_{vtmm}}{W_{vt}} = \frac{s(2T_C s + 1)(2T_P s + 1)}{2T_P s(T_P s + 1)} = \frac{2T_C s + 1}{2T_P} = \frac{2T_C}{2T_P} s + \frac{1}{2T_P} \quad (18)$$

Đây là bộ điều khiển PD.



Hình 7. Tổng hợp bộ điều khiển PCM.

4. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ PID MỜ

Thiết kế hệ thống điều khiển vị trí với mạch vòng tốc độ và mạch vòng dòng được tổng hợp theo phương pháp tối ưu mô đun, bộ

điều khiển đã được tổng hợp ở phần trên. Ta sẽ thiết kế bộ điều khiển mờ thuộc vòng vị trí là vòng ngoài cùng.

Bộ điều khiển vị trí là bộ điều khiển PID mờ kiểu Mamdani có tín hiệu vào là sai lệch vị trí và đạo hàm của sai lệch vị trí, tín hiệu ra là lượng đặt tốc độ động cơ. Do đó, ta sẽ định nghĩa các biến ngôn ngữ là sai lệch vị trí e , đạo hàm sai lệch de và tốc độ n .

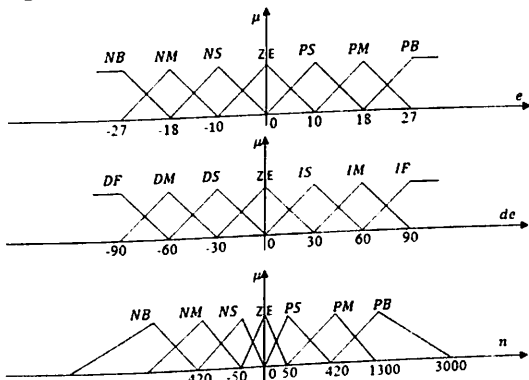
Giá trị ngôn ngữ của các biến ngôn ngữ là:

- Sai lệch vị trí e (âm lớn, âm vừa, âm nhỏ, không, dương nhỏ, dương vừa, dương lớn) viết gọn lại như sau: e (NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB).

- Đạo hàm sai lệch vị trí de (tăng nhanh, tăng vừa, tăng nhỏ, không đổi, giảm nhỏ, giảm vừa, giảm nhanh) viết gọn lại như sau: de (IF, IM, IS, ZE, DS, DM, DF).

- Tốc độ n (âm lớn, âm vừa, âm nhỏ, không, dương nhỏ, dương vừa, dương lớn) viết gọn lại như sau: n (NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB).

Hàm liên thuộc tương ứng với các giá trị ngôn ngữ của biến ngôn ngữ được thể hiện trong hình 8.



Hình 8. Định nghĩa tập mờ cho các biến ngôn ngữ.

Mệnh đề kết luận của luật là: max-MIN:

$$\mu_1(n) = \min \{H_1, \mu_{PB}^n\}.$$

Tiến hành xây dựng tất cả 49 luật trong bộ điều khiển mờ, sau đó để kết hợp các luật ta sử dụng phép tính max để xác định kết quả mờ ra của khối luật hợp thành.

Sử dụng phép tính max:

$$\mu_{ra}(n) = \max \{\mu_1(n), \mu_2(n), \dots, \mu_{49}(n)\}.$$

Chọn phương pháp giải mờ: Chọn giải mờ theo phương pháp trọng tâm.

5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THỬ NGHIỆM

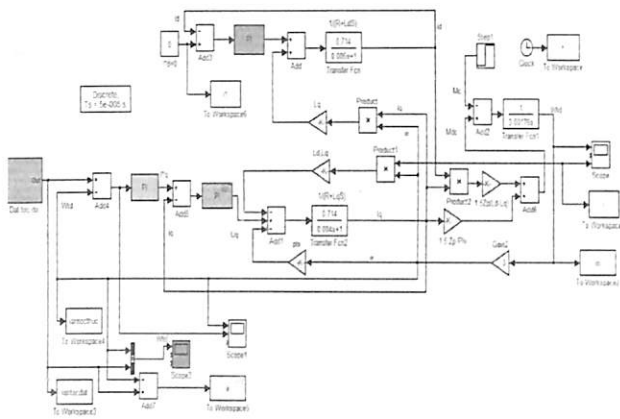
5.1. Kết quả mô phỏng

Các tham số mô phỏng: $P_{dm} = 500W$; $n_{dm} = 3000$ Vòng/phút; $U_{dm} = 220V$; $Z_p=3$; $R=3,12 \Omega$; $L=6,45mH$; $J=0,97 \times 10^{-4} Kg.m^2$.

Bộ điều khiển tổng hợp theo phương pháp tối ưu mô đun:

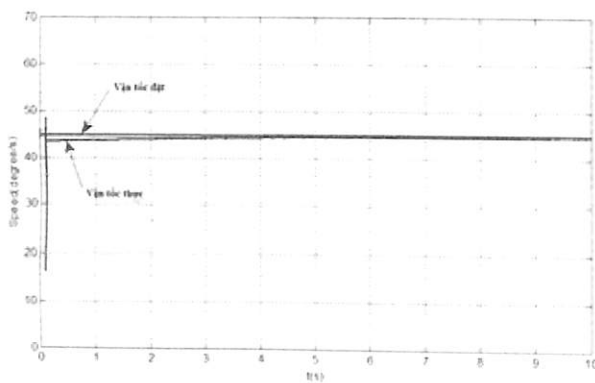
Từ kết quả các bộ điều khiển dòng điện, tốc độ (CCM1, CCM2, VCM) được tổng hợp theo phương pháp tối ưu mô đun, theo nguyên lý điều khiển hệ thống với các vòng điều khiển lệ thuộc ở phần trên. Ta tiến hành mô phỏng, kiểm tra đánh giá trên phần mềm Matlab-Simulink.

Sơ đồ mô phỏng điều khiển tốc độ cho trên hình 9: Với các khâu đặt tốc độ, điều chỉnh tốc độ, ổn định dòng I_d . Khâu điều chỉnh tốc độ và điều chỉnh dòng I_d , I_q sử dụng các khâu PI.

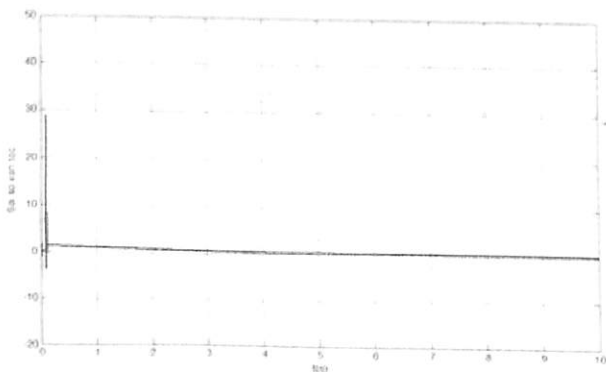


Hình 9. Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển tốc độ động cơ PMSM.

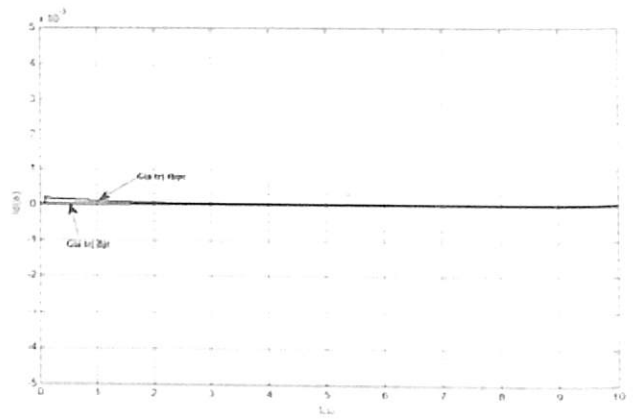
- Trường hợp 1: Vận tốc đặt là hằng số ($\omega = 45 \text{ degree/s}$).



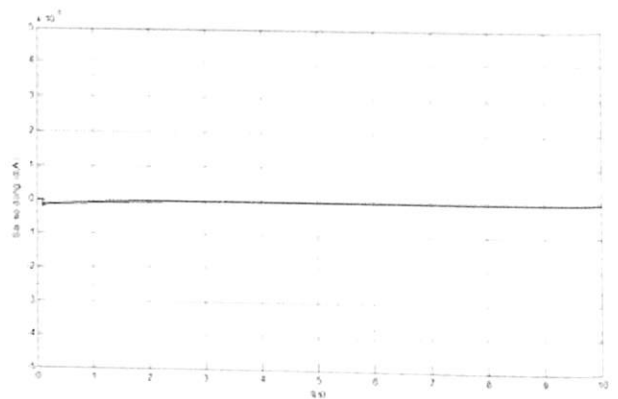
Hình 10. Vận tốc động cơ.



Hình 11. Sai số vận tốc.

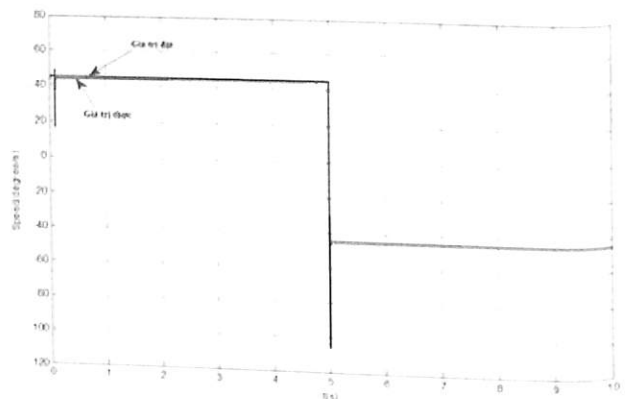


Hình 12. Dòng điện I_d

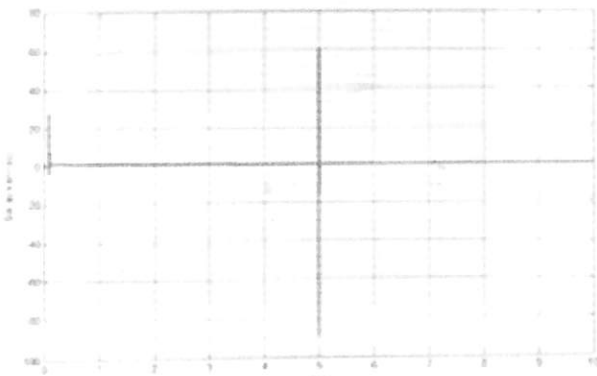


Hình 13. Sai số dòng điện I_d

- Trường hợp 2: Đảo chiều động cơ ($\omega = \pm 45 \text{ degree/s}$).



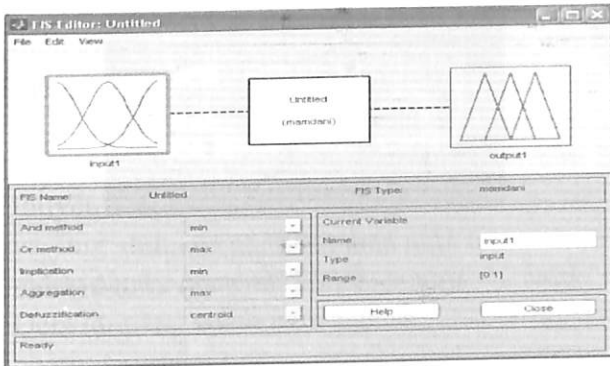
Hình 14. Vận tốc động cơ khi đảo chiều.



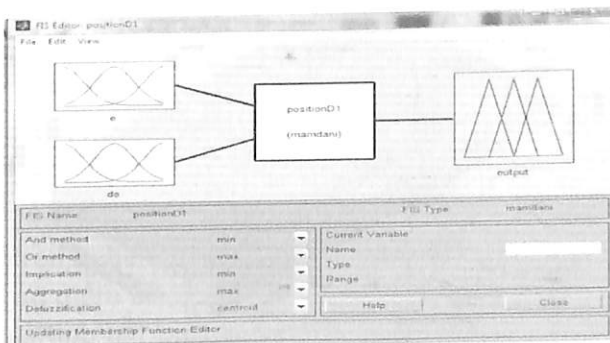
Hình 15. Sai số vận tốc khi đảo chiều.

Bộ điều khiển tổng hợp theo phương pháp mờ:

Mô hình toán học của động cơ PMSM khá phức tạp và chứa nhiều yếu tố bất định. Trong trường hợp này ta có thể dùng công cụ điều khiển mờ để thiết kế bộ điều khiển vị trí. Bộ điều khiển dòng điện và tốc độ sử dụng bộ điều khiển PI.



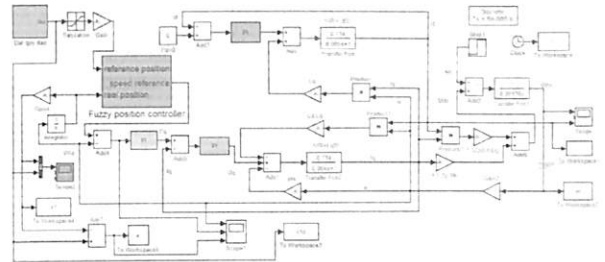
Hình 16. Cửa sổ khởi động toolbox FIS.



Hình 17. Mô hình bộ điều khiển mờ.



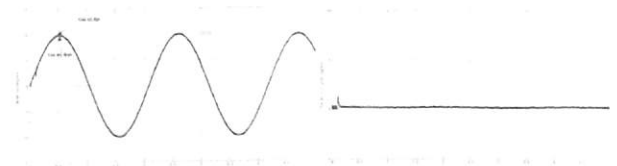
Hình 18. Cửa sổ nhập các hàm liên thuộc cho các biến ngôn ngữ.



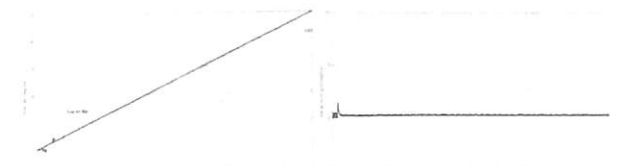
Hình 19. Sơ đồ mô phỏng hệ truyền động điều khiển vị trí sử dụng PID mờ cho 1 đầu hàn.



Hình 20. Góc đặt là hằng số.



Hình 21. Góc đặt là hàm sin.

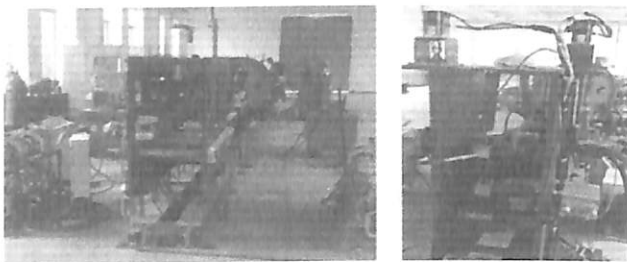


Hình 22. Góc đặt là hàm tuyến tính.

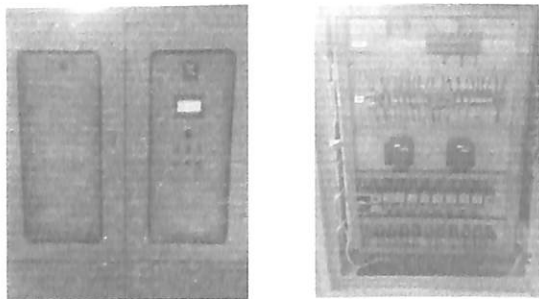
5.2. Lắp đặt và thử nghiệm

Xây dựng mô hình thực nghiệm bộ điều khiển PID mờ điều khiển vị trí 2 đầu hàn của

khâu hàn lưới, với các tham số được đặt từ màn hình điều khiển trung tâm (vị trí, tốc độ hàn). Các tham số này được truyền xuống tủ điều khiển của khâu hàn lưới (Hình 24.c). Bộ điều khiển trung tâm của khâu hàn lưới thực hiện luật điều khiển PID mờ. Đầu ra bộ điều khiển trung tâm khâu hàn lưới được đưa đến các Driver để điều khiển 2 động cơ hàn lưới; thông qua hệ truyền động trực vít để điều khiển chính xác vị trí 2 đầu hàn và ổn định tốc độ hàn. Các bộ điều khiển dòng điện, tốc độ được cài đặt trong Driver. Lắp đặt và thử nghiệm được thực hiện tại Công ty Cổ phần Cơ khí Mạ Khê.



a) Dây chuyền hàn b) Khâu hàn lưới
Hình 23. Dây chuyền hàn máng cào tự động.

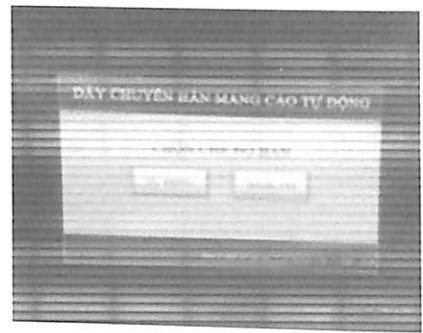


a) Tủ điều khiển trung tâm b) Thiết bị điều khiển trung tâm

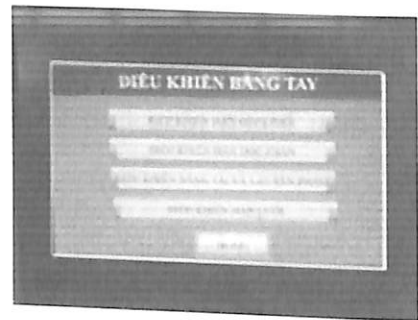


c) Tủ DK khâu hàn lưới

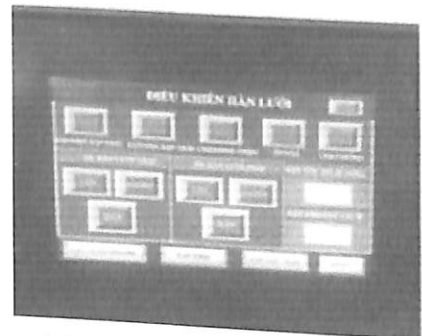
Hình 24. Hệ thống điều khiển dây chuyền hàn máng cào tự động.



a) Màn hình chọn chế độ

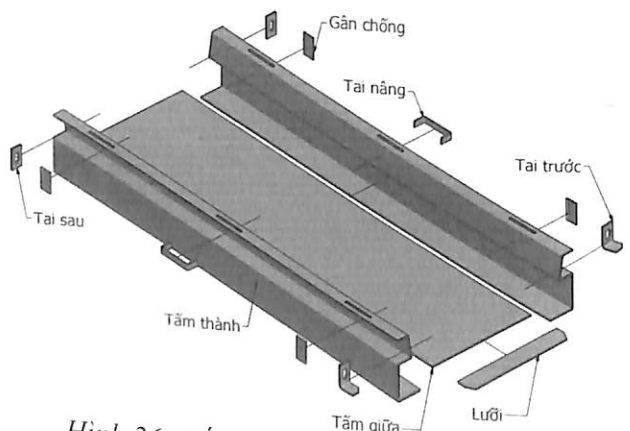


b) Màn hình DK bằng tay

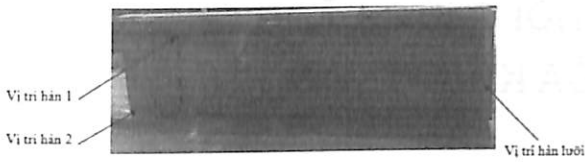


c) Màn hình DK khâu hàn lưới

Hình 25. Màn hình điều khiển dây chuyền hàn máng cào tự động.



Hình 26. Cấu trúc cầu máng cào MC-80.



Hình 27. Sản phẩm màng cào sau khi hàn tự động

6. KẾT LUẬN

Với phương pháp tổng hợp tối ưu mô đun xây dựng cho hệ điều khiển vị trí và ổn định tốc độ hàn sử dụng động cơ PMSM, theo thuật toán điều khiển véc tơ định hướng từ thông rotor. Ta coi các thông số là không đổi, cấu trúc điều khiển kinh điển của bộ điều khiển PID hoàn toàn có thể đáp ứng tốt chất lượng động học của hệ thống. Khi các thông số thay đổi, cấu trúc điều khiển kinh điển của bộ điều khiển PID có thể có đáp ứng khác nhau về chất lượng động học của hệ thống. Với mô hình toán học của động cơ PMSM khá phức tạp và chứa nhiều yếu tố bất định; Trong trường hợp này, ta sử dụng lý thuyết điều khiển mờ để thiết kế bộ điều khiển vị trí sẽ nâng cao chất lượng của hệ thống.

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu lý thuyết, sau đó được triển khai trên phần cứng và ứng dụng trực tiếp trong dây chuyền hàn màng cào tự động đã đạt được kết quả đáng kể. Đem lại năng suất cao, nâng cao chất lượng sản phẩm. Có thể áp dụng kết quả nghiên cứu vào các dây chuyền sản xuất quốc phòng và trong công nghiệp dân dụng.

Hướng nghiên cứu tiếp theo là tổng hợp hệ điều khiển vị trí sử dụng động cơ PMSM trên cơ sở lý thuyết điều khiển hệ thống có cấu trúc thay đổi (VSS), đặc biệt là điều khiển trong chế độ trượt được quan tâm và có nhiều ưu điểm trong tổng hợp hệ thống phi tuyến, đó là tính bất biến với nhiễu loạn tác động lên hệ thống và các thành phần không xác định, kích

thức của hệ thống giảm xuống khi xuất hiện chế độ trượt trên mặt trượt. ❖

Ngày nhận bài: 25/7/2019

Ngày phản biện: 02/8/2019

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Đào Hoa Việt; “*Phân tích và tổng hợp hệ thống truyền động điện*”, Học viện Kỹ thuật Quân sự, 2010.
- [2]. Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh, Hán Thành Trung; “*Lý thuyết điều khiển phi tuyến*”, NXB. Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.
- [3]. Nguyễn Phùng Quang; “*Truyền động điện thông minh*”, NXB. Khoa học Kỹ thuật.
- [4]. Phạm Tuấn Thành; “*Phân tích và tổng hợp thuật toán số điều khiển hệ thống khuếch đại xung công suất động cơ không đồng bộ hai pha*”, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- [5]. Abdolreza Rabiee, Mohammad Reza Alizadeh Pahlavani, “*A position Control of Asymmetrical Two Phase Induction Motor Based on Vector Control Strategy*”, Journal of Basic and Applied Scientific Research (2012).
- [6]. E.R. Collines Jr. and R.E. Ashley III, “*Operating Characteristics of single-phase capacitor motor driven from variable frequency supplies*” in Proc. Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Society Annu. Meeting, Sep./Oct. 1991, vol.1, pp. 52-57.
- [7]. F. Blaabjerg, F. Laugeanu, K. Skaug, M. Tonnes, “*Two-Phase Induction Motor Drive*” Industrial Application Magazine, IEEE (2004), vol.10, no.4, pp. 24-32.