

ỨNG DỤNG THUẬT GIẢI DI TRUYỀN (GA) ĐỂ XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ BỘ PID TRONG ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

USING GENETIC ALGORITHM (GA) TO CREATE A PID SPEED CONTROLLER FOR THREE-PHASE INDUCTION MOTOR

Trần Tấn Khang, Nguyễn Minh Tâm
Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp. HCM

TÓM TẮT

Nội dung chủ yếu của bài báo này là trình bày vấn đề thiết kế bộ điều tốc động cơ không đồng bộ ba pha kiểu PI, sử dụng thuật giải di truyền (GA). Tác giả đã ứng dụng phương pháp điều khiển định hướng từ thông (FOC) cho động cơ, mô tả chi tiết và thiết kế mô hình có khâu ước lượng tốc độ sử dụng phương pháp mô hình thích nghi theo mẫu chuẩn (MRAS). Thông số PI của khâu hiệu chỉnh sai số tốc độ trong khâu ước lượng cũng được xác định bằng thuật giải di truyền (GA).

Chương trình giải thuật điều khiển và mô hình mô phỏng được viết bằng ngôn ngữ Matlab – Simulink phiên bản 2009a. Bài báo so sánh kết quả đạt được với hai phương pháp điều khiển. Thứ nhất là xác định thông số PID bằng phương pháp logic mờ (Fuzzy logic) và thứ hai là thuật toán bầy đàn (PSO). Kết quả mô phỏng cho thấy thuật giải di truyền tối ưu hơn phương pháp logic mờ. Kết quả của hai phương pháp GA và PSO đều tối ưu như nhau.

Từ khóa: Bộ điều khiển PID, giải thuật di truyền (GA), phương pháp điều khiển định hướng từ thông (FOC), phương pháp mô hình thích nghi theo mẫu chuẩn (MRAS), ngôn ngữ Matlab – Simulink, logic mờ (Fuzzy logic), thuật toán bầy đàn (PSO).

ABSTRACT

The aim of this paper is to create a PID speed controller for three-phase induction motor by using genetic algorithm (GA) and the field oriented control (FOC) method of induction motor. In addition, a speed-estimation process with the model referencing adaptive system (MRAS) was presented in detail. The estimated-modelling also used the GA to identify PI-index for tuning speed error.

The Genetic PID-speed controller software was implemented using the Matlab-simulink version 2009a. This paper's results are compared with two kinds of tuning methods of parameter for PID controller. One is the controller design by the Fuzzy logic and the other is the Particle swarm optimization (PSO). Results showed that the proposed PID parameters adjustment by the GA is better than the Fuzzy method. Results of the GA and PSO are at the same level.

Keywords: Proportional integral derivative controller (PID), genetic algorithm (GA), field orientated control (FOC), model referencing adaptive system (MRAS), fuzzy logic, particle swarm optimization (PSO).

1. Giới thiệu

Phương pháp điều khiển định hướng từ thông (FOC) được sử dụng phổ biến với hiệu suất cao trong việc điều khiển động cơ vì từ thông và moment có thể được điều

khiển độc lập. FOC là phương pháp điều khiển dòng stator chủ yếu dựa vào biên độ và góc pha và đặc trưng là các vector. Điều khiển này cơ bản dựa vào sự tham chiếu về

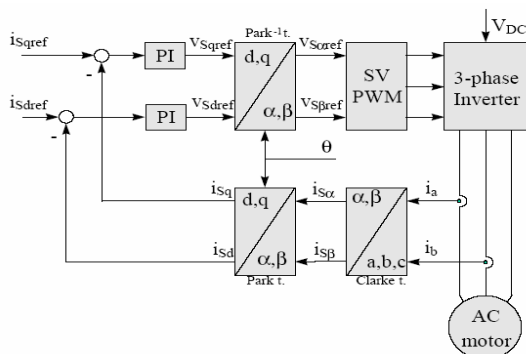
thời gian và tốc độ trên hệ trục $d - q$ đây là hệ trục bất biến. Sự tham chiếu này nhằm mục đích để hướng việc khảo sát động cơ không đồng bộ thành việc khảo sát của động cơ một chiều. Tuy nhiên do hệ động lực của động cơ xoay chiều có nhiều tham số bất định nên việc điều khiển động cơ theo các phương pháp cổ truyền có cảm biến hay không có cảm biến đều không đảm bảo chất lượng khi có tải thay đổi lớn. Trong trường hợp này các phương pháp điều khiển thích nghi [1], phương pháp điều khiển PID kết hợp với mạng nơron, thuật toán di truyền (GA_PID) hoặc thuật toán bầy đàn (PSO_PID) là các phương pháp điều khiển tối ưu.

Thuật toán di truyền (Genetic algorithm-GA) được Holland đưa ra vào năm 1975 là giải thuật tìm kiếm lời giải tối ưu trên nguyên tắc phỏng theo quá trình tiến hóa và quy luật di truyền của sinh vật trong tự nhiên. Bản chất toán học của GA là thuật giải tìm kiếm theo xác suất [2]. Thuật toán GA có thể giải quyết thành công nhiều bài toán ở nhiều lĩnh vực, đặc biệt là bài toán về tối ưu hóa tham số thì thuật giải GA là một lựa chọn thích hợp [2].

2. Nội dung.

2.1. Phương pháp FOC.

Cấu trúc của hệ thống điều khiển định hướng từ thông rotor trong điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha được trình bày như hình 1 [3]. Bằng việc mô tả các thành phần của động cơ không đồng bộ ba pha trên hệ tọa độ từ thông rotor (d, q), vector dòng stator \vec{i}_s sẽ chia thành hai thành phần i_{sd} và i_{sq} , thành phần i_{sd} điều khiển từ thông rotor còn thành phần i_{sq} điều khiển moment quay [3], [4].



Hình 1: Cấu trúc cơ bản của FOC.

Trên hệ tọa độ $(d - q)$ dòng i_{sd} được coi là đại lượng điều khiển cho từ thông rotor, tuy nhiên giữa hai đại lượng tồn tại khâu trễ bậc nhất với hằng số thời gian T_r [3].

$$\psi_{rd} = \frac{L_m}{1 + sT_r} \cdot i_{sd} \quad (1)$$

Từ các giá trị đo được i_{sd} , i_{sq} và ω ta tính được góc θ .

$$\begin{cases} \omega_r = \frac{i_{sq}}{T_r \cdot \psi_{rd}} \\ \omega_s = \omega + \omega_r \\ \theta = \frac{\omega_s}{s} \end{cases} \quad (2)$$

2.2. Mô hình ước lượng tốc độ.

Tốc độ có thể được tính toán bởi hệ thống thích nghi quy chiếu mẫu, trong đó đầu ra của mô hình tham chiếu được so sánh với đầu ra của mô hình thích nghi hay mô hình điều chỉnh cho đến khi những sai số giữa hai mô hình triệt tiêu.

• Phương trình mô hình tham chiếu:

$$\frac{d\psi_r^s}{dt} = \frac{L_r}{L_m} \left(u_s^s - R_s i_s^s - \sigma L_s \frac{di_s^s}{dt} \right) \quad (3)$$

$$\frac{d\psi_r^s}{dt} = \frac{L_r}{L_m} \left(\frac{d\psi_s^s}{dt} - \sigma L_s \frac{di_s^s}{dt} \right) \quad (4)$$

• Phương trình mô hình thích nghi:

$$\frac{d\psi_{r\alpha}^\omega}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r} \psi_{t\alpha}^\omega - \omega \psi_{t\beta}^\omega \quad (5)$$

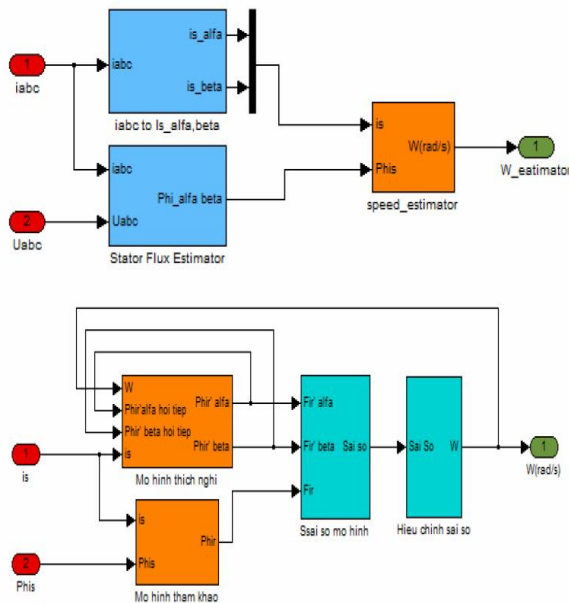
$$\frac{d\psi_{r\beta}^\omega}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{s\beta} - \frac{1}{T_r} \psi_{t\beta}^\omega - \omega \psi_{t\alpha}^\omega \quad (6)$$

• Phương trình sai số mô hình:

$$\varepsilon = (\vec{\psi}_r^{s\omega}) \times (\vec{\psi}_r^s) = \psi_{r\alpha}^\omega \psi_{r\beta}^s - \psi_{r\alpha}^s \psi_{r\beta}^\omega \quad (7)$$

• Phương trình hiệu chỉnh sai số:

$$\omega = \left(K_p + \frac{K_I}{s} \right) \varepsilon \quad (8)$$

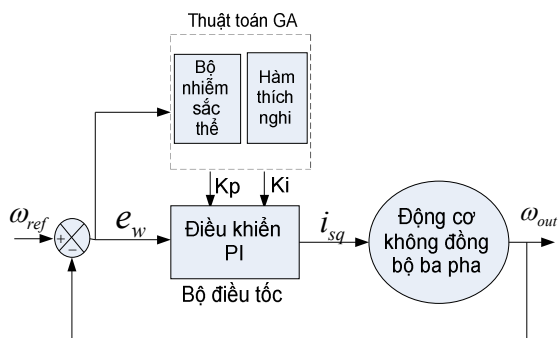


Hình 2: Mô hình ước lượng tốc độ.

2.3. Tối ưu hóa thông số PI của bộ điều tốc bằng thuật giải di truyền.

Ta xác định hai tham số K_p , K_i bằng thuật giải di truyền (GA). Mỗi cá thể hay nhiệm sắc thể có hai gen K_p và K_i . Ta mã hóa hai tham số này thành chuỗi số thực đại diện cho một cá thể. Ta chọn hàm thích nghi là hàm tiêu chuẩn tích phân bình phương của sai số (ISE) [2].

$$fitness = \int_0^{+\infty} e^2(t) dt \quad (9)$$



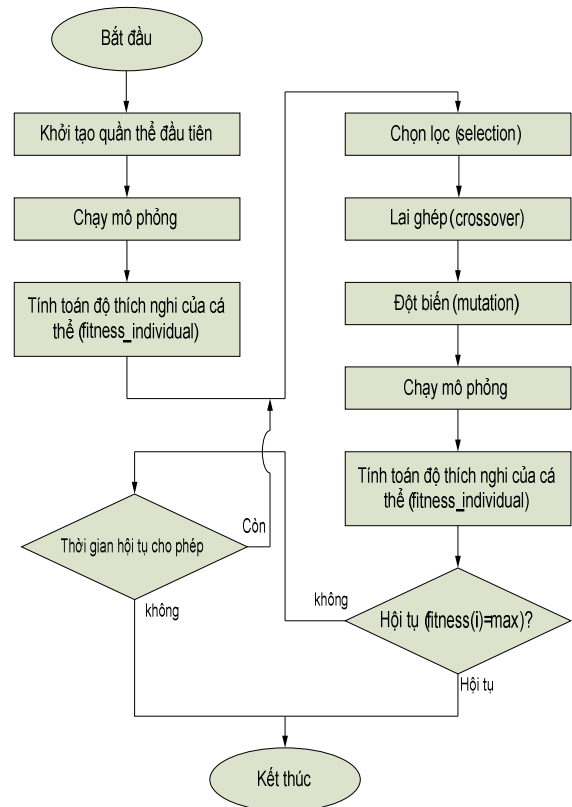
Hình 3: Cấu trúc bộ điều tốc GA_PI.

Các cá thể có độ thích nghi được đánh giá thông qua cực tiểu của hàm thích nghi trên. Cá thể nào làm cho cực tiểu của hàm là nhỏ nhất thì độ thích nghi của cá thể đó là lớn nhất.

Tín hiệu sai lệch e_w giữa tốc độ đặt w_{ref} và tốc độ ngõ ra w_{out} của hệ thống được đưa vào bộ điều khiển PI, ngõ ra u của bộ điều

khiến chỉnh là giá trị dòng i_{sq} (thành phần dòng tạo moment) để điều khiển tốc độ quay của động cơ. Chương trình xác định tham số PI dựa vào lưu đồ giải thuật sau:

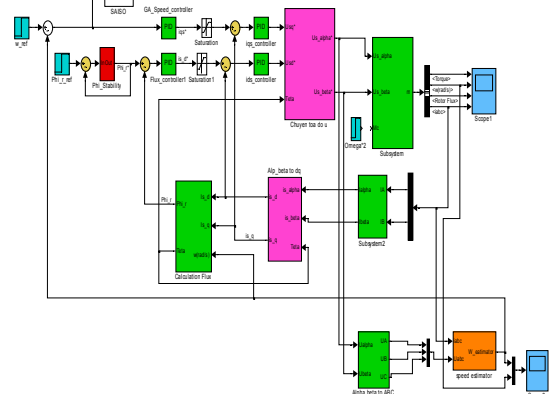
Lưu đồ giải thuật.



Hình 4. Lưu đồ giải thuật.

3. Kết quả mô phỏng

3.1. Sơ đồ mô phỏng trên Matlab



Hình 5. Sơ đồ mô phỏng.

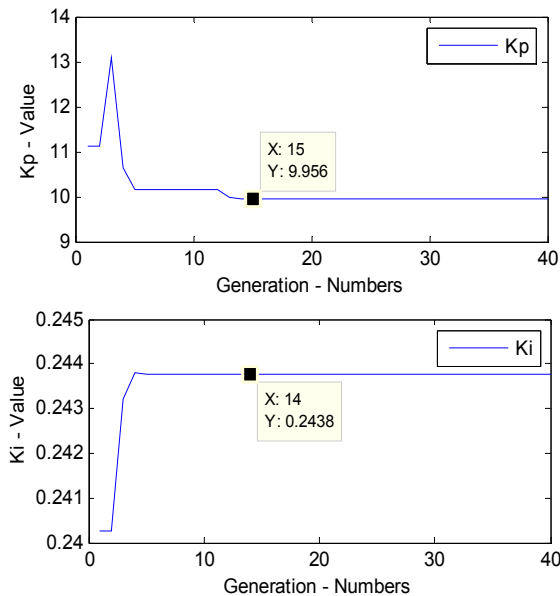
3.2. Kết quả xác định thông số Kp, Ki của bộ điều tốc bằng giải thuật di truyền.

Thông số của quá trình mô phỏng được thiết lập như sau:

Tốc độ đặt $w_{ref} = 157$ (rad/s).

Từ thông $\phi_{r_ref} = 0.5$ (wb).

Moment tải $M_c = 3$ (Nm).



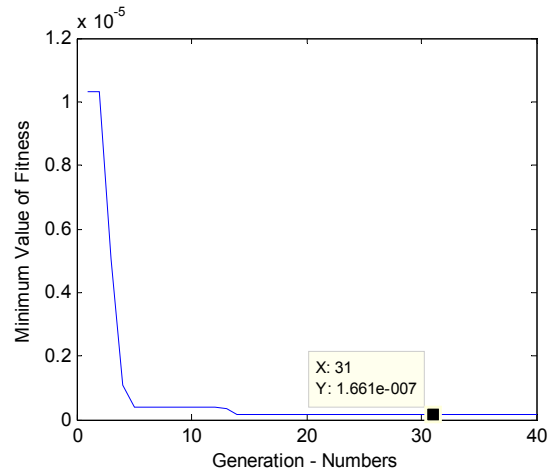
Hình 6. Giá trị Kp, Ki của bộ điều tốc.

Kết quả đạt được:

Giá trị $K_p = 9.956$.

Giá trị $K_i = 0.2438$.

Quá trình mô phỏng được thực hiện với số thể hệ tối đa là 40, giải thuật đã hội tụ sau 15 thế hệ. Số cá thể được sử dụng trong một quần thể là 30. Hình 7 mô tả giá trị cực tiểu của hàm thích nghi trong quá trình mô phỏng.



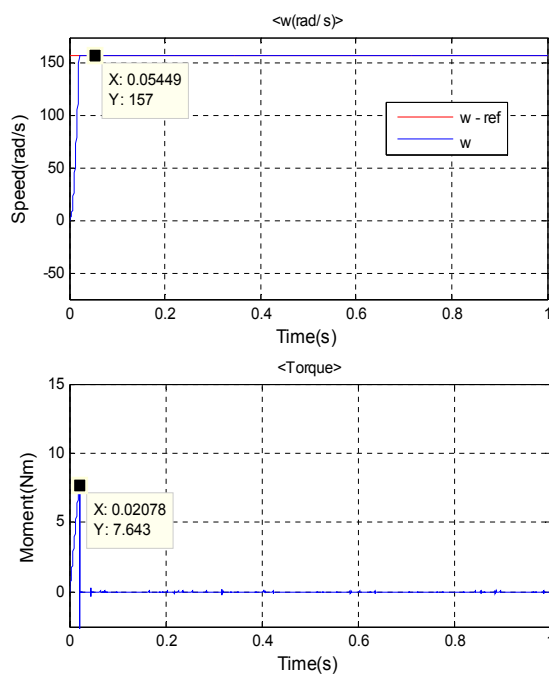
Hình 7. Trị cực tiểu hàm thích nghi.

Sau đây, ta sẽ khảo sát đáp ứng của động cơ trong các trường hợp.

3.3 Trường hợp động cơ chạy không tải, tốc độ không thay đổi.

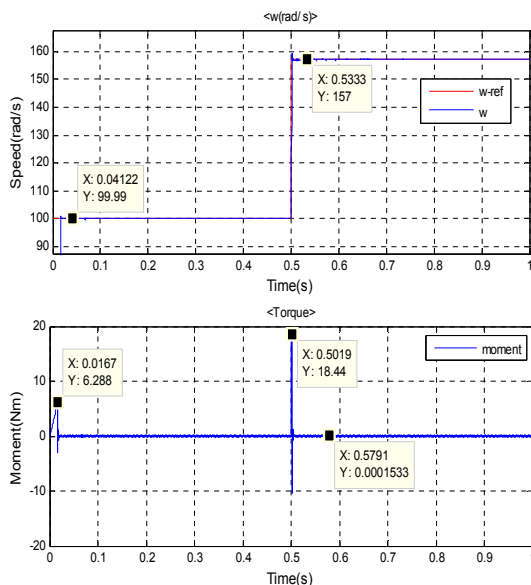
Khởi động động cơ ở chế độ không tải với tốc độ đặt là 157 (rad/s), từ thông đặt là 0.5 (Wb), thời gian mô phỏng là 1s. Đáp ứng tốc độ có độ vọt lố 3%, thời gian quá độ là 0.03s, thời gian đáp ứng tiến tới trạng thái xác lập là 0.15 s. Moment tại thời điểm mở máy có độ vọt lố 7.643(Nm) diễn ra trong thời gian 0.05s. Sai số xác lập

của tốc độ ngõ ra so với tốc độ đặt là 0.127



Hình 8: Đáp ứng ngõ ra khi không tải.

3.4. Trường hợp động cơ chạy không tải, tốc độ có thay đổi.



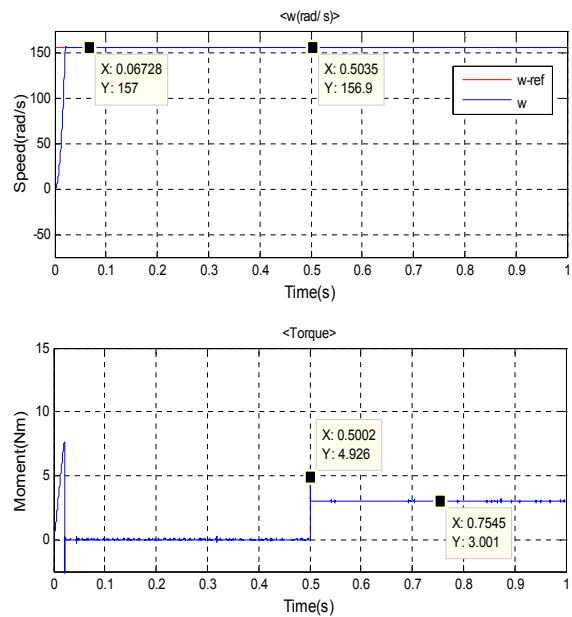
Hình 9: Đáp ứng khi tốc độ thay đổi.

Động cơ khởi động với vận tốc 100 (rad/s) trong vòng 0.5 (s), sau đó tăng tốc lên 157 rad/(s) trong trường hợp không tải. Tín hiệu hồi tiếp về được lấy từ ngõ ra của

khâu ước lượng tốc độ. Từ thông đặt là 0.5 (Wb).

Độ vọt lố của tín hiệu tốc độ tại thời điểm khởi động là 4%. Thời gian quá độ là 0.03 (s). Tại thời điểm tăng tốc, tốc độ nhanh chóng tiến về trạng thái xác lập sau 0.05 (s), sai số xác lập là 0.127 %.

3.5. Trường hợp động cơ khởi động không tải, sau đó đóng tải cho động cơ.

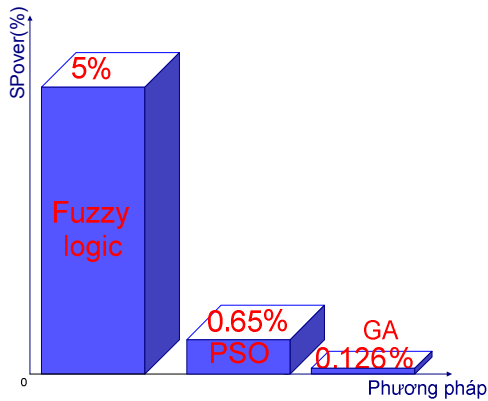


Hình 10. Đáp ứng khi đóng tải cho động cơ.

Khởi động động cơ với tốc độ 157 (rad/s), từ thông đặt 0.5 (Wb) và moment tải là 0 (Nm) trong 0.5 (s) giây đầu tiên. Sau đó đóng tải cho động cơ với moment tải là 3 (Nm). Độ vọt lố của tín hiệu tốc độ tại thời điểm khởi động là 3%. Tốc độ động cơ tại thời điểm đóng tải vẫn bám sát giá trị đặt. Moment tại thời điểm đóng tải có độ vọt lố là 4.9 (Nm) diễn ra trong vòng 0.01 (s), thời gian xác lập 0.05 (s) với sai số xác lập là 0.13%.

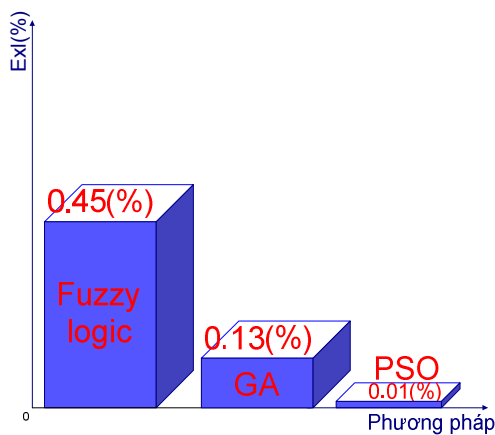
3.6. Kết quả so sánh đáp ứng tốc độ của phương pháp GA với hai phương pháp Fuzzy logic và giải thuật bầy đàn -PSO.

- Độ vọt lố của tín hiệu tốc độ.



Hình 11. Độ vọt lố của tín hiệu tốc độ.

- Sai số xác lập của tín hiệu tốc độ.



Hình 12. Sai số xác lập của tín hiệu tốc độ.

Kết quả phương pháp Fuzzy logic trích từ luận văn tốt nghiệp của tác giả Phạm Văn Lực, đề tài mang tên “ Ứng dụng phương pháp điều khiển PID mờ kết hợp với phương pháp định hướng trường để điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ ba pha” [5].

Kết quả phương pháp PSO trích từ luận văn tốt nghiệp của tác giả Huỳnh Đức Chấn, đề tài mang tên “ Ứng dụng thuật giải bầy đàn (PSO) để tối ưu hóa thông số bộ PID trong điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ ba pha” [6].

3.7. Nhận xét.

Kết quả cho thấy kết quả đáp ứng tốc độ của phương pháp GA tốt hơn so với phương pháp logic mờ. Sai số xác lập, độ vọt lố của phương pháp GA nhỏ hơn nhiều so với phương pháp logic mờ.

Kết quả cũng cho thấy phương pháp GA cho tốc độ có độ vọt lố thấp hơn so với phương pháp PSO. Tuy nhiên, sai số xác lập trong phương pháp PSO nhỏ hơn phương pháp GA.

4. Kết luận.

Phương pháp tối ưu hóa thông số bộ PID khi sử dụng giải thuật di truyền đã cho thấy những ưu điểm như:

- Đáp ứng tốc độ có độ vọt lố thấp.
- Thời gian đáp ứng nhanh, động cơ nhanh chóng trở về trạng thái xác lập.
- Đặc biệt là khi sử dụng phương pháp ước lượng tốc độ để hồi tiếp trong quá trình điều khiển thì phương pháp GA giúp chọn bộ thông số K_p , K_i của bộ điều tốc một cách tối ưu nhất để sai số giữa đáp ứng ngõ ra mong muốn và ngõ ra ước lượng là nhỏ nhất.
- Giải thuật GA đưa ra một tập các thông số K_p , K_i thích hợp với từng cấp tốc độ và moment tải khác nhau. Kết quả này làm tăng sự hiệu quả khi điều khiển động cơ ở nhiều vùng tốc độ và phụ tải khác nhau trong dãy công suất cho phép.
- Trong quá trình hoạt động của động cơ, ở những thời điểm thay đổi tải, độ vọt lố cũng như độ sụt dốc ở các đại lượng là không đáng kể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu tiếng Việt:

- [1] Nguyễn Thị Phương Hà, *Lý thuyết điều khiển hiện đại*, NXB Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, 2010.
- [2] Huỳnh Thái Hoàng, *Hệ thống điều khiển thông minh*, NXB Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, 2006.
- [3] Nguyễn Văn Nhờ, *Cơ sở truyền động điện*, NXB Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, 2003.
- [4] Nguyễn Phùng Quang, *Truyền động điện thông minh*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2004.
- [5] Phạm Văn Lực, *Ứng dụng phương pháp điều khiển PID mờ kết hợp với*

phương pháp định hướng trường để điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ ba pha, Tp. Hồ Chí Minh, 2011.

- [6] Huỳnh Đức Chân, *Ứng dụng thuật giải bầy đàn (PSO) để tối ưu hóa thông số bộ PID trong điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ ba pha*, Tp. Hồ Chí Minh, 2011.

Tài liệu tiếng nước ngoài:

- [7] Neenu Thomas , Dr. P. Poongodi, *Position control of DC motor using genetic algorithm based PID controller*, WCE, 2009, July 1-3, 2009, London, UK.
- [8] Cetin Elmas and M.Ali Akcayol, *Genetic PI controller for a permanent magnet synchronous motor*, Gazi University, Ankara, Turkey.
- [9] Shady M. Gadoue, D. Giaouris, and J.W.Finch, *Genetic algorithm optimized PI and fuzzy sliding mode speed control for DTC drives*.
- [10] M.A. Zanjani, GH.Shahgholian, S. Eshtehardiya, *Gain tuningPID and PI controller with an Adaptive controller based on the genetic algorithm for improvement operation of Statcom*, Department of electrical Engineering, Islamic Azad University, Iran.
- [11] C.C. Chan, W.S. Leung, *Adaptive decoupling control of induction motor drives*, IEEE transaction on industrial electronics.
- [12] Brian R Copeland, *The design of PID controllers using Ziegler Nichols tuning*, March 2008.