

## ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ CHO HAI ĐỘNG CƠ XOAY CHIỀU LÀM VIỆC SONG SONG NỐI CỨNG TRỰC

**Lê Hồng Thu\*, Vũ Thị Oanh, Nguyễn Thị Thu Hiền**

*Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – Đại học Thái Nguyên*

### TÓM TẮT

Trong thời đại công nghiệp hóa hiện đại hóa gắn liền với tri thức hiện nay, việc ứng dụng các chiến lược điều khiển nâng cao trong các hệ thống điều khiển. Trong thực tế sản xuất cho thấy việc sử dụng một động cơ có công suất lớn gặp nhiều khó khăn trong thiết kế và vận hành. Bài báo này trình bày chiến lược điều khiển thích nghi dựa trên mô hình mẫu nhằm điều tốc cho 2 động cơ xoay chiều làm việc song song nối cứng trực có công suất tương đương một động cơ công suất lớn. Kết quả nghiên cứu được kiểm chứng bước đầu thông qua kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink và tiếp đến làm cơ sở để triển khai hệ thống trên mô hình thực.

**Từ khóa:** *điều khiển tốc độ, động cơ xoay chiều, làm việc song song, điều khiển thích nghi MRAS*

*Ngày nhận bài: 03/6/2019; Ngày hoàn thiện: 08/7/2019; Ngày đăng: 26/7/2019*

## DESIGNING CONTROLLER FOR TWO MOTORS CONNECTED BY ONE SHAFT

**Le Hong Thu\*, Vu Thi Oanh, Nguyen Thi Thu Hien**

*University of Information and Communication Technology - TNU*

### ABSTRACT

In recent years, we have seen many applications of advanced control strategies in control systems. In production line, the use of a large capacity motor has faced many problems in design and operation. This paper presents an adaptive control strategy based on a base model, which control two AC motors connected to a rigid shaft, which has a capacity equivalent to a large capacity motor. The result was verified by a Matlab/Simulink simulation and can be further applied in real models.

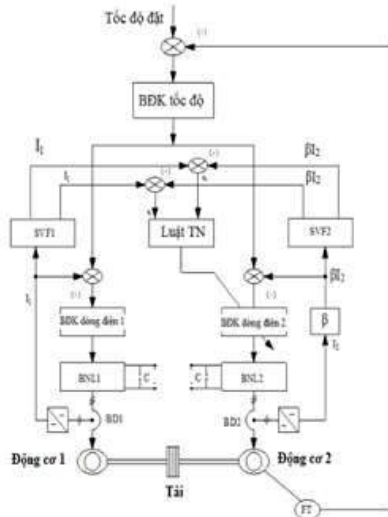
**Keywords:** *speed control, motor, parallel operation, adaptive MRAS control...*

*Received: 03/6/2019; Revised: 08/7/2019; Published: 26/7/2019*

\* Corresponding author. Email: hongthuk44kd5@gmail.com

**1. Mở đầu**

Trong thời gian gần đây, các hệ truyền động sử dụng động cơ ba pha và phương pháp điều khiển liên tục được phát triển. Nếu sử dụng những động cơ công suất lớn đáp ứng được yêu cầu của tải thường gặp nhiều khó khăn trong thiết kế, chế tạo và vận hành. Giải pháp khắc phục các khó khăn trên là thay vì chỉ sử dụng một động cơ công suất lớn ta sử dụng hai động cơ có tổng công suất bằng công suất của động cơ cần thay thế, các động cơ sử dụng có cùng tốc độ định mức và công suất định mức, nối cứng trực với nhau.



Hình 1. Cấu trúc hệ thống điều khiển

**2. Tổng quan về phân chia tải cho hai động cơ xoay chiều nối cứng trực**

Ta sử dụng cấu trúc điều khiển hai mạch vòng điều khiển, với mạch vòng tốc độ là bộ điều khiển PID có thông số cố định chung cho cả hai động cơ, mạch vòng dòng điện sử dụng 2 bộ điều khiển PID riêng cho hai động cơ, bộ điều khiển dòng điện động cơ 1 với thông số cố định thông số của bộ điều khiển này được chọn làm mẫu còn thông số bộ điều khiển dòng của động cơ 2 được hiệu chỉnh dựa trên sai lệch về dòng điện giữa hai động cơ. Như vậy bộ điều khiển dòng của động cơ 2 là bộ điều khiển thích nghi được thiết kế dựa trên mô hình mẫu được tạo bởi bộ điều khiển dòng động cơ 1 Với cấu trúc này trong quá trình

vận hành, dòng điện động cơ 1 được xem là dòng mẫu, dòng động cơ 2 luôn bám dòng điện của động cơ 1 với sai lệch nhỏ nhất [1].

**3. Mô hình toán học hai động cơ xoay chiều làm việc song song nối cứng trực trên hệ trục tọa độ dq**

**3.1. Phương trình toán mô tả động cơ 1**

- Phương trình mạch Stator trên hệ tọa độ dq của động cơ đồng bộ 1:

$$u_{sd1} = R_{s1}i_{sd1} + L_{sd1} \frac{di_{sd1}}{dt} - \omega_s L_{sq1} i_{sq1} \tag{1}$$

$$u_{sq1} = R_{s1}i_{sq1} + L_{sq1} \frac{di_{sq1}}{dt} - \omega_s L_{sd1} i_{sd1} + \omega_s \psi_p$$

- Phương trình tính điện áp Mtu động cơ đồng bộ 1.

$$u_{sd1} = R_{s1}y_{d1} - \omega_s L_{sq1} \frac{y_{d1}}{1 + sT_{sq1}} \tag{2}$$

$$u_{sq1} = R_{s1}y_{q1} - \omega_s L_{sd1} \frac{y_{d1}}{1 + sT_{sd1}} + \omega_s \psi_p$$

**3.2. Phương trình toán mô tả động cơ 2**

- Phương trình mạch Stator trên hệ tọa độ dq của động cơ đồng bộ 2:

$$u_{sd2} = R_{s2}i_{sd2} + L_{sd2} \frac{di_{sd2}}{dt} - \omega_s L_{sq2} i_{sq2} \tag{3}$$

$$u_{sq2} = R_{s2}i_{sq2} + L_{sq2} \frac{di_{sq2}}{dt} - \omega_s L_{sd2} i_{sd2} + \omega_s \psi_p$$

- Phương trình tính điện áp Mtu động cơ đồng bộ 02.

$$u_{sd2} = R_{s2}y_{d2} - \omega_s L_{sq2} \frac{y_{d2}}{1 + sT_{sq2}} \tag{4}$$

$$u_{sq2} = R_{s2}y_{q2} - \omega_s L_{sd2} \frac{y_{d2}}{1 + sT_{sd2}} + \omega_s \psi_p$$

**3.3. Phương trình mô men cho hai động cơ nối cứng trực, chung tải**

$$m_{Mtotong} = m_{M1} + m_{M2} \tag{5}$$

Trong đó:

Momen của động cơ 1 trên hệ tọa độ dq:[2]

$$m_{M1} = \frac{3}{2} p_c [\Psi_r \cdot i_{sq1} + i_{sd1} \cdot i_{sq1} (L_{sd1} - L_{sq1})] \\ = \frac{3}{2} p_c [\Psi_p \cdot i_{sq1} + i_{sd1} \cdot i_{sq1} (L_{sd1} - L_{sq1})] \tag{6}$$

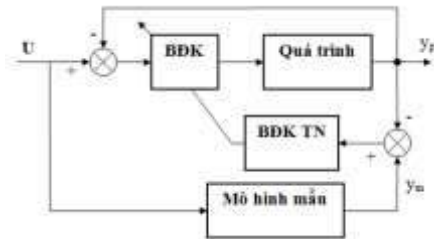
Momen của động cơ 02 trên hệ tọa độ dq:

$$m_{M2} = \frac{3}{2} p_c [\Psi_r \cdot i_{sq2} + i_{sd2} \cdot i_{sq2} (L_{sd2} - L_{sq2})] \\ = \frac{3}{2} p_c [\Psi_p \cdot i_{sq2} + i_{sd2} \cdot i_{sq2} (L_{sd2} - L_{sq2})] \quad (7)$$

**4. Điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu**

**4.1. Hệ thống điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu**

Hệ thống điều khiển thích nghi mô hình mẫu, được gọi là MRAC (Model Reference Adaptive Controllers) hay MRAS (Model Reference Adaptive Systems).[3]



**Hình 2.** Cấu trúc hệ thống điều khiển thích nghi

**4.2. Thiết kế hệ thống điều khiển thích nghi gián tiếp dựa vào phương pháp ổn định Liapunov**

Đối tượng điều khiển được điều khiển với bộ điều khiển PD. Các tham số của bộ điều khiển này là  $K_p$  và  $K_d$ . Sự thay đổi trong các tham số của đối tượng  $b_p$  và  $a_p$  có thể được bù bằng việc thay đổi  $K_p$  và  $K_d$ . Sau đó ta xây dựng luật thích nghi cho tham số của bộ điều khiển PD. Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản, chất lượng điều khiển tốt [4].

Hệ thống phản hồi của đối tượng bậc 2 được mô tả dưới dạng hàm truyền:

$$G(s) = \frac{b_p \cdot K_p}{s^2 + (a_p + b_p \cdot K_d)s + b_p \cdot K_p} \quad (8)$$

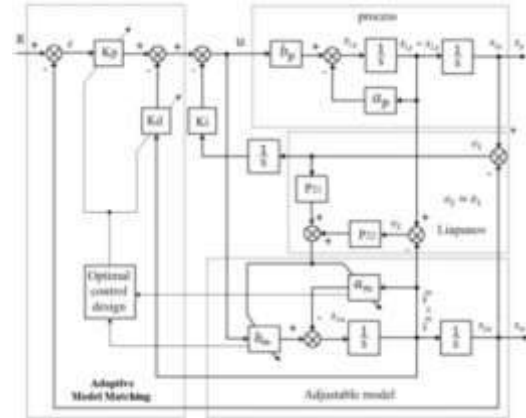
Chất lượng mong muốn của hệ thống được mô tả bởi hàm truyền sau:

$$T(s) = \frac{\omega_o^2}{s^2 + 2\xi\omega_o s + \omega_o^2} \quad (9)$$

Trong đó:

$\omega_o$  Là một tần số đặc trưng

$\xi$  là hệ số suy giảm



**Hình 3.** Hệ thống điều khiển thích nghi gián tiếp

Đối với mô hình mẫu trên miền thời gian liên tục được mô tả bởi hàm truyền:

$$G(s) = \frac{b_p \cdot K_p}{s^2 + (a_p + b_p \cdot K_d)s + b_p \cdot K_p} \quad (10)$$

Với hàm tối ưu được xác định như sau:

$$J = \int_0^{\infty} |\varepsilon(t)| dt \quad (11)$$

Trong đó:  $\varepsilon = R - x_m$

Ta suy ra hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} b_p \cdot K_p = \omega_o^2 \\ a_p + b_p \cdot K_d = 2\xi\omega_o \end{cases} \quad (12)$$

Suy ra:

$$K_p = \frac{\omega_o^2}{b_p}; K_d = \frac{2\xi\omega_o - a_p}{b_p} \quad (13)$$

Nếu  $\omega_o = 50; \xi = 0.7$

Thì ta có các tham số thích nghi của bộ điều khiển như sau:

$$K_p = \frac{2500}{b_p}; K_d = \frac{70 - a_p}{b_p}$$

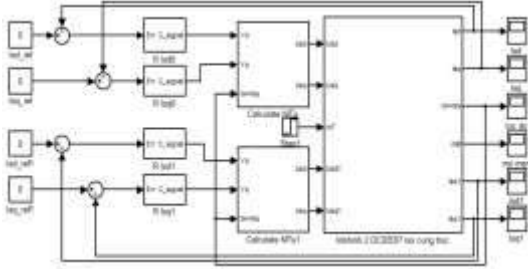
**4.3. Bộ điều khiển PID điều chỉnh dòng điện cho 2 động cơ đồng bộ 3 pha làm việc song song nối cứng trực**

Xây dựng bộ điều khiển PID dựa theo phương pháp thực nghiệm Ziegler –Nichols.

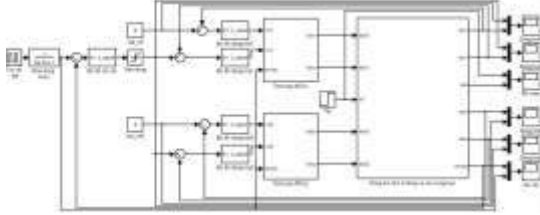
**4.4. Bộ điều khiển PID điều chỉnh tốc độ cho 2 động cơ đồng bộ 3 pha làm việc song song nối cứng trực**

Để ổn định tốc độ của động cơ trong quá trình làm việc khi tải thay đổi, mạch vòng điều chỉnh tốc độ tương ứng với mô hình 2 động

cơ nối cứng trực như được thực hiện bởi bộ điều khiển PID.



**Hình 4.** Cấu trúc bộ điều khiển PID điều chỉnh dòng đối với 2 động cơ đồng bộ nối cứng trực



**Hình 5.** Sơ đồ mạch ổn định tốc độ với 2 động cơ đồng bộ 3 pha nối cứng trực

Thông số các bộ điều khiển dòng được tìm ra dựa theo phương pháp Ziegler Nichols như sau:

Bộ PI<sub>sd1</sub> hiệu chỉnh mạch vòng dòng điện i<sub>sd1</sub> có hàm truyền:

$$PI_{sd1} = 10 + \frac{20}{s} \quad (14)$$

Bộ PI<sub>sq1</sub> hiệu chỉnh mạch vòng dòng điện i<sub>sq1</sub> có hàm truyền:

$$PI_{sq1} = 10 + \frac{20}{s} \quad (15)$$

Bộ PI<sub>sd2</sub> hiệu chỉnh mạch vòng dòng điện i<sub>sd2</sub> có hàm truyền:

$$PI_{sd2} = 10 + \frac{20}{s} \quad (16)$$

Bộ PI<sub>sq2</sub> hiệu chỉnh mạch vòng dòng điện i<sub>sq2</sub> có hàm truyền:

$$PI_{sq2} = 10 + \frac{20}{s} \quad (17)$$

Thông số bộ điều khiển ổn định tốc độ:

$$PI_{toccdo} = 0.5 + \frac{5}{s} \quad (18)$$

**4.5. Bộ điều khiển PI thích nghi điều chỉnh dòng điện**

Với phương pháp này giữ nguyên cấu trúc điều khiển hai mạch vòng điều khiển, bộ điều khiển PID mạch vòng tốc độ bên ngoài chung cho cả 2 động cơ với thông số cố định, hai bộ

điều khiển PID mạch vòng dòng điện bên trong riêng cho 2 động cơ, bộ điều khiển dòng điện động cơ 1 với thông số cố định, tín hiệu ra của bộ điều khiển này là tín hiệu mẫu, thông số bộ điều khiển dòng của động cơ thứ hai được hiệu chỉnh dựa trên sai lệch về dòng điện giữa 2 động cơ. Có nghĩa dòng phần ứng của cả hai động cơ luôn bằng nhau. [1].

**4.6. Thiết kế bộ điều khiển PID thích nghi điều chỉnh dòng điện I<sub>sq2</sub>**

Dựa theo các bước xây dựng bộ điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu (MRAS), ta tiến hành xây dựng bộ điều khiển PI thích nghi đối với dòng điện I<sub>sq2</sub>.

Các bước tiến hành thiết kế bộ PID thích nghi dựa theo phương pháp Liapunov như sau:

- Xác định phương trình vi phân cho e cho dòng i<sub>sq2</sub>:

Ta có phương trình sai số:

$$e_1 = e = i_{sq2} - i_{sq1} \quad (19)$$

Suy ra, phương trình vi phân của sai số sẽ là:

$$e_2 = \dot{e} = \frac{d}{dt}(i_{sq2} - i_{sq1}) \quad (20)$$

- Chọn hàm Lyapunov đối với dòng i<sub>sq2</sub>:

Trong bài toán này ta chọn hàm ổn định Lyapunov có phương trình:

$$V(e) = e^T P e + a^T \alpha a + b^T \beta b \quad (21)$$

- Xác định điều kiện để đạo hàm của V(e) xác định âm:

Biểu thức K<sub>p</sub> và K<sub>i</sub> thích nghi được xây dựng như

$$K_p(i_{sq2}) = \frac{1}{\alpha_{22}} \int (p_{21}e_1 + p_{22}e_2) \varepsilon dt + K_p(0) \quad (22)$$

$$K_i(i_{sq2}) = \frac{1}{\beta_{22}} \int (p_{21}e_1 + p_{22}e_2) dt + K_i(0)$$

Trong đó: ε là sai lệch giữa lượng đặt i<sub>sd2</sub>(ref) với đầu ra của hệ thống i<sub>sd2</sub>.

P<sub>21</sub>; P<sub>22</sub> là các phần tử thuộc ma trận đối xứng xác định dương P.

Giải phương trình:

$$A_m^T P + P A_m = -Q \quad (23)$$

Để tìm ra ma trận P ta cần tiến hành giải phương trình trên với Q là ma trận xác định dương.

Q được chọn như sau:

$$Q = \begin{bmatrix} -800 & 30.4 \\ 11.9 & 4.8 \end{bmatrix} \quad (24)$$

Sử dụng lệnh trên phần mềm **Matlab**:

>>lyap(**Am**,**Q**);

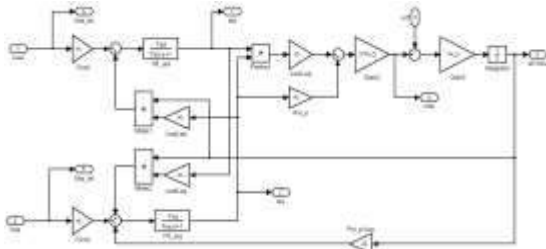
Suy ra ma trận **P**:

$$P = \begin{bmatrix} 0.1 & 1 \\ 1 & 0.1 \end{bmatrix} \quad (25)$$

### 5. Mô phỏng và kết quả

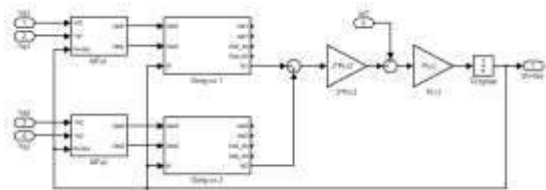
#### 5.1. Xây dựng đối tượng trên Matlab/Simulink

Mô hình mô phỏng của động cơ đồng bộ



**Hình 6.** Mô hình 1 động cơ đồng bộ

Mô hình mô phỏng của 2 động cơ đồng bộ làm việc song song nối cứng trực



**Hình 7.** Mô hình 2 động cơ đồng bộ nối cứng trực

Thông số kỹ thuật của động cơ

Công suất định mức: 45kW

Điện áp pha định mức: 220V

Tần số lưới điện: 50Hz

Điện trở cuộn dây stator: 0.08 Ω

Điện cảm dọc trục:  $L_{sd}=4.09$  mH

Điện cảm ngang trục:  $L_{sq}=5.13$  mH

Mô-men quán tính: 0.0002 kg.m<sup>2</sup>

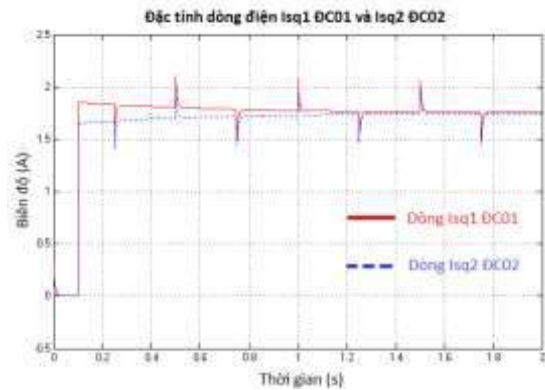
Từ thông cực:  $\psi_p=0.951$ Wb

Số đôi cực:  $p_c=4$

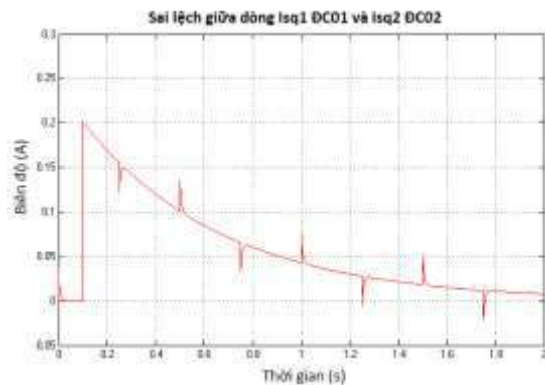
Tốc độ đặt  $\omega^* = 400$  (rad/s).

#### 5.2. Kết quả mô phỏng bộ điều khiển PID điều chỉnh tốc độ

Sau khi động cơ khởi động không tải được 0.1 giây ta sẽ cho động cơ mang tải là  $mT = 20$  Nm. Kết quả mô phỏng như sau:



**Hình 8.** Đặc tính dòng  $I_{sq}$  của động cơ 01 và 02 trên hệ tọa độ dq khi sử dụng bộ điều khiển PID



**Hình 9.** Sai lệch giữa dòng  $I_{sq1}$  của động cơ 1 với  $I_{sq2}$  của động cơ 2 khi sử dụng bộ điều khiển PID

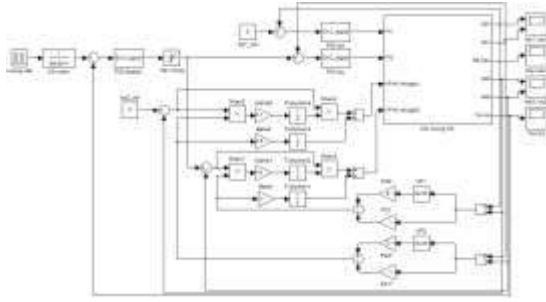
#### Nhận xét:

- Khi hệ thống làm việc ổn định tốc độ động cơ luôn bám theo giá trị đặt, như vậy sai lệch tĩnh của hệ thống gần như bằng không.
- Khi động cơ làm việc có tải ở thời điểm 0.1 giây, tốc độ động cơ giảm xuống nhưng ngay sau đó lại được ổn định bám trở lại tốc độ đặt.
- Dòng điện khởi động nằm trong phạm vi cho phép.
- Trong điều kiện thực tế 2 động cơ không hoàn toàn giống nhau sẽ có hiện tượng dòng điện  $I_{sq1}$  và  $I_{sq2}$  không hoàn toàn bám nhau.

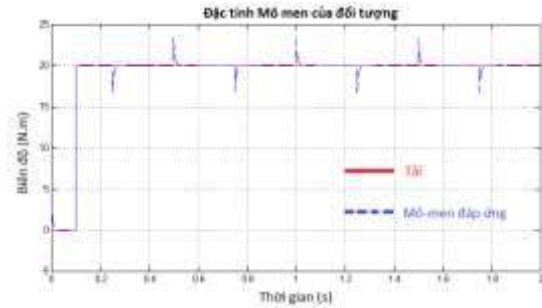
#### 5.3. Kết quả mô phỏng bộ điều khiển PI thích nghi

Từ biểu thức hệ số  $K_p$  và  $K_i$  thích nghi, cùng các tham số được tính như ở trên hệ thống điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu để hiệu chỉnh dòng  $i_{sq2}$  được thực hiện trên Matlab/Simulink để kiểm tra đáp ứng của hệ thống như (Hình 11) ta có kết quả

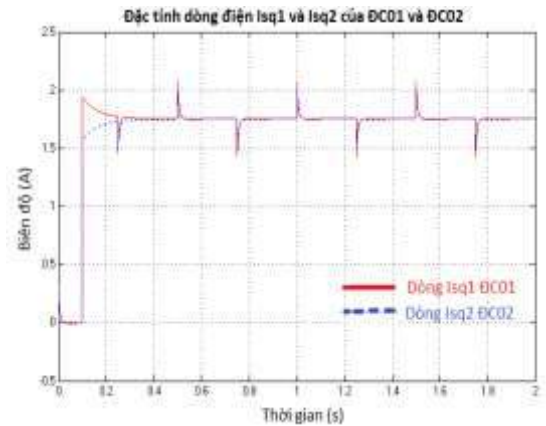




**Hình 10.** Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển thích nghi dòng điện  $i_{sd2}; i_{sq2}$  của động cơ 02 trên Matlab/Simulink



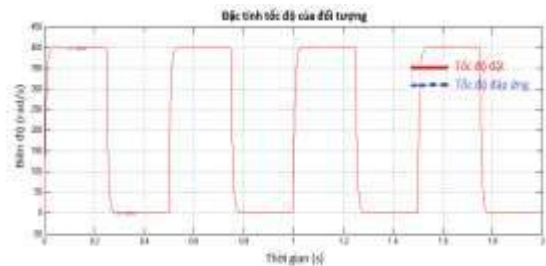
**Hình 14.** Đặc tính mô men của hệ thống



**Hình 11.** Đặc tính dòng điện  $I_{sq1}; I_{sq2}$  khi áp dụng bộ điều khiển PI thích nghi



**Hình 12.** Sai lệch giữa  $I_{sq1}; I_{sq2}$  khi áp dụng bộ điều khiển PI thích nghi



**Hình 13.** Đặc tính tốc độ của hệ thống

## 6. Kết luận

Qua các kết quả mô phỏng giữa việc sử dụng bộ điều khiển PID điều khiển tốc độ và việc sử dụng bộ điều khiển PI thích nghi ta thấy rằng:

Tín hiệu dòng điện đầu ra theo hệ dq của động cơ 02 trong (Hình 11) bám theo tín hiệu dòng điện đầu ra của động cơ 01 (mô hình mẫu) nhanh hơn so với (Hình 8).

Tốc độ đầu ra (Hình 13) luôn bám theo lượng đặt ngay trong điều kiện tải thay đổi (tải thay đổi lên 10N.m ở thời điểm 0.1s).

Các hệ số thích nghi của bộ điều khiển PI đối với dòng điện  $i_{sd2}$  và  $i_{sq2}$  hội tụ nhanh, đảm bảo hệ thống ổn định và cho chất lượng điều khiển tốt hơn.

Từ kết quả mô phỏng trên đã chứng minh được những ưu thế của việc sử dụng bộ điều khiển PI thích nghi theo mô hình mẫu đối với đối tượng là 2 động cơ xoay chiều 3 pha làm việc song song nối cứng trực. Giúp loại bỏ tình trạng trong quá trình làm việc một động cơ làm việc quá tải, động cơ còn lại non tải.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Duy Cường, “Cân bằng tải cho 02 động cơ làm việc song song, nối cứng trực”, *Đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Bộ*, 2014.
- [2]. Vũ Gia Hạnh, Trần Khánh Hà, Phan Tử Thụ, Nguyễn Văn Sáu, *Máy điện 2*, Nxb Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2003.
- [3]. Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Văn Liễn, Phạm Quốc Hải, Dương Văn Nghi, *Điều chỉnh tự động truyền động điện*, Nxb Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2004.
- [4]. Hồ Phạm Huy Ánh, *Điều khiển nâng cao máy điện quay*, Nxb Đại học Quốc Gia – TP. Hồ Chí Minh, 2017.