

## ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ CHO HAI ĐỘNG CƠ XOAY CHIỀU LÀM VIỆC ĐỒNG THỜI KÉO VẢI CHO HỆ THỐNG NHUỘM

Lê Hồng Thu\*, Nguyễn Thị Thu Hiền, Vũ Thị Oanh, Lê Thị Thu Huyền  
*Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên*

### TÓM TẮT

Trong thời đại công nghiệp hóa hiện đại hóa hiện nay, việc ứng dụng các thành tựu của kỹ thuật điều khiển trong đời sống sản xuất ngày càng được quan tâm. Trong thực tế sản xuất cho thấy, các hệ thống làm việc cần sử dụng nhiều động cơ điện và các động cơ này có mối liên hệ nhất định với nhau trong quá trình làm việc. Bài báo trình bày việc nghiên cứu quá trình điều khiển hai trục lô quần sử dụng hai động cơ không đồng bộ ba pha cho hệ thống nhuộm vải làm việc đồng thời theo yêu cầu. Mô tả toán học cho động cơ điện không đồng bộ trên hệ trục tọa độ dq, thiết kế điều khiển PID điều khiển tốc độ của hai động cơ dựa vào mối liên hệ giữa tốc độ dài với tốc độ quay để điều khiển hệ thống theo yêu cầu đã được triển khai. Kết quả nghiên cứu được kiểm chứng thông qua mô phỏng hệ thống trên phần mềm Matlab/ Simulink để chứng minh tính đúng đắn của kết quả nghiên cứu và làm cơ sở để triển khai hệ thống trên mô hình thực.

**Từ khoá:** Kỹ thuật điều khiển; điều khiển tốc độ; động cơ không đồng bộ; làm việc đồng thời; bộ điều khiển PID

*Ngày nhận bài: 21/5/2020; Ngày hoàn thiện: 30/8/2020; Ngày đăng: 31/8/2020*

## DESIGNING CONTROLLER FOR TWO MOTORS DOUBLE WORKING FABRIC FOR DYEING SYSTEM

Le Hong Thu\*, Nguyen Thi Thu Hien, Vu Thi Oanh, Le Thi Thu Huyen  
*TNU - University of Information and Communication Technology*

### ABSTRACT

In the era of industrialization and modernization, the application of the achievements of control technology in production life is increasingly concerned. In fact, production shows that working systems need to use many electric motors and these motors have a certain relationship with each other in the working process. This article presents the investigation the process of controlling two roller by using two three-phase asynchronous motors for the fabric dyeing system at the same time as required. The mathematical description for the asynchronous electric motor on the DQ coordinate system, the PID control design for speed control of two motors based on the relationship between long speed and rotation speed to control the system as required have been implemented. The research results were verified through system simulation on Matlab/ Simulink software to prove the accuracy of the research results and serve as a basis for implementing the system on real models.

**Keywords:** Control technology; speed control; asynchronous motor; work concurrently; PID controller

*Received: 21/5/2020; Revised: 30/8/2020; Published: 31/8/2020*

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

**1. Mở đầu**

Hiện nay các hệ truyền động sử dụng động cơ ba pha và các phương pháp điều khiển mới ngày càng được quan tâm. Trong các hệ thống có thể sử dụng nhiều động cơ cùng làm việc đồng thời; dẫn tới những yêu cầu về điều khiển các động cơ trong quá trình làm việc để đáp ứng các yêu cầu công nghệ. Như trong hệ thống kéo lô cuộn vải nhuộm của nhà máy dệt cần sử dụng đồng thời hai động cơ để kéo vải và cuộn vải sau khi nhuộm mà hai động cơ này làm việc không cùng tốc độ để đảm bảo số vải kéo ra nhuộm bằng lượng vải thành phẩm được cuộn vào. Trong thực tế đã có nhiều hệ thống sử dụng hai động cơ điện một chiều nhưng nội dung bài báo trình bày việc nghiên cứu hệ thống sử dụng hai động cơ điện xoay chiều với phương pháp sử dụng mạch vòng điều khiển tốc độ để điều khiển tốc độ động cơ hai phụ thuộc vào tốc độ của động cơ một dựa vào mối liên hệ giữa tốc độ dài và tốc độ quay.

**2. Tổng quan về điều khiển 2 động cơ quấn lô vải**

Hệ thống sử dụng hai động cơ ba pha làm việc đồng thời với động cơ một sẽ được đặt quay với tốc độ cố định  $\omega_1$  và khi lô quấn quay thì tốc độ dài của động cơ một sẽ thay đổi, để đảm bảo số vải tời ra và số vải cuộn vào bằng nhau thì tốc độ dài của động cơ hai được đặt bằng tốc độ dài đầu ra của động cơ một. Với yêu cầu trên, ta lựa chọn hai động cơ ba pha có cùng thông số với mạch vòng điều khiển tốc độ. Ta tiến hành xây dựng mối liên hệ giữa tốc độ dài và tốc độ quay của hai động cơ, trong đó tốc độ của động cơ một được đặt cố định trong quá trình làm việc nhờ có hàm tính toán lượng đặt biến thiên cho động cơ hai mà tốc độ của động cơ hai được đảm bảo với sai số nhỏ nhất sao cho lượng vải được động cơ một kéo ra để nhuộm sẽ được động cơ hai cuộn đủ sau khi nhuộm.

**3. Mô hình toán học cho động cơ không đồng bộ trên hệ trục tọa độ quay dq**

**3.1. Phương trình toán học mô tả động cơ trên hệ tọa độ dq**

Phương trình toán học mô tả động cơ trên hệ tọa độ dq như sau [1], [2]:

$$\begin{cases} \frac{di_{sd}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_r} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_s}\right)i_{sd} + \omega_s i_{sq} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \psi'_{rd} + \frac{1-\sigma}{\sigma} \omega \psi'_{rq} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sq} \\ \frac{di_{sq}}{dt} = -\omega_s i_{sd} - \left(\frac{1}{\sigma T_r} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_s}\right)i_{sq} - \frac{1-\sigma}{\sigma} \omega \psi'_{rd} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \psi'_{rd} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sq} \\ \frac{d\psi'_{rd}}{dt} = \frac{1}{T_r} i_{sd} - \frac{1}{T_r} \psi'_{rd} + (\omega_s - \omega) \psi'_{rq} \\ \frac{d\psi'_{rq}}{dt} = \frac{1}{T_r} i_{sq} - (\omega_s - \omega) \psi'_{rd} - \frac{1}{T_r} \psi'_{rq} \end{cases} \quad (1)$$

Để thuận lợi cho việc thiết kế hệ thống điều khiển ta tuyến tính hóa mô hình động cơ xung quanh điểm làm việc, tại trạng thái xác lập ở điểm làm việc, ta có tốc độ  $\omega_{lv}$ , mô-men  $M_{lv}$  và dòng điện tải  $i_{lv}$ . Giả sử hệ thống có dao động rất nhỏ quanh điểm làm việc thì các đại lượng như điện áp, dòng điện, mô-men, từ thông, tốc độ cũng sẽ có dao động nhỏ tương ứng là:

$$\Delta U_{sd}, \Delta U_{sq}, \Delta i_{sd}, \Delta i_{sq}, \Delta \psi_{sd}, \Delta \omega_s, \Delta \omega_r$$

Ta viết:

$$U_{sd} = U_{sdlv} + \Delta U_{sd}$$

$$U_{sq} = U_{sqlv} + \Delta U_{sq}$$

$$i_{sd} = i_{sdlv} + \Delta i_{sd}$$

$$i_{sq} = i_{sqlv} + \Delta i_{sq}$$

$$\psi_{sd} = \psi_{sdlv} + \Delta \psi_{sd}$$

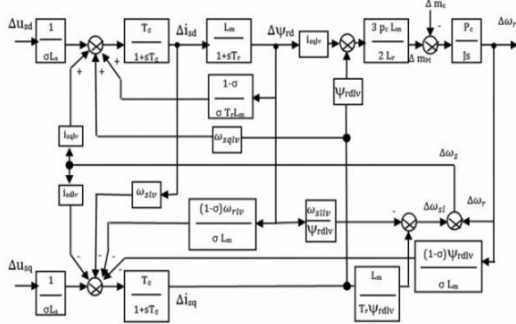
Thay tất cả các đại lượng trên vào hệ phương trình mô tả động cơ trên hệ tọa độ dq, sau phép biến đổi và bỏ qua các giá trị vô cùng bé bậc cao ta có hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta i_{sd}}{dt} = -\frac{1}{T_r} \Delta i_{sd} + \Delta \omega_s i_{sqlv} + \omega_{slv} \Delta i_{sq} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \frac{\Delta \psi_{rd}}{L_m} + \frac{1}{L_s} \Delta U_{sd} \\ \frac{d\Delta i_{sq}}{dt} = -\Delta \omega_s i_{sdlv} - \omega_{slv} \Delta i_{sd} - \frac{1}{T_r} \Delta i_{sq} - \frac{1-\sigma}{\sigma} \Delta \omega_s \frac{\psi_{rdlv}}{L_m} - \frac{1-\sigma}{\sigma} \omega_{slv} \frac{\Delta \psi_{rd}}{L_m} + \frac{1}{\sigma L_s} \Delta U_{sq} \\ \frac{d\Delta \psi_{rd}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} \Delta i_{sd} - \frac{1}{T_r} \Delta \psi_{rd} \\ 0 = \frac{L_m}{T_r} \Delta i_{sq} - \Delta \omega_s \psi_{rdlv} - \omega_{slv} \Delta \psi_{rd} \end{cases} \quad (2)$$

$$\Delta m_M = \frac{3}{2} p_c \frac{L_m}{L_r} (\Delta \psi_{rd} i_{sqlv} + \psi_{rdlv} \Delta i_{sq}) \quad (3)$$

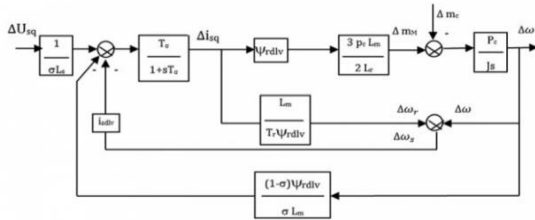
**3.2. Mô hình động cơ trên hệ tọa độ dq**

Từ hệ phương trình ta lập được mô hình động cơ trên hệ tọa độ dq như trong hình 1.



**Hình 1.** Mô hình tuyến tính động cơ trên hệ tọa độ quay dq

Nếu điều chỉnh mô-men động cơ quay theo quy luật từ thông không đổi thì có mô hình tuyến tính mới có dạng như trong hình 2:



**Hình 2.** Mô hình tuyến tính hóa rút gọn động cơ trên hệ tọa độ quay dq

**4. Thiết kế hệ thống điều khiển**

**4.1. Xây dựng mô hình toán của bộ biến đổi độ rộng xung PWM [3]**

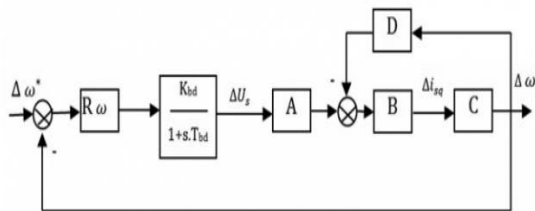
Bộ nghịch lưu điều biến độ rộng xung PWM có hàm truyền:

$$W_{PWM} = \frac{K_{bd}}{1 + T_{bd} \cdot s} \tag{4}$$

Trong đó: K<sub>bd</sub> - Hệ số khuếch đại, T<sub>bd</sub> - Hằng số thời gian mạch nghịch lưu.

**4.2. Sơ đồ cấu trúc điều khiển mạch vòng tốc độ động cơ**

Sơ đồ cấu trúc điều khiển mạch vòng tốc độ động cơ như trong hình 3:



**Hình 3.** Sơ đồ mạch điều chỉnh tốc độ

Trong đó:

$$A = \frac{1}{\sigma L_s}$$

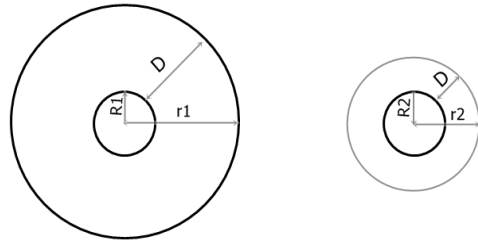
$$B = \frac{T_\sigma \cdot T_r \cdot \psi_{rdlv}}{T_r \cdot \psi_{rdlv} + T_\sigma \cdot L_m \cdot i_{dlv} + T_\sigma \cdot T_r \cdot \psi_{rdlv} \cdot s} = \frac{K_b}{1 + T_b \cdot s} \tag{5}$$

$$C = \frac{3 \cdot \psi_{rdlv} \cdot P_c^2 L_m}{2 L_c \cdot j \cdot s} = \frac{K_C}{s}$$

$$D = \frac{i_{sdlv} \cdot \sigma \cdot L_m + (1 - \sigma) \psi_{rdlv}}{\sigma \cdot L_m}$$

**4.3. Mối liên hệ giữa tốc độ quay và tốc độ dài [4]**

Giả sử kích thước của lô quấn ứng với động cơ một và hai độ dày của mỗi lớp vải, và độ dày của mỗi cuộn vải được mô tả như hình 4:



**Hình 4.** Mô tả độ dày hai cuộn vải

r<sub>1</sub>: Bán kính của lô quấn một ứng với động cơ ba pha đồng bộ một (m)

r<sub>2</sub>: Bán kính của lô quấn hai ứng với động cơ 3 pha đồng bộ thứ hai (m)

D: độ dày của tổng số lớp vải quấn vào lô quấn một (m)

ΔD : là độ dày của mỗi lớp vải (m)

ω<sub>1</sub> : là tốc độ quay của động cơ một (rad/s)

v<sub>1</sub> : là tốc độ dài của động cơ một (m/s)

ω<sub>2</sub> : là tốc độ quay của động cơ hai (rad/s)

v<sub>2</sub> : là tốc độ dài của động cơ hai (m/s)

Bán kính của lô quấn một (khi cuộn vải chưa tời) là:

$$r_1 = R_1 + D = R_1 + n \cdot \Delta D \tag{6}$$

Tốc độ dài ứng với động cơ một và lô quấn thứ nhất khi bán kính biến thiên do kéo vải được tính như sau:

$$v_1 = \omega_1 \cdot r_1 = \omega_1 \cdot (R_1 - n_1 \cdot \Delta D) = \omega_1 \cdot \left( R_1 - \int \omega_1 \cdot dt \cdot \Delta D \right) \tag{7}$$

Tốc độ dài ứng với động cơ hai và lô quấn thứ hai khi bán kính biến thiên do cuộn vải được tính như sau:

$$v_2 = \omega_2 \cdot r_2 = \omega_2 \cdot (R_2 + n_2 \cdot \Delta D) = \omega_2 \cdot \left( R_2 + \int \frac{\omega_2 \cdot dt}{2\pi} \cdot \Delta D \right) \quad (8)$$

Để số vải lô quần một tời ra được cuộn lại hết do lô quần hai thì tốc độ dài của động cơ và lô quần một phải bằng tốc độ dài của động cơ và lô quần hai.

$$v_1 = v_2 = \omega_1 \cdot r_1 = \omega_2 \cdot r_2 \Leftrightarrow \omega_2 = \frac{r_1}{r_2} \cdot \omega_1 \quad (9)$$

Có thể biểu diễn bởi công thức sau:

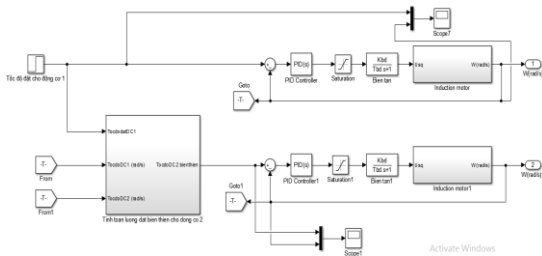
$$\omega_2 = \left( \frac{R_1 - \int \omega_1 \cdot dt}{2\pi} \cdot \Delta D}{R_2 + \int \frac{\omega_2 \cdot dt}{2\pi} \cdot \Delta D} \right) \cdot \omega_1 \quad (10)$$

Động cơ một sẽ được đặt quay với tốc độ cố định  $\omega_1$  và khi lô quần quay thì tốc độ dài của động cơ và lô quần một sẽ thay đổi (v1), để đảm bảo số vải tời ra và số vải cuộn vào thì tốc độ dài của động cơ hai được đặt bằng tốc độ dài đầu ra của động cơ một.

### 5. Mô phỏng và kết quả

#### 5.1. Xây dựng mô hình hệ thống trên Matlab/ Simulink

Đối tượng điều khiển ở đây là hai động cơ không đồng bộ, một động cơ trục lô quần tời vải và một động cơ lô quần thu vải lại. Do đó ta lựa chọn thông số của hai động cơ là như nhau. Từ các bước tính toán và thiết kế bộ điều khiển mạch vòng tốc độ nêu trên ta tiến hành xây dựng mô hình điều khiển tốc độ hai động cơ không đồng bộ ba pha trên phần mềm Matlab/ Simulink như hình 5, [5]-[7].



Hình 5. Sơ đồ mô phỏng hệ thống trên phần mềm Matlab

#### Thông số kỹ thuật của động cơ

Cho thông số động cơ như sau:

$P_{dm} = 3,7 \text{ KW}$ ;  $\cos \varphi = 0,8$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $U_{dm} = 380 \text{ V}$ ;  $j_{dc} = 0,22 \text{ kgm}^2$ ;  $\omega_{dm} = 148,7 \text{ rad/s}$ ;  $P_c = 2$ ;  $L_m = 0,1545 \text{ H}$ ;  $L_{\sigma s} = 0,1657 \text{ H}$ ;  $R_s = 2\Omega$ ;  $I_{sdlv} = 6A$ .

Các tham số tính toán cho hệ truyền động sử dụng động cơ không đồng bộ ba pha điều khiển vectơ như sau:

Điện cảm mạch stato:

$$L_s = L_{\sigma s} + L_m = 0,32023H$$

Điện cảm mạch rôto:

$$L_r = L_{\sigma r} + L_m = 0,32023H$$

Hằng số thời gian stato:  $T_s = \frac{L_s}{R_s} = 0.16012(s)$

Hằng số thời gian rôto:  $T_r = \frac{L_r}{R_r} = 0.16012(s)$

Hệ số tản từ:  $\psi_{rdlv} = L_m \cdot I_{sdlv} = 0,927(Wb)$

Hằng số thời gian:

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_r L_s} = 0.76723; \frac{1}{T_\sigma} = \frac{1}{\sigma T_s} - \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} = 10.035$$

Thông số mạch nghịch lưu điều biến độ rộng xung với điện áp điều khiển  $U_{dk} = 17,3 \text{ (V)}$  điện áp ra  $U = 380(V)$  ta có kết quả tính toán  $K_{bd} = 380/17,3 = 22$ .

$$W_{PWM} = \frac{K_{bd}}{1 + T_{bd} \cdot s} = \frac{22}{1 + 0.001 \cdot s}$$

$$A = \frac{1}{\sigma L_s} = 4.07019$$

$$B = \frac{K_b}{1 + T_b \cdot s} = \frac{0,061424}{1 + 0,061424 \cdot s}$$

$$C = \frac{K_c}{s} = \frac{12,19}{s}$$

$$D = \frac{i_{sdlv} \cdot \sigma \cdot L_m + (1 - \sigma) \psi_{rdlv}}{\sigma \cdot L_m} = 7,82$$

Trong đó:

$$K_b = \frac{T_\sigma \cdot T_r \cdot \psi_{rdlv}}{T_r \cdot \psi_{rdlv} + T_\sigma \cdot L_m \cdot i_{sdlv}} = 0.061424$$

$$T_b = K_b = 0.061424$$

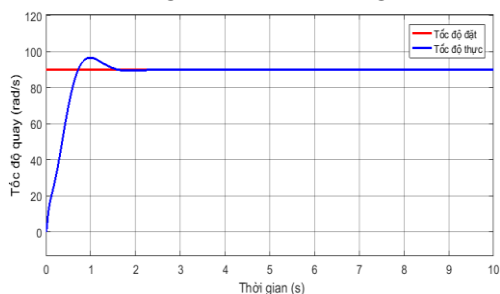
$$K_c = \frac{3 \cdot \psi_{rdlv} \cdot P_c \cdot L_m}{2 L_r \cdot J} = \frac{3,4}{0,22} = 12,19$$

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

Tốc độ đặt cho động cơ một là 90 rad/s, với bộ điều khiển PID được tính toán theo

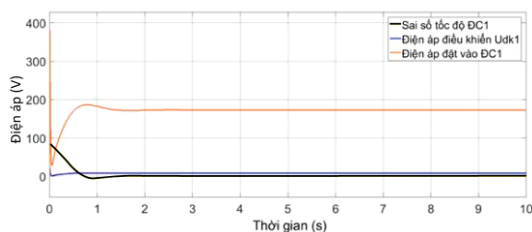
phương pháp Ziegler - Nichols thứ nhất, ta có kết quả mô phỏng như sau:

Tốc độ của động cơ một như trong hình 6.



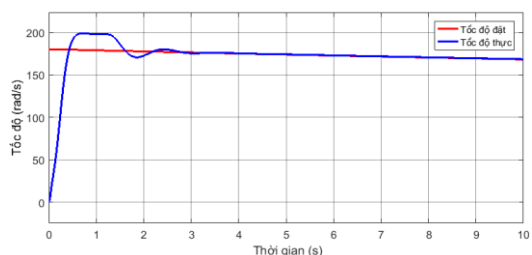
**Hình 6.** Kết quả mô phỏng đường đặc tính đáp ứng tốc độ của động cơ 01

Sai số tốc độ, điện áp điều khiển, điện áp đặt vào động cơ một như trong hình 7.



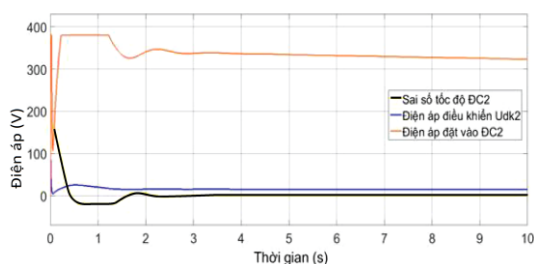
**Hình 7.** Sai số tốc độ, điện áp điều khiển, điện áp đặt vào động cơ một; tốc độ của động cơ hai

Tốc độ của động cơ hai như trong hình 8.



**Hình 8.** Kết quả mô phỏng đường đặc tính đáp ứng tốc độ của động cơ 02

Sai số tốc độ, điện áp điều khiển, điện áp đặt vào động cơ hai như trong hình 9.



**Hình 9.** Sai số tốc độ, điện áp điều khiển, điện áp đặt vào động cơ 02

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. Tốc độ đặt cho động cơ một là 90 rad/s, ta thấy là tốc độ thực của động cơ một với bộ điều khiển PID được tính toán theo phương pháp thực nghiệm bám với tốc độ đặt với độ quá điều chỉnh là 7 rad/s, thời gian thiết lập là 2s và không có sai lệch tĩnh. Nhờ có hàm tính toán lượng đặt biến thiên cho động cơ hai và bộ điều khiển PID được tính toán theo phương pháp thực nghiệm mà tốc độ thực tế của động cơ hai bám với tốc độ đặt được tính toán và gần như không có sai lệch tĩnh.

## 6. Kết luận

Như vậy, dựa vào kết quả mô phỏng chế độ làm việc của hai động cơ không đồng bộ ba pha làm việc đồng thời với mạch vòng điều khiển tốc độ và hàm tính toán lượng đặt biến thiên cho động cơ hai, gắn với yêu cầu thực tế là điều khiển hai trục lô quấn sử dụng hai động cơ không đồng bộ có cùng thông số. Do tính chất không đồng dạng của hai lô quấn dẫn đến tốc độ đặt của lô quấn thứ hai phụ thuộc vào tốc độ dài của lô quấn thứ nhất và tốc độ dài đầu ra của lô quấn thứ hai.

Kết quả mô phỏng chỉ ra là khi độ dày của lớp vải kéo ra khỏi lô quấn một thì tốc độ đặt cho động cơ hai cần thay đổi theo biểu thức liên hệ giữa tốc độ dài của lô quấn hai tương đối với tốc độ của lô quấn một cả hai động cơ đều có tốc độ thực bám sát với tốc độ đặt với sai lệch tĩnh gần bằng không.

Từ kết quả mô phỏng trên đã chứng minh được những ưu thế của việc sử dụng hai động cơ xoay chiều ba pha làm việc đồng thời thông qua mối liên hệ giữa tốc độ dài và tốc độ quay. Giúp loại bỏ tình trạng hai động cơ làm việc độc lập không đảm bảo yêu cầu về công nghệ.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1]. G. H. Vu, K. H. Tran, T. T. Phan, and V. S. Nguyen, *Electric machines*. Science and technology Publishing house, Hanoi, 2005.

- 
- [2]. P. Q. Nguyen, and J. -A. Dittrich, *Vector Control of Three-Phase AC Machines*, Springer, 2013.
- [3]. D. P. Nguyen, *Advanced control theory*. Science and technology Publishing house, Hanoi, 2007.
- [4]. X. M. Tran, and N. H. Nguyen, *Synthesis of electro- mechanical systems*. Vietnam Education Publishing House, Hanoi, 2011.
- [5]. D. C. Nguyen, and H. Puta, *Design of MRAS Based Control Systems for Load Sharing of Two DC Motors with a Common Stiff Shaft*, ICCAIS, 2013.
- [6]. W. Y. Yang, W. Cao, T. S. Chung, and J. Morris, *Applied Numerical Methods Using MATLAB*. John Wiley & Sons, Inc., ISBN, 0-471-69833-4, 2005.
- [7]. H. T. Le, T. O. Vu, and T. T. H. Nguyen "Designing controller for two motors connected by one shaft," *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 204, no. 11, pp. 59-64, 2019.