

LOGIC MỜ TRONG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN ĐỒNG TỐC ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

FUZZY LOGIC-BASED SPEED CONTROLLER IN MULTI THREE-PHASE INDUCTION MOTOR

Nguyễn Thị Hiền

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu một hệ thống đồng tốc các động cơ không đồng bộ ba pha sử dụng bộ điều khiển logic mờ. Với hai biến đầu vào là sai số tốc độ và độ biến thiên của nó, bộ điều khiển mờ được sử dụng trong hệ thống nhằm điều chỉnh tốc độ của mỗi động cơ. Hệ thống đồng tốc hoạt động theo nguyên lý điều khiển chủ/tớ, tốc độ của động cơ trước là tốc độ tham chiếu cho động cơ sau. Các biến tần nguồn áp sử dụng trong hệ thống hoạt động theo phương pháp V/f, với nguyên lý điều chế xung SPWM. Hệ thống được kiểm nghiệm bằng Matlab/Simulink, kết quả mô phỏng cho thấy tính hợp lý của hệ thống với bộ điều khiển đã đề xuất.

Từ khóa: Đồng tốc, điều khiển mờ, ĐCKĐB.

ABSTRACT

This paper presents a motion controller used for synchronizing multi three-phase induction motors. Fuzzy logic controller with two input variables (speed error and change of speed error) has been utilized to be part of the complete control system to implement a speed controller for three-phase induction motor. Master/Slave technique has been adopted in system, the former motor's speed is the reference for the latter's. A voltage source PWM inverter with ratio V/f constant is utilized in each motion drive. The proposed system has been validated by Matlab/Simulink, the simulation results showed its validity.

Keywords: Synchronization, fuzzy logic, induction motor.

Học viện Nông nghiệp Việt Nam

Email: nthien@vnua.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/7/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2018

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các dây chuyền sản xuất, chế biến có các khâu cấp liệu, định lượng, đóng gói và dán nhãn sản phẩm, sự ổn định của hệ thống, sự chính xác và đồng bộ của các cơ cấu chấp hành (hay sự đồng bộ giữa các khâu) là rất quan trọng để đảm bảo năng suất, chất lượng và mỹ quan của sản phẩm [1].

Thực tế có nhiều nguyên nhân dẫn đến sự thiếu đồng bộ, thiếu chính xác trong hoạt động của các dây chuyền, băng tải trong quá trình sản xuất. Nguyên nhân có thể do các thiết bị trong dây chuyền đã cũ mòn, lão hóa (nên tốc

độ truyền động không đảm bảo như thiết kế), có thể do nguyên liệu không đồng đều, các thiết bị cấp liệu không đều, cũng có thể do các thông số của nguồn điện không ổn định,... Trong các dây chuyền sản xuất này, động cơ điện không đồng bộ (ĐCKĐB) là cơ cấu chấp hành rất phổ biến do có cấu tạo đơn giản, chắc chắn, vận hành tin cậy, hiệu suất cao,... [2, 3]. Việc điều chỉnh để các động cơ chạy đồng bộ với nhau, đảm bảo độ chính xác và đồng bộ cao giữa các khâu trong các dây chuyền, băng tải là cần thiết và hết sức quan trọng.

Thông thường, đối với các dây chuyền không yêu cầu công nghệ cao, việc đồng bộ có thể thực hiện bằng cách dùng một động cơ kéo tất cả các thiết bị (thông qua hộp số, truyền động xích, dây đai,...). Cấu trúc điều khiển này có đặc điểm là đơn giản, tỉ lệ tốc độ giữa các động cơ được giữ cố định, tuy nhiên tính linh hoạt của hệ thống kém [1, 4]. Một số dây chuyền có thể dùng một biến tần điều khiển các động cơ nối song song, hạn chế của hệ truyền động này là đòi hỏi các động cơ phải có thông số giống nhau hoàn toàn và công suất của biến tần phải lớn, dẫn đến giá thành của hệ thống tăng. Đối với các dây chuyền yêu cầu độ chính xác cao, độ linh hoạt lớn, việc đồng bộ tốc độ thường sử dụng biến tần kết hợp với PLC [4]. Mỗi biến tần được sử dụng để điều chỉnh tần số nguồn cung cấp cho một động cơ nhằm thay đổi tốc độ của động cơ. Trong thực tế, đây là phương pháp được sử dụng phổ biến do có nhiều ưu điểm: điều chỉnh vô cấp tốc độ, dải điều chỉnh rộng, cải thiện chế độ làm việc của động cơ, tiết kiệm năng lượng,...[2]. Còn PLC được lập trình theo thuật toán nhất định (ví dụ: nguyên lý chủ/tớ) để điều khiển tốc độ của các động cơ trong hệ thống chạy đồng bộ với nhau.

Mặt khác, trong các hệ thống điều khiển kinh điển, việc tổng hợp bộ điều khiển (ví dụ bộ điều khiển PI, PID) khá đơn giản, cho đáp ứng ổn định, tuy nhiên đòi hỏi phải có mô hình toán học của đối tượng điều khiển, trong khi thực tế, rất khó để xác định được chính xác mô hình này, nhất là đối với các hệ thống phức tạp, có chứa yếu tố bất định. Để khắc phục điều đó, bộ điều khiển logic mờ được sử dụng trong hệ thống. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, bộ điều khiển mờ có nhiều tính năng vượt trội so với các bộ điều khiển kinh điển, như đơn giản trong điều khiển do các luật điều khiển rất gần với cách tư duy của con người và đặc

biệt không đòi hỏi mô hình toán học của đối tượng [2, 5, 6]. Một loạt các nghiên cứu về ứng dụng của điều khiển mờ trong điều khiển tốc độ ĐCKĐB ba pha đã được công bố bởi các tác giả: Patil (2014), Badran (2013), Tripura (2011), Begum (2013), Hamed (2010),... Kết quả nghiên cứu cho thấy, bộ điều khiển mờ cho đáp ứng hệ thống tốt hơn so với các bộ điều khiển kinh điển, nhất là đối với các hệ thống phức tạp, không có sẵn mô hình toán học của đối tượng. Nghiên cứu này giới thiệu một hệ thống đồng bộ tốc độ của các ĐCKĐB theo nguyên lý điều khiển chủ/tớ. Bộ điều khiển mờ được xây dựng để điều khiển tốc độ của mỗi động cơ trong hệ thống. Bài toán đặt ra là các động cơ có thông số có thể khác nhau (gam công suất, tốc độ định mức), song chúng cần phải đảm bảo sự chuyển động đồng bộ với tốc độ xác lập hay thay đổi theo cùng một quy luật để đáp ứng yêu cầu công nghệ trong sản xuất.

Nội dung của bài báo được bố cục như sau: Mục 2 trình bày việc xây dựng bộ điều khiển logic mờ trong hệ thống điều khiển tốc độ ĐCKĐB ba pha. Ứng dụng của bộ điều khiển mờ trong điều khiển tốc độ ĐCKĐB và hệ thống đồng bộ tốc độ nhiều ĐCKĐB được thể hiện trong mục 3. Mô hình và các kết quả mô phỏng hệ thống trong Matlab/Simulink cũng được mô tả trong mục này. Phần 4 là các nhận xét, kết luận và hướng nghiên cứu trong thời gian tới.

2. XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN LOGIC MỜ

Điều khiển mờ dựa trên lý thuyết về logic mờ lần đầu được đề xuất bởi Zadeh [5]. Đây là một trong những bộ điều khiển thông minh, dựa trên các luật "Nếu - Thì", các biến trong biểu thức logic mờ không phải là các con số mà là các khái niệm (biến ngôn ngữ) nên rất gần với cách tư duy của con người. Ưu điểm của hệ thống sử dụng điều khiển mờ là không đòi hỏi mô hình toán học của đối tượng điều khiển, nên có thể áp dụng hiệu quả với các hệ thống phức tạp, kể cả với các hệ phi tuyến [2, 5].

Để thiết kế bộ điều khiển logic mờ, một việc rất quan trọng là xác định các biến vào/ra. Trong điều khiển tốc độ ĐCKĐB, hai biến đầu vào được sử dụng là sai số tốc độ (e) và độ biến thiên của sai số tốc độ (ce) [2, 4, 7]:

$$e = n_{\text{set}} - n_{\text{act}} \quad (1)$$

$$\text{và: } ce = \frac{de}{dt} \quad (2)$$

Trong đó: n_{set} - tốc độ mong muốn (tốc độ đặt) của động cơ [vòng/phút],

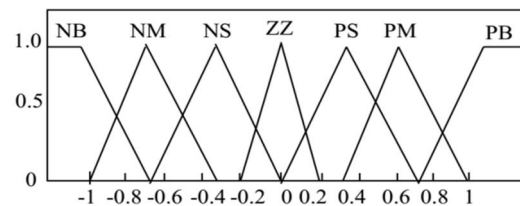
n_{act} - tốc độ thực tế của động cơ [vòng/phút].

Biến đầu ra của bộ điều khiển mờ là độ thay đổi tần số (u) của nguồn cung cấp cho động cơ, độ thay đổi này sau đó sẽ được tích phân để đưa ra tần số cần thiết của nguồn cấp, đáp ứng tốc độ yêu cầu của động cơ.

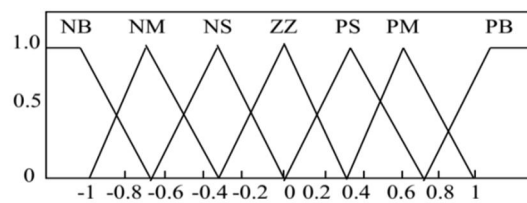
Hàm thuộc dạng tam giác được sử dụng cho các tín hiệu vào (hình 1), trong đó: NB - âm lớn, NM - âm vừa, NS - âm nhỏ, ZZ - không, PS - dương nhỏ, PM - dương vừa, PB - dương lớn. Để thuận tiện, các tín hiệu vào/ra của hệ thống được chuẩn hóa về miền xác định [-1, 1], bằng cách sử

dụng các bộ tiền xử lý và hậu xử lý K (hình 2). Biến ngôn ngữ đầu ra (độ thay đổi tần số) được thiết lập dựa trên mô hình Sugeno, mô tả bởi: NB = -1, NM = -0,5, NS = -0,25, ZZ = 0, PS = 0,25, PM = 0,5 và PB = 1. Các luật điều khiển được xây dựng theo quy luật:

NẾU e là x VÀ ce là y THÌ $u = f(e, ce)$



a)



b)

Hình 1. Hàm thuộc của biến đầu vào: a) sai số tốc độ; b) biến thiên của sai số tốc độ

Trong đó: e và ce là các biến đầu vào, u là biến đầu ra; x và y lần lượt là tập mờ của e và ce , $f(.)$ là hàm tuyến tính hoặc không đổi đối với các biến đầu vào. Tín hiệu ra của bộ điều khiển được giải mờ theo phương pháp trọng tâm [4, 6]:

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^c u_i \times \mu_i(u)}{\sum_{i=1}^c \mu_i(u)} \quad (3)$$

Với: u_i là giá trị của biến đầu ra ứng với mỗi luật, μ_i là giá trị hàm thuộc của u_i , được xác định theo quy tắc:

$$\mu(u) = \text{AndMethod}(\mu(e), \mu(ce)) \quad (4)$$

Trong đó: $\mu(e)$, $\mu(ce)$ tương ứng là hàm thuộc của e và ce .

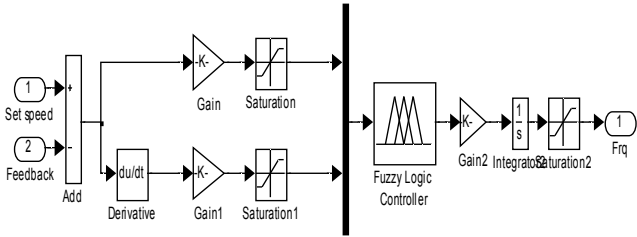
Dựa trên những hiểu biết về đặc tính của đối tượng và kinh nghiệm vận hành hệ thống, các luật điều khiển của bộ logic mờ trong điều khiển tốc độ ĐCKĐB ba pha được xây dựng. Ví dụ: NẾU (e là Âm lớn-NB) VÀ (ce là Dương lớn-PB) THÌ (u là Không-ZZ). Bảng 1 mô tả các luật điều khiển của bộ điều khiển mờ trong hệ thống điều khiển tốc độ ĐCKĐB ba pha [5, 6].

Bảng 1. Luật điều khiển của bộ điều khiển mờ

e \ ce	NB	NM	NS	ZZ	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZZ
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZZ	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZZ	PS	PM
ZZ	NB	NM	NS	ZZ	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZZ	PS	PM	PB	PB

PM	NS	ZZ	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZZ	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Sơ đồ cấu trúc của bộ điều khiển mờ, xây dựng trong Matlab/Simulink được thể hiện ở hình 2.

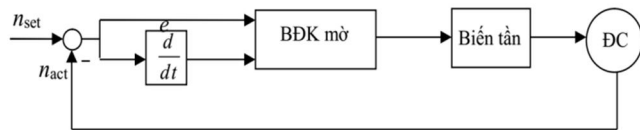


Hình 2. Xây dựng bộ điều khiển mờ trong Matlab/Simulink

3. LOGIC MỜ VỚI HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN ĐCKĐB BA PHA

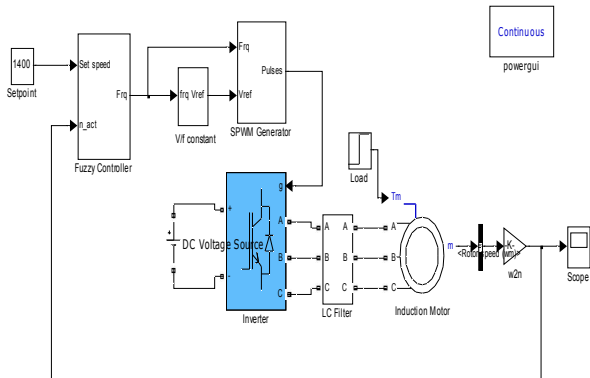
3.1. Điều khiển tốc độ ĐCKĐB ba pha sử dụng bộ điều khiển mờ

Sơ đồ hệ thống kín điều khiển tốc độ ĐCKĐB sử dụng bộ điều khiển mờ được mô tả ở hình 3 [2, 8]. Tốc độ của động cơ n_{act} được phản hồi, so sánh với tốc độ đặt n_{set} , từ đó sai số tốc độ e và đạo hàm của sai số $\frac{de}{dt}$ được xác định, đưa vào bộ điều khiển mờ, tạo ra tín hiệu để điều khiển sự đóng mở của các van bán dẫn trong biến tần, đầu ra của biến tần là nguồn điện áp có biên độ và tần số thay đổi, cung cấp cho động cơ để thay đổi tốc độ của động cơ theo yêu cầu.



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển tốc độ động cơ sử dụng bộ điều khiển mờ

Hệ thống điều khiển được xây dựng trên cơ sở bộ biến tần hoạt động theo phương pháp V/f, với nguyên lý băm xung SPWM. Mô hình mô phỏng hệ thống trong Matlab/Simulink được thể hiện ở hình 4.



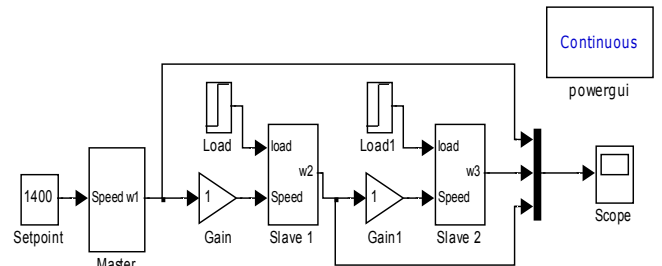
Hình 4. Mô hình mô phỏng hệ thống điều khiển tốc độ ĐCKĐB ba pha sử dụng

Tín hiệu vào của bộ điều khiển mờ được xác định từ tốc độ đặt (setpoint) và tốc độ thực của động cơ (n_{act} - tín hiệu

phản hồi), đầu ra của bộ điều khiển xác định sự thay đổi tần số của nguồn cung cấp cho động cơ, sau khi được tích phân, sẽ cho ra tín hiệu tần số. Tín hiệu điều khiển (tần số) được đưa tới khối điều khiển V/f để duy trì tỉ số giữa điện áp và tần số không đổi, nhằm duy trì moment của động cơ khi tốc độ của động cơ thay đổi. Tần số và điện áp tạo ra sẽ được đưa vào khối điều chế xung SPWM, nhằm tạo ra xung kích hoạt các van bán dẫn IGBT của biến tần, đầu ra của biến tần sẽ là một điện áp với tần số thích hợp cho động cơ nhằm đảm bảo đạt được tốc độ mong muốn. Bộ lọc LC có tác dụng lọc các sóng hài bậc cao trước khi đưa điện áp vào cung cấp cho động cơ.

3.2. Điều khiển đồng tốc ĐCKĐB ba pha

Nguyên lý điều khiển chủ/tớ (Master/Slave) được sử dụng trong điều khiển đồng bộ tốc độ của hệ thống với 3 ĐCKĐB ba pha, đây là nguyên lý được sử dụng phổ biến trong thực tế do cấu trúc đơn giản và dễ áp dụng. Trong đó, động cơ thứ nhất đóng vai trò là động cơ chủ, còn động cơ thứ hai và động cơ thứ ba đóng vai trò là các động cơ tớ. Mỗi động cơ được điều khiển bởi các vòng điều khiển riêng biệt với các tác động nhiễu (tải). Trong cấu trúc này, tốc độ của động cơ trước chính là tín hiệu tham chiếu cho động cơ sau. Các nhiễu tác động ở động cơ chủ dễ dàng được điều chỉnh ở các động cơ tớ, còn sự tác động của nhiễu lên động cơ tớ chỉ được điều chỉnh ở các động cơ nối sau nó, chứ không được điều chỉnh bởi bất kỳ động cơ nào ở phía trước [1]. Mô hình mô phỏng hệ thống được thể hiện trên hình 5.



Hình 5. Mô hình mô phỏng hệ thống điều khiển đồng tốc 3 ĐCKĐB ba pha

3.3. Kết quả mô phỏng

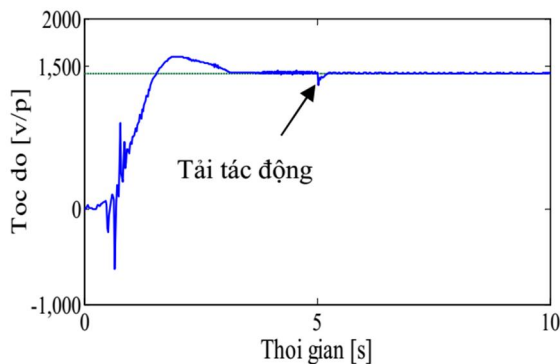
3.3.1. Hệ thống điều khiển tốc độ ĐCKĐB ba pha

Để kiểm nghiệm hệ thống điều khiển tốc độ ĐCKĐB với bộ điều khiển mờ đã xây dựng, thực hiện mô phỏng bằng Matlab/Simulink. ĐCKĐB được sử dụng trong hệ thống là động cơ ba pha rotor lồng sóc: $P = 4\text{kW}$, $U = 400\text{V}$, $f = 50\text{Hz}$, $n = 1430$ vòng/phút; Bộ lọc LC sử dụng trong hệ thống có thông số: $L = 2\text{mH}$, thông số của tụ $C: 380\text{V}$, 50Hz , $0,3\text{kVAR}$ có tác dụng lọc các sóng hài bậc cao.

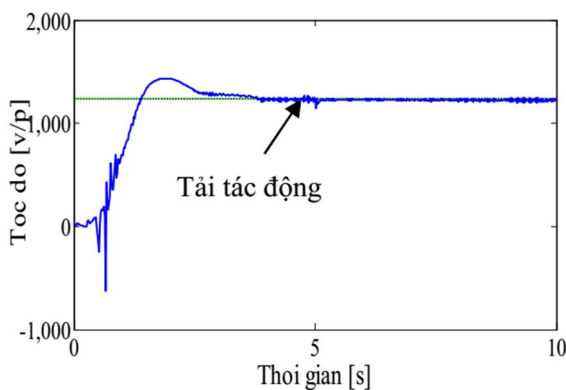
Sai số tốc độ trong mô hình được thiết kế nằm trong khoảng $[-200, 200]$ vòng/phút, tốc độ biến thiên của sai số giả thiết trong khoảng $[-500, 500]$. Do vậy, để chuẩn hóa các biến này về miền xác định $[-1, 1]$ cần nhân thêm các hệ số K (hình 2). Thời gian mô phỏng hệ thống là 10s, tại thời điểm 5s, tác động vào hệ thống một tải với $M_c = 15\text{ Nm}$.

Hình 6 mô tả tốc độ của động cơ ứng với tốc độ đặt 1400 vòng/phút và hình 7 là tốc độ động cơ ở điểm đặt

1200 vòng/phút, trong đó, đường nét liền thể hiện tốc độ thực tế của động cơ, còn đường nét đứt là tốc độ đặt của hệ thống. Chúng ta có thể nhận thấy, mặc dù đáp ứng còn có độ quá điều chỉnh nhất định, nhưng hệ thống với bộ điều khiển mờ có thể điều chỉnh tốc độ động cơ đạt giá trị mong muốn, với thời gian quá độ khoảng 3s. Khi có tải tác động, hệ thống có thể tự điều chỉnh để tiến tới tốc độ yêu cầu trong khoảng thời gian khá ngắn. Kết quả mô phỏng này cho thấy hệ thống với bộ điều khiển mờ có thể đáp ứng khá tốt theo tốc độ yêu cầu.



Hình 6. Tốc độ động cơ ở 1400 v/phút



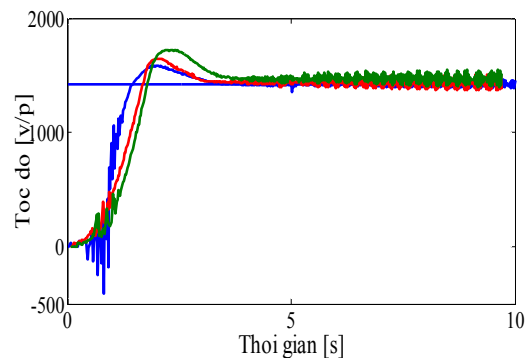
Hình 7. Tốc độ động cơ ở 1200 v/phút

3.3.2 Hệ thống điều khiển đồng tốc ĐCKĐB ba pha

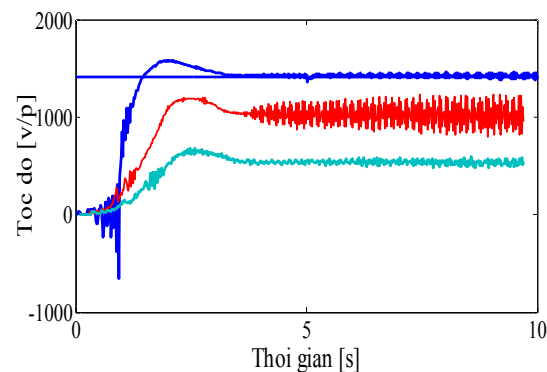
Trong hệ thống điều khiển đồng bộ tốc độ các ĐCKĐB, chọn động cơ chủ là động cơ ba pha rotor lồng sóc: $P = 7,5\text{kW}$, $U = 400\text{V}$, $f = 50\text{Hz}$, $n = 1440$ vòng/phút; Động cơ tứ 1 và 2 có các thông số giống nhau: $P = 4,0\text{kW}$, $U = 400\text{V}$, $f = 50\text{Hz}$, $n = 1430$ vòng/phút. Hệ thống được khảo nghiệm với tỉ lệ tốc độ giữa các động cơ lần lượt là 1:1:1 và 1:0,7:0,5, kết quả mô phỏng được thể hiện trên các hình 8 và 9 tương ứng. Trong các hình này, tốc độ đặt thể hiện bằng đường chấm gạch, còn tốc độ động cơ chủ, tốc độ động cơ tứ 1 và tốc độ động cơ tứ 2 lần lượt thể hiện bằng các đường nét liền, nét đứt và đường chấm.

Từ kết quả hình 8 và 9, nhận thấy đáp ứng của hệ thống khá tốt, tốc độ của các động cơ tứ có thể bám theo tốc độ của động cơ chủ với một độ trễ nhỏ. Sự tác động của tải ở động cơ chủ tại thời điểm 5s cũng được điều chỉnh ở các động cơ tứ, tuy nhiên, do tồn tại dao động nên điều này không được thể hiện rõ ở các đáp ứng của động cơ. Độ dao

động của các đáp ứng của động cơ thứ hai và thứ ba ở tỉ lệ đồng bộ 1:0,7:0,5 tăng lên, điều này sẽ được nghiên cứu làm rõ trong thời gian tới.



Hình 8. Tốc độ của hệ thống đồng tốc ở 1400 v/phút với tỉ số tốc độ giữa các động cơ 1:1:1



Hình 9. Tốc độ của hệ thống đồng tốc ở 1400 v/phút với tỉ số tốc độ giữa các động cơ 1:0,7:0,5

3.4 Nhận xét

Các kết quả mô phỏng ở trên cho thấy, bộ điều khiển mờ khá hiệu quả trong việc điều chỉnh tốc độ của các ĐCKĐB ba pha. Hệ thống điều khiển đồng bộ tốc độ nhiều động cơ hoạt động theo nguyên lý điều khiển chủ/tứ, cho đáp ứng khá tốt đối với sự thay đổi của tải. Quá trình tổng hợp bộ điều khiển mờ không đòi hỏi mô hình toán học của đối tượng, nên có thể áp dụng cho các hệ thống có độ phức tạp cao, có tính phi tuyến. Các động cơ tứ bám theo khá tốt tốc độ của động cơ chủ, theo một tỉ lệ cho trước, với độ trễ nhỏ. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng cho thấy, đáp ứng hệ thống vẫn còn có độ quá điều chỉnh và độ dao động nhất định, đặc biệt, độ dao động của đáp ứng tăng lên khi điều chỉnh tốc độ động cơ xa với tốc độ định mức. Các vấn đề này cần được làm rõ trong các nghiên cứu tiếp theo.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một hệ thống điều khiển đồng bộ tốc độ nhiều động cơ không đồng bộ ba pha theo nguyên lý điều khiển chủ/tứ, tốc độ của mỗi động cơ trong hệ thống được điều chỉnh bằng bộ điều khiển logic mờ. Ưu điểm của bộ điều khiển logic mờ là giải quyết bài toán khá giống với cách tư duy của con người, lại không đòi hỏi mô hình toán học của đối tượng điều khiển nên có thể áp dụng

với nhiều hệ thống phức tạp khác nhau, đặc biệt là hệ phi tuyến. Hệ thống đồng bộ động cơ thực hiện theo nguyên lý điều khiển chủ tớ, nghĩa là tín hiệu ra của động cơ trước được đưa vào làm tín hiệu đặt cho động cơ sau. Tốc độ của các động cơ chạy đồng bộ với nhau theo một tỉ lệ nhất định phụ thuộc vào quá trình công nghệ. Kết quả mô phỏng cho thấy, đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển mờ vẫn còn có độ quá điều chỉnh và độ dao động nhất định. Để có thể kết luận chính xác về tính hiệu quả và phạm vi ứng dụng của phương án đề xuất cũng như nâng cao chất lượng điều khiển của hệ thống cần thực hiện các nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Thị Hiền, Mai Thị Thanh Thủy, Nguyễn Văn Đạt, 2018. *Nghiên cứu ứng dụng PLC và biến tần trong điều khiển đồng tốc các động cơ điện không đồng bộ ba pha trong dây chuyền cân định lượng*. Báo cáo đề tài cấp cơ sở, Học viện Nông nghiệp Việt Nam.
- [2]. Patil A. M., R. A. Thorat, and M. M. Kadam, 2014. *A fuzzy based approach for PWM inverter fed induction motor V/f speed control*. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, Vol. 9, No. 6, pp.18 – 24.
- [3]. Nguyễn Văn Đạt, 2010. *Bài giảng Truyền động điện*. NXB Đại học Nông nghiệp, Hà Nội.
- [4]. Saher A. A. and J. R. Mahmood, 2017. *PLC based multi three phase induction motors motion controller*, Int. Journal of Computer Applications, Vol. 175, No. 1, pp.37 – 44.
- [5]. Badran M. A., M. A. Hamood, and W. F. Faris, 2013. *Fuzzy logic based speed control system for three phase induction motor*. "Effimie Murgu" Resita, 20 (1), ISSN 1453 – 7397, pp. 17-26.
- [6]. Tripura P. and Y. S. Kishore Babu, 2011. *Fuzzy logic speed control of three phase induction motor drive*. Int. Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol. 5, No. 12, pp. 1774 – 1778.
- [7]. Bengum R., Z. Motibhai, G. Nimbal, and S. V. Halse, 2013. *Simulation of fuzzy inductance motor using PI control application*. Int. Journal of Engineering Sciences, Vol. 8, pp.79 – 85.
- [8]. Hamed B. M., M. N. Al-Mobaied, 2010. *Fuzzy logic speed controllers using FPGA technique for three phase induction motor drives*. Engineering Science, Vol. 37, No. 2., pp. 194 – 205.
- [9]. Nguyễn Thế Anh, 2011. *Điều khiển mờ động cơ không đồng bộ rotor lồng sóc*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật. Đại học Đà Nẵng.
- [10]. Vekaria M, D. Thakar, and H. Prajapati, 2017. *Matlab simulation of induction motor drive using V/f control method*. Int. Journal for Scientific Research & Development, Vol. 5, No. 1, pp. 1772 – 1776.
- [11]. Raichurkar P. S. and A. L. Jamadar, 2015. *V/f speed control of 3 phase induction motor using space vector modulation*. Int. Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 4, No. 5, pp. 735 – 742.