

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP NHẬN DẠNG ĐỐI TƯỢNG CHO BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ SERVO TRÊN MÔ HÌNH THỰC

APPLICATION OF IDENTIFICATION METHOD FOR PROBLEM OF SERVO MOTOR SPEED CONTROL ON REAL MODEL

Phạm Văn Minh*, Nguyễn Đăng Hải, Phạm Thị Hồng Hạnh, Phí Hoàng Nhã, Phạm Văn Hùng

TÓM TẮT

Hệ truyền động động cơ servor được ứng dụng rất phổ biến trong công nghiệp. Để điều khiển tốc độ và vị trí của hệ thống này đạt hiệu quả rất cần một mô hình với độ chính xác cao, bởi mô hình đối tượng liên quan đến việc tính toán tham số cho bộ điều khiển và độ chính xác của mô hình quyết định đến chất lượng của hệ thống điều khiển. Bài báo đề cập đến việc ứng dụng các phương pháp nhận dạng mô hình đối tượng dựa trên đáp ứng quá độ để nhận dạng động cơ servo trên mô hình thiết bị thực CE110 Servo Trainer của hãng Tecquipment. Kết quả nhận dạng đối tượng được dùng để thiết kế các bộ điều khiển cho đối tượng thực. Việc lựa chọn mô hình nhận dạng phù hợp với đối tượng được kiểm nghiệm, đánh giá thông qua việc so sánh chất lượng điều khiển hệ thống thực khi sử dụng các bộ điều khiển đó cho các trường hợp có sự thay đổi tải và thay đổi tốc độ.

Từ khóa: Nhận dạng; điều khiển tốc độ; động cơ servo; CE110 Servo Trainer.

ABSTRACT

The servo drive system is commonly used in industry. A model with high accuracy is required to control speed and position of this system model because the model of the object influences the controller parameters, which determines the actual quality of the system. This paper refers to the application object identification methods based on the step responses to identify servo motor on real model CE110 Servo Trainer of Tecquipment. The obtained modes are used to design controllers for the real object. The selection of suitable model is tested and evaluated through quality comparison of real system using those controllers when load and speed are changed.

Keywords: Identification; speed control; servo motor; CE110 Servo Trainer.

Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: minhpv.hai@gmail.com

Ngày nhận bài: 10/01/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 26/6/2020

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2021

1. GIỚI THIỆU

Hệ thống truyền động động cơ servo phổ biến trong công nghiệp. Hệ truyền động này đặt ra yêu cầu điều khiển

tốc độ và vị trí với độ chính xác cao. Tuy nhiên, để điều khiển đạt kết quả mong muốn cần xác định mô hình đối tượng càng chính xác càng tốt. Một số phương pháp nhận dạng đối tượng đã được trình bày trong các tài liệu [1, 2, 3, 4], tuy nhiên phương pháp nhận dạng dựa trên đáp ứng quá độ được quan tâm nhiều bởi tính đơn giản, dễ dàng thu được từ thu thập dữ liệu vào/ra, đặc biệt đối với các hệ thống mà thông số động cơ không xác định được cụ thể.

Nội dung tiếp theo của bài báo sẽ giới thiệu một số phương pháp nhận dạng dựa trên đặc tính quá độ để xác định mô hình đối tượng và ứng dụng để nhận dạng cho đối tượng thực là hệ thống truyền động động cơ servo CE110 Servo Trainer của hãng Tecquipment được sử dụng trong phòng thí nghiệm. Kết quả nhận dạng được kiểm nghiệm trên mô hình CE110 cho các trường hợp khi tải biến đổi hoặc khi có yêu cầu thay đổi tốc độ. Tính khả thi của mô hình nhận dạng được đánh giá thông qua việc so sánh chất lượng điều khiển hệ thống thực khi sử dụng các bộ điều khiển được thiết kế từ các mô hình nhận dạng được.

2. TỔNG QUAN VỀ PHƯƠNG PHÁP NHẬN DẠNG ĐỐI TƯỢNG TỪ ĐẶC TÍNH QUÁ ĐỘ

Phương pháp nhận dạng dựa trên đặc tính quá độ [1, 2, 3, 4] là phương pháp nhận dạng hệ thống phổ biến, đặc biệt trong lĩnh vực công nghiệp. Trong đó, sử dụng mô hình liên tục có tham số để mô tả đối tượng dưới dạng hàm truyền và có thể xác định từ hàm quá độ $h(t)$ thu được tại đầu ra nhờ phương pháp nhận dạng chủ động với tín hiệu kích thích đầu vào là hàm Heaviside $1(t)$. Thông thường, đáp ứng quá độ tốc độ của động cơ servo xuất phát từ gốc và ổn định sau một khoảng thời gian. Do vậy đối tượng này có thể được mô hình hóa về khâu quán tính bậc nhất [4] hoặc quán tính bậc nhất có trễ sử dụng phương pháp hai điểm tham chiếu [3].

2.1. Phương pháp hai điểm tham chiếu

Hầu hết các quy trình trong công nghiệp, khi xem xét đến các thay đổi nhỏ xung quanh điểm làm việc có thể được mô tả bằng một mô hình tuyến tính bậc cao. Trong

đó phổ biến là lớp mô hình có đáp ứng dưới dạng như ở hình 1, khi đó có thể xấp xỉ mô hình của một quá trình phức tạp thành một mô hình đơn giản bậc 1, có dạng:

$$G(s) = \frac{K}{1 + Ts} e^{-\tau s} \quad (1)$$

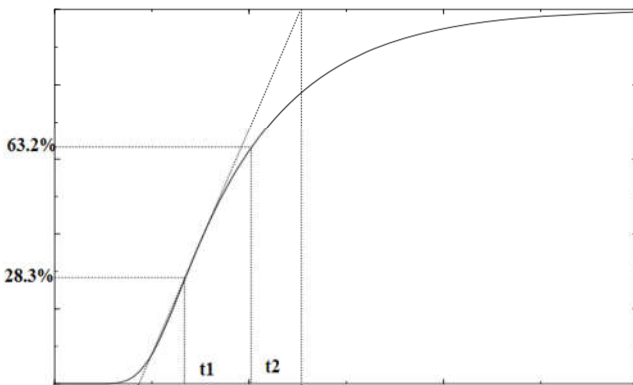
ở đây, K là hệ số khuếch đại, T là hằng số thời gian, τ là thời gian trễ.

Phương pháp hai điểm tham chiếu [3] là một trong những phương pháp phổ biến được sử dụng để nhận dạng đối tượng có đường cong đáp ứng của quá trình như hình 1 với đầu vào biến đổi một lượng là Δu. Các tham số của đối tượng dạng (1) có thể thu được bằng cách đo hai điểm tham chiếu là: t₁ là thời gian ứng với đầu ra đạt 28,3% và t₂ là thời gian ứng với đầu ra đạt 63,2% giá trị xác lập Δy. Khi đó, các tham số của mô hình (1) được xác định như sau:

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

$$T = 1,5(t_2 - t_1)$$

$$\tau = 1,5\left(t_1 - \frac{t_2}{3}\right)$$

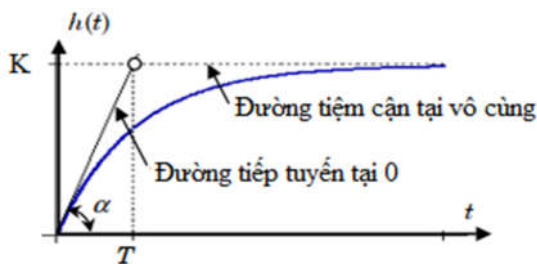


Hình 1. Đặc tính quá độ sử dụng phương pháp hai điểm tham chiếu

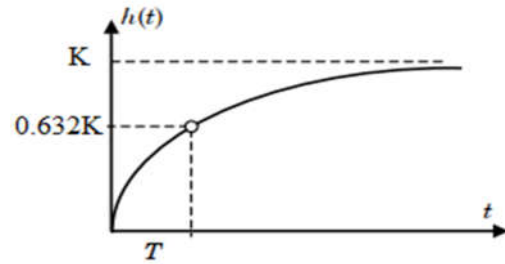
2.2. Phương pháp xác định tham số mô hình quán tính bậc nhất

Giả sử rằng khi kích thích một đối tượng tuyến tính bằng hàm Heaviside 1(t) tại đầu vào ta đo được hàm h(t) ở đầu ra có dạng như hình 2a. Hàm h(t) không có dạng lượn sóng, luôn có xu hướng tăng dần đến giá trị giới hạn K, do đó, đối tượng hoàn toàn có thể mô tả dưới dạng bậc nhất:

$$G(s) = \frac{K}{1 + Ts} \quad (2)$$



a)



b)

Hình 2. Mô tả việc xác định tham số K, T thông qua hàm quá độ của đối tượng

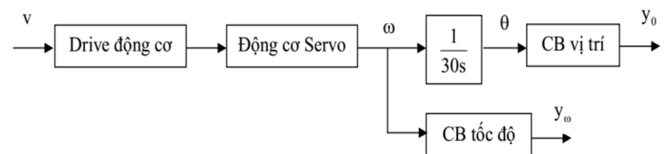
Để xác định các tham số K, T ta có thể dùng hai phương pháp khác nhau, phương pháp kẻ tiếp tuyến với h(t) tại t = 0, sau đó xác định giao điểm của đường tiếp tuyến với đường tiệm cận K = h(∞) [4], hoành độ của giao điểm vừa xác định chính là tham số T cần tìm. Tuy nhiên, phương pháp xác định T này phụ thuộc khá nhiều vào độ chính xác của việc kẻ tiếp tuyến. Để tránh sai số ta có thể xác định điểm có tung độ bằng 0,632K trên đồ thị h(t), (hình 2b), hoành độ của điểm vừa xác định chính là tham số T cần tìm, bởi tại thời điểm T hàm h(t) sẽ có giá trị bằng 63,2% của giá trị xác lập.

3. ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP NHẬN DẠNG ĐỐI TƯỢNG TRÊN MÔ HÌNH THỰC

3.1. Giới thiệu về mô hình



Hình 3. Mô hình CE110 của Tecquipment



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý hệ thống điều khiển động cơ Servo

Mô hình thực được nhóm tác giả sử dụng để nhận dạng là mô hình điều khiển động cơ Servo của hãng Tecquipment [6] bao gồm một động cơ điện, một tải tuyến tính, một thiết bị đo và hiển thị tốc độ động cơ. Mô hình hệ

thống như hình 3 và có sơ đồ nguyên lý hệ thống điều khiển như hình 4. Ở đó, v là điện áp đặt vào động cơ, ω là tốc độ trục động cơ, θ là vị trí trục động cơ, y_ω và y_θ là tín hiệu đầu ra cảm biến tốc độ và vị trí động cơ. Khi đó, phương trình cân bằng mô men:

$$T_m = b\omega + k_1v_1 + l \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

với b, k_1, l, v_1 lần lượt là hệ số ma sát, hệ số khuếch đại của tải, mô men quán tính và điện áp điều khiển tải. T_m là mô men do động cơ sinh ra.

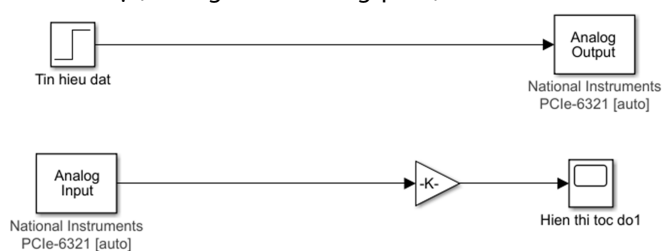
Phương trình mạch phần ứng:

$$v(t) = R.i + L \frac{di}{dt} + v_{bemf} \quad (4)$$

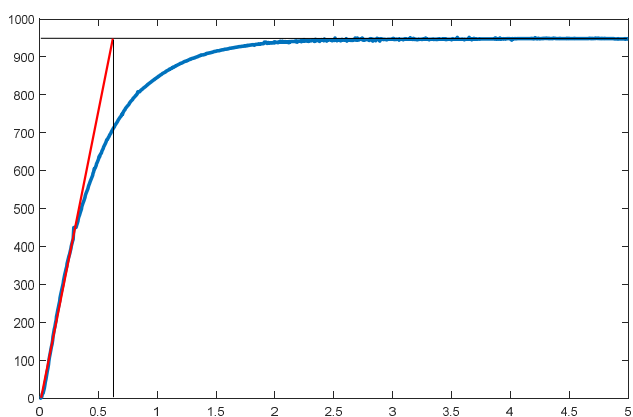
với R, L, i là điện trở, điện cảm, dòng điện phần ứng và v_{bemf} là sức điện động động cơ.

3.2. Thực hiện nhận dạng đối tượng trên mô hình thực

Mô hình CE110 của Tecquipment được kết nối máy tính thông qua card PCIe-6321. Cấu trúc thu thập tín hiệu hệ thống bằng Matlab/Simulink như hình 5 với chu kỳ lấy mẫu $T_s = 10ms$. Khối gain trong Matlab/Simulink là khối tỉ lệ, làm nhiệm vụ tính toán tốc độ theo điện áp đo được từ cảm biến tốc độ (1V ứng với 200 vòng/phút).



Hình 5. Cấu trúc hệ thống thu thập tốc độ động cơ thông qua card PCIe-6321



Hình 6. Đặc tính quá độ tốc độ động cơ với tín hiệu đặt $v = 5V$

Để nhận dạng đối tượng dựa trên đặc tính quá độ, nhóm tác giả thực hiện sử dụng ba phương pháp: phương pháp xấp xỉ đối tượng về khâu quán tính bậc nhất có trễ sử dụng hai điểm tham chiếu (phương pháp 1), phương pháp xấp xỉ về khâu quán tính bậc nhất bằng cách kẻ tiếp tuyến với đặc tính quá độ tại gốc tọa độ (phương pháp 2) và phương pháp dựa trên điểm có giá trị đạt 63,2% giá trị xác

lập (phương pháp 3). Khi điện áp đầu vào $v = 5V$, đặc tính quá độ tốc độ như hình 6. Sử dụng phương pháp hai điểm tham chiếu, xác định các giá trị tại điểm 28,3%: $t_1 = 0,18s$; tại điểm 63,2%: $t_2 = 0,475s$. Khi đó:

$$K = \frac{946}{5} / 200 = 0,946$$

$$T = 1,5(t_2 - t_1) = 0,45; \quad \tau = 1,5(t_1 - \frac{1}{3}t_2) = 0,035$$

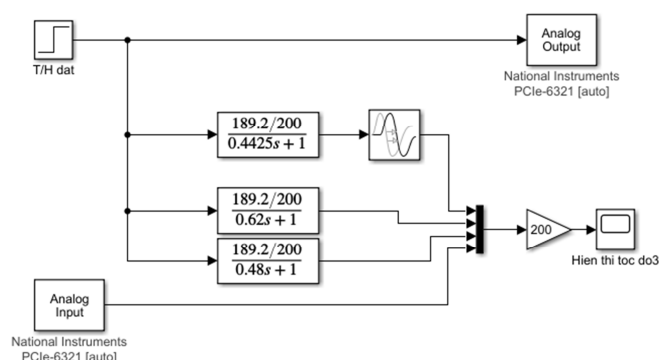
Hàm truyền được biểu diễn theo (1) gọi là mô hình 1:

$$G_1(s) = \frac{K}{1 + Ts} e^{-s\tau} = \frac{0,946}{1 + 0,4425s} e^{-0,0325s} \quad (5)$$

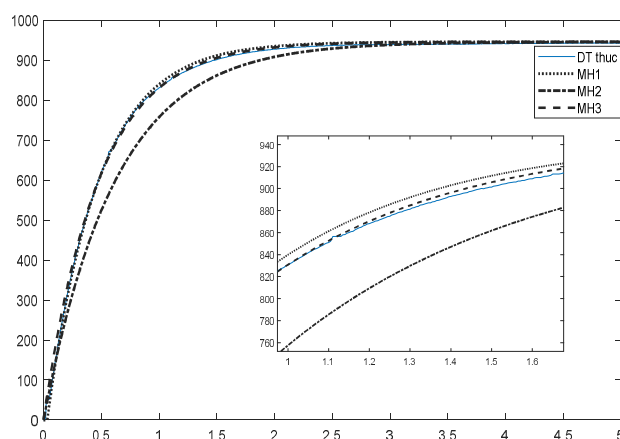
Xấp xỉ đối tượng về dạng quán tính bậc nhất theo phương pháp 2 và 3, thu được hàm truyền của đối tượng dạng (2) lần lượt là:

$$G_2(s) = \frac{K}{1 + Ts} = \frac{0,946}{1 + 0,62s} \quad (6)$$

$$G_3(s) = \frac{K}{1 + Ts} = \frac{0,946}{1 + 0,48s} \quad (7)$$

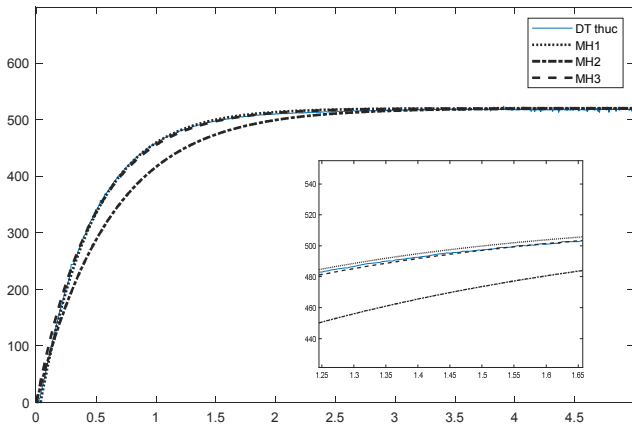


Hình 7. Sơ đồ hệ thống khảo sát đặc tính của hàm nhận dạng



Hình 8. Đáp ứng tốc độ động cơ của hàm nhận dạng với tín hiệu đặt $v = 5V$

Thực hiện việc mô phỏng đáp ứng quá độ cho ba mô hình thu được và so sánh với đáp ứng quá độ của đối tượng thực như hình 7 ta có kết quả như hình 8 (cho tín hiệu đặt $v = 5V$) và hình 9 (cho tín hiệu đặt $v = 3V$). Ta nhận thấy trong ba mô hình thu được, mô hình 3 (MH3) với hàm truyền $G_3(s)$ có đáp ứng tốt nhất, bám sát đặc tính tốc độ thực nhất.



Hình 9. Đáp ứng tốc độ động cơ của hàm nhận dạng với tín hiệu đặt $v = 3V$

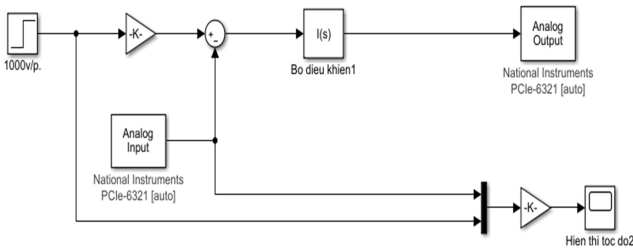
4. KIỂM NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Trong phần này, với ba mô hình đối tượng nhận dạng được gồm mô hình (5), (6) và (7), nhóm tác giả sẽ sử dụng phương hằng số thời gian T của Kuhn để thiết kế bộ điều khiển [5] sau đó áp dụng các bộ điều khiển này vào điều khiển mô hình đối tượng thực, từ đó dựa trên kết quả so sánh và đánh giá chất lượng điều khiển để chỉ ra mô hình nhận dạng nào là sát nhất với đối tượng thực. Sơ đồ nguyên lý hệ thống điều khiển xây dựng trên Simulink như hình 10 với bộ điều khiển tỷ lệ - tích phân (PI) được thiết kế dựa trên ba mô hình đối tượng nhận dạng trên lần lượt có dạng:

$$R_1(s) = 0,0473 \left(1 + \frac{1}{0,2375s} \right) \tag{8}$$

$$R_2(s) = 0,0473 \left(1 + \frac{1}{0,31s} \right) \tag{9}$$

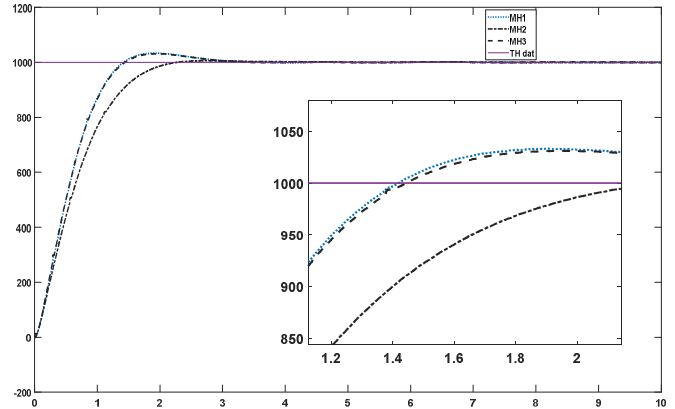
$$R_3(s) = 0,0473 \left(1 + \frac{1}{0,24s} \right) \tag{10}$$



Hình 10. Sơ đồ hệ thống điều khiển tốc độ động cơ trên mô hình thực

Hình 11 biểu diễn đáp ứng tốc độ của mô hình thực ứng với các bộ điều khiển khác nhau với giá trị đặt tốc độ 1000 vòng/phút, đường chấm là đáp ứng tốc độ của hệ thống thực ứng với bộ điều khiển $R_1(s)$ khi thiết kế sử dụng mô hình 1, đường chấm gạch là đáp ứng tốc độ của hệ thống thực ứng với bộ điều khiển $R_2(s)$ khi thiết kế sử dụng mô hình 2, đường nét đứt ứng với bộ điều khiển $R_3(s)$ khi thiết kế sử dụng mô hình 3. Kết quả bảng 1, cho thấy đáp ứng hệ thống thực ứng với bộ điều khiển thiết kế sử dụng mô hình 1 và 3 cho kết quả tương đương nhau về độ quá điều chỉnh

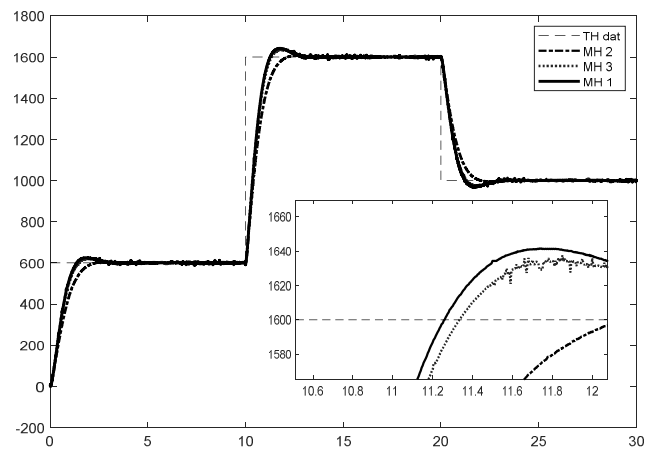
và thời gian quá độ. Trong khi, việc sử dụng mô hình 2 để thiết kế bộ điều khiển cho chất lượng với độ quá điều chỉnh nhỏ, nhưng thời gian quá độ dài. Như vậy với yêu cầu điều khiển ổn định tốc độ với thời gian giá độ nhanh và độ quá điều chỉnh nhỏ thì bộ điều khiển thiết kế dựa trên mô hình $G_3(s)$ cho chất lượng điều khiển tốt nhất.



Hình 11. Đáp ứng tốc độ động cơ khi điều khiển tại $\omega = 1000$ vòng/phút

Bảng 1. Thông số chất lượng hệ thống với bộ điều khiển được thiết kế dựa trên ba mô hình nhận dạng được

Bộ điều khiển	Độ quá điều chỉnh (%)	Thời gian quá độ (s)	Sai số xác lập
$R_1(s)$	3,34	1,202	0
$R_2(s)$	0,6	1,65	0
$R_3(s)$	3,1	1,215	0

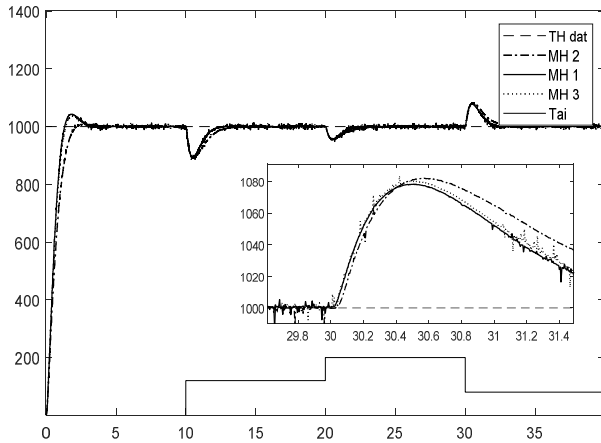


Hình 12. Đáp ứng tốc độ động cơ khi thay đổi tốc độ

Bảng 2. Thông số chất lượng hệ thống điều khiển khi tốc độ thay đổi

Bộ điều khiển		Độ quá điều chỉnh (%)	Thời gian quá độ (s)	Sai số xác lập
$R_1(s)$	Tăng tốc độ	2,5	1,195	0
$R_2(s)$		0,7	1,72	0
$R_3(s)$		1,92	1,2	0
$R_1(s)$	Giảm tốc độ	1,8	1,1	0
$R_2(s)$		0,2	1,5	0
$R_3(s)$		1,6	1,19	0

Tương tự trong trường hợp giá trị đặt tốc độ liên tục thay đổi ta thu được đáp ứng quá độ tốc độ của hệ thống thực ứng với các bộ điều khiển $R_1(s)$, $R_2(s)$, $R_3(s)$ như ở hình 12. Dựa trên bảng thông số chất lượng điều khiển bảng 2 có thể thấy bộ điều khiển thiết kế dựa trên mô hình 3 với hàm truyền nhận dạng $G_3(s)$, cho chất lượng tốt nhất.



Hình 13. Đáp ứng tốc độ động cơ khi tải thay đổi tại $\omega=1000$ vòng/phút

Tiếp tục, kiểm nghiệm hệ thống trong trường hợp tải biến đổi thu được kết quả như ở hình 13. Khi tải thay đổi, đáp ứng tốc độ tốt, chất lượng điều khiển thể hiện trong bảng 3 ứng với trường hợp tăng tải và giảm tải. Kết quả cho thấy khi tải thay đổi, sau một thời gian hệ thống lại trở lại trạng thái ổn định. Trong đó, bộ điều khiển sử dụng mô hình nhận dạng 3 để thiết kế cho chất lượng điều khiển với thời gian quá độ nhanh nhất.

Bảng 3. Thông số chất lượng hệ thống điều khiển khi có tải thay đổi

Bộ điều khiển		Độ quá điều chỉnh (%)	Thời gian quá độ (s)	Sai số xác lập
$R_1(s)$	Tăng tải	7,9	1,05	0
$R_2(s)$		8,3	1,25	0
$R_3(s)$		8	1,04	0
$R_1(s)$	Giảm tải	10,7	1,2	0
$R_2(s)$		11,1	1,5	0
$R_3(s)$		10,5	1,19	0

5. KẾT LUẬN

Một đối tượng cụ thể sẽ có những mô hình mô tả khác nhau tùy thuộc vào phương pháp và cách thức nhận dạng. Việc xác định được mô hình phù hợp của đối tượng thực là khá khó khăn. Bài báo trình bày một cách kiểm tra tính phù hợp của mô hình nhận dạng được so với đối tượng thực thông qua ứng dụng phương pháp nhận dạng đối tượng cho bài toán điều khiển động cơ servo, với đối tượng thực là hệ "CE110 Servo Trainer". Kết quả nhận dạng và chất lượng điều khiển của bộ điều khiển thiết kế dựa trên các mô hình nhận dạng được khi điều khiển hệ thống thực, xét trong các trường hợp tải và tốc độ đặt thay đổi, cho thấy phương pháp nhận dạng mô hình dựa trên đặc tính quá độ xấp xỉ khâu quán tính bậc nhất cho kết quả phù hợp với đối

tượng thực. Việc nghiên cứu phát triển các thuật toán điều khiển sử dụng mô hình nhận dạng trên sẽ được nhóm tác giả tiến hành và công bố trong các nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. E.F. Camacho and C. Bordons, 2007. *Model Predictive Control*. Springer.
- [2]. K. J. Astrom and T. Hagglund, 1995. *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America.
- [3]. Ján Mikles, Miroslav Fikar, 2007. *Process Modelling, Identification, and Control*. Springer.
- [4]. Nguyen Doan Phuoc, Phan Xuan Minh, 2005. *Nhan dang he thong dieu khien*. Science and Technics Publishing House.
- [5]. Nguyen Doan Phuoc, 2009. *Ly thuyet dieu khien tu dong*. Science and Technics Publishing House.
- [6]. TecQuipment, 2013. *CE110 Servo Trainer*. ©TecQuipment Ltd.

AUTHORS INFORMATION

Pham Van Minh, Nguyen Dang Hai, Pham Thi Hong Hanh, Phi Hoang Nha, Pham Van Hung

Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry