

## Điều khiển phi mô hình hướng dữ liệu MFC-iPID cho một lớp hệ cơ điện

Nguyễn Văn Đức<sup>1</sup>, Nguyễn Quang Hùng<sup>2</sup>, Vũ Quốc Huy<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Viện Tự động hóa Kỹ thuật quân sự, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;

<sup>2</sup>Trường Đại học Công nghệ Đông Á.

\*Email: maihuyvu@gmail.com

Nhận bài: 28/8/2022; Hoàn thiện: 7/11/2022; Chấp nhận đăng: 28/11/2022; Xuất bản: 23/12/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2022.50-57>

### TÓM TẮT

Bài báo phân tích và tổng hợp một luật điều khiển thông minh dựa trên kỹ thuật điều khiển phi mô hình hướng dữ liệu, ứng dụng cho một lớp hệ cơ điện servo. Điều khiển phi mô hình MFC (Model-Free Control) sử dụng một mô hình siêu cục bộ, kết hợp với điều khiển PID tạo thành bộ điều khiển thông minh MFC-iPID, được đảm bảo toán học chặt chẽ trên cơ sở ổn định Lyapunov và nguyên lý tách. Mô phỏng trong Matlab thể hiện trực quan kết quả nghiên cứu.

**Từ khoá:** Điều khiển phi mô hình; Hướng dữ liệu; Siêu cục bộ; PID; Ổn định Lyapunov; Hệ cơ điện servo.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thông thường, các luật điều khiển đều liên quan đến mô hình động lực học của hệ thống. Tuy nhiên, cũng có nhiều hệ thống đủ thuần phục và hoàn toàn có thể được điều khiển mà không cần bất kỳ mô hình động lực học nào. Đây chính là tư tưởng của phương pháp điều khiển phi mô hình (Model-Free Control - MFC) đã và đang được quan tâm nghiên cứu gần đây. Về bản chất, điều khiển phi mô hình là một kỹ thuật điều khiển hướng dữ liệu, sử dụng dữ liệu vào / ra của một quá trình điều khiển vòng kín để thiết kế bộ điều khiển phù hợp. Quá trình tổng hợp bộ điều khiển sử dụng thuật toán xấp xỉ tuyến tính và bộ ước lượng trực tuyến để cập nhật tham số cho một mô hình siêu cục bộ (ultra-local model) [1-3]. Hiện tại, những vấn đề và thách thức đặt ra đối với MFC trong việc xây dựng khung điều khiển hướng dữ liệu đã được làm sáng tỏ khi phân tích, so sánh điều khiển phi mô hình MFC với điều khiển dựa mô hình MBC (Model-Based Control) [6]. Một số đối tượng như cần cầu tháp, xe tự hành WMR (Wheel Motor Robot) [3], hệ thống đỗ xe tự động ACPS (Automatic Car Parking System) [7], v.v. đã được nhiều học giả nghiên cứu ứng dụng MFC cho thấy mức độ quan tâm của vấn đề nghiên cứu.

Ở nghiên cứu [8], thuật toán điều khiển MFC trên cơ sở PID đã được xây dựng cho cơ hệ lò xo tích cực, song chưa được chứng minh tính ổn định. Trong bài báo này, nhóm tác giả nghiên cứu phát triển, kết hợp điều khiển MFC với PID tạo thành bộ điều khiển thông minh MFC-iPID, từ đó, đề xuất ứng dụng cho một lớp đối tượng cơ điện SISO sử dụng hệ truyền động điện servo đồng bộ. Bài báo trình bày điều khiển phi mô hình dưới dạng hệ thống động bậc một, làm tiền đề cho luật điều khiển MFC-iPID. Luật điều khiển MFC-iPID được đảm bảo toán học chặt chẽ trên cơ sở lý thuyết ổn định Lyapunov và nguyên lý tách [5]. Ví dụ mô phỏng hệ cơ điện sử dụng động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu [9] được thực thi và thể hiện kết quả trực quan trong Matlab.

### 2. PHÂN TÍCH VÀ TỔNG HỢP LUẬT ĐIỀU KHIỂN MFC-iPID

#### 2.1. Mô hình siêu cục bộ

Hiện nay, MFC và thuật toán của nó có thể được coi là bộ điều khiển thông minh. Trong đó, một số bộ điều khiển sử dụng kỹ thuật MFC thường được thiết kế dựa vào bộ điều khiển PID. Và vì lý do đó, các bộ điều khiển MFC chứa tham số P, PI, PID còn được gọi là các bộ điều khiển thông minh iP, iPI, iPID [1, 3].

MFC sử dụng một mô hình siêu cục bộ được biểu diễn bởi phương trình (0) dưới đây, thay thế cho mô hình toán (dựa trên các định luật vật lý) không biết trước của quá trình.

$$\underline{y}^{(\vartheta)} = \underline{F} + A\underline{u} \quad (0)$$

Trong đó:  $\underline{y}^{(\vartheta)}$ : Véc tơ đầu ra của quá trình,  $\vartheta$  là bậc vi phân của  $\underline{y}$ .

$\underline{u}$ : Véc tơ tín hiệu điều khiển.

$\underline{F}$ : Véc tơ không thứ nguyên, đóng vai trò nhiễu được cập nhật vào quá trình.

$A$ : Ma trận hằng số,  $A \in R^{n \times n}$ .

Bài báo xem xét hệ thống động bậc nhất có mô tả dưới dạng tổng quát (1):

$$\underline{\dot{y}} = \underline{F} + A\underline{u}, \quad (1)$$

với:  $\underline{y} \in R^n$ ;  $\underline{F} \in R^n$ ;  $\underline{u} \in R^n$ ;  $A \in R^{n \times n}$

## 2.2. Tổng hợp luật điều khiển MFC-iPID

Theo [1], mô hình siêu cục bộ (1), đại diện cho một hệ thống động tổng quát, ở đó  $\underline{F}$  và  $A$  là các tham số không rõ (hoặc chưa biết trước).

Gọi đầu ra mong muốn của hệ (1) là  $\underline{y}^* \in R^n$ , sai số bám sát của hệ thống là:

$$\underline{e} = \underline{y}^* - \underline{y} \quad (2)$$

$$\underline{\dot{e}} = \underline{\dot{y}}^* - \underline{\dot{y}} = \underline{\dot{y}}^* - \underline{F} - A\underline{u} \quad (3)$$

$$\text{Đặt: } \sigma = \int_0^t \underline{e}(\tau) d\tau \quad (4)$$

Giả sử ma trận  $A$  khả đảo. Từ (1) có được:

$$\underline{u} = A^{-1}(\underline{\dot{y}} - \underline{F}) \quad (5)$$

Thay (2) vào (5):

$$\underline{u} = A^{-1}(\underline{\dot{y}}^* - \underline{\dot{e}} - \underline{F}) \quad (6)$$

Gọi  $\underline{\tilde{F}}$  là sai số ước lượng của  $\underline{F}$ :

$$\underline{\tilde{F}} = \underline{\hat{F}} - \underline{F} \Rightarrow \underline{F} = \underline{\hat{F}} - \underline{\tilde{F}} \quad (7)$$

Vì  $A$  và  $\underline{F}$  là các tham số không biết trước do đó tín hiệu điều khiển  $\underline{u}$  trong (6) không tường minh. Giả sử ta đã xác định được  $\underline{\hat{A}}$  và  $\underline{\hat{F}}$  tương ứng là những ước lượng của  $A$  và  $\underline{F}$ . Khi đó, (6) được viết dưới dạng:

$$\underline{u}^* = \underline{\hat{A}}^{-1}(\underline{\dot{y}}^* - \underline{\hat{F}} + \underline{\tilde{F}} - \underline{e}) \quad (8)$$

Xem xét tín hiệu điều khiển PID với cấu trúc nối tiếp như sau:

$$\underline{v} = K_p \underline{e} + K_i \int_0^t \underline{e}(\tau) d\tau + K_d \underline{\dot{e}} \quad (9)$$

Trong đó:  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  là các ma trận đường chéo biểu diễn các tham số của PID,  $K_p \in R^{n \times n}$ ,  $K_i \in R^{n \times n}$ ,  $K_d \in R^{n \times n}$ .

Ý tưởng xuất hiện ở đây là dồn các sai lệch ước lượng  $\underline{\tilde{F}}$  và sai số bám  $\underline{e}$  của hệ thống thành một đại lượng tương đương và có thể được kiểm soát bởi  $\underline{v}$ . Khi đó, ta có thể biểu diễn  $\underline{v} = \underline{\tilde{F}} - \underline{e}$ , có nghĩa:

$$\underline{\tilde{F}} - \underline{e} = \underline{v} = K_p \underline{e} + K_i \int_0^t \underline{e}(\tau) d\tau + K_d \underline{\dot{e}} \quad (10)$$

Khi đó, kết hợp (8), (9) và (10), tín hiệu điều khiển  $\underline{u}^*$  của hệ thống có dạng:

$$\underline{u}^* = \hat{A}^{-1} (\underline{y}^* - \hat{F} + \underline{v}) \quad (11)$$

### 2.3. Sự ổn định tiệm cận của hệ thống với luật điều khiển MFC-iPID

Theo [3], bộ điều khiển PID hoàn toàn có thể kết hợp với MFC để hình thành bộ điều khiển thông minh MFC-iPID. Trên cơ sở những phân tích ở mục 3.1, định lý về luật điều khiển MFC-iPID đối với mô hình siêu cục bộ bậc nhất được phát biểu như sau.

**Định lý:**

Mô hình siêu cục bộ  $\underline{y} = \underline{F} + A\underline{u}$  với  $A$  khả đảo,  $\hat{A}$  và  $\hat{F}$  xác định được, tương ứng là các ước lượng của  $A$  và  $\underline{F}$  sẽ ổn định tiệm cận và có sai lệch bám  $\underline{e} = \underline{y}^* - \underline{y} \rightarrow \underline{0}$  với luật điều khiển thông minh MFC-iPID:

$$\underline{u}^* = \hat{A}^{-1} (\underline{y}^* - \hat{F} + \underline{v}), \quad (12)$$

trong đó:

$$\underline{v} = K_p \underline{e} + K_i \int_0^t \underline{e}(\tau) d\tau + K_d \dot{\underline{e}} \quad (13)$$

$K_p, K_i, K_d$  là các ma trận đường chéo đại diện cho các tham số của bộ điều khiển PID,  $K_p \in R^{n \times n}, K_i \in R^{n \times n}, K_d \in R^{n \times n}$ .

**Chứng minh:**

Chọn một hàm Lyapunov có dạng (14):

$$V(t) = \frac{1}{2} \underline{e}^T \underline{e} + \frac{1}{2} (\underline{e}^T K_d \dot{\underline{e}} + \sigma^T K_i \sigma), \quad (14)$$

với  $\sigma$  được định nghĩa theo (4).

Lấy vi phân  $V(t)$  theo thời gian:

$$\dot{V}(t) = \underline{e}^T \dot{\underline{e}} + (\underline{e}^T K_d \dot{\underline{e}} + \underline{e}^T K_i \sigma) \quad (15)$$

Thay (3) vào số hạng thứ nhất của (15):

$$\dot{V}(t) = \underline{e}^T (\underline{y}^* - \underline{F} - A\underline{u}) + (\underline{e}^T K_d \dot{\underline{e}} + \underline{e}^T K_i \sigma) \quad (16)$$

Thay  $\underline{u}^*$  từ (12) vào (16):

$$\dot{V}(t) = \underline{e}^T \left\{ \underline{y}^* - \underline{F} - A \left[ \hat{A}^{-1} (\underline{y}^* - \hat{F} + \underline{v}) \right] \right\} + (\underline{e}^T K_d \dot{\underline{e}} + \underline{e}^T K_i \sigma) \quad (17)$$

Theo nguyên lý tách [5], nếu  $\underline{F}$  và  $A$  được xác định bởi bộ quan sát (hoặc ước lượng trạng thái) thì đánh giá của nó,  $\hat{F}$  và  $\hat{A}$ , hoàn toàn có thể thay thế cho  $\underline{F}$  và  $A$ .

Thay  $\hat{F}$  và  $\hat{A}$  tương ứng cho  $\underline{F}$  và  $A$  trong công thức (17), có được:

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= \underline{e}^T \left[ \underline{y}^* - \hat{F} - \hat{A} \hat{A}^{-1} (\underline{y}^* - \hat{F} + \underline{v}) \right] + (\underline{e}^T K_d \dot{\underline{e}} + \underline{e}^T K_i \sigma) \\ &= -\underline{e}^T \underline{v} + (\underline{e}^T K_d \dot{\underline{e}} + \underline{e}^T K_i \sigma) \end{aligned} \quad (18)$$

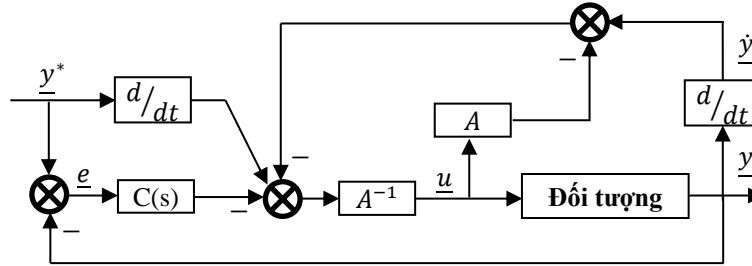
Thay  $\underline{v}$  vào (18):

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= -\underline{e}^T \left[ K_p \underline{e} + K_i \int_0^t \underline{e}(\tau) d\tau + K_d \dot{\underline{e}} \right] + (\underline{e}^T K_d \dot{\underline{e}} + \underline{e}^T K_i \sigma) \\ &= -\underline{e}^T K_p \underline{e} \leq 0 \end{aligned} \quad (19)$$

Như vậy,  $V(t) > 0$  và  $\dot{V}(t) \leq 0$ . Nguyên lý ổn định Lyapunov cho phép ta kết luận hệ thống (1) ổn định tiệm cận, có sai lệch bám  $\underline{e} \rightarrow \underline{0}$ .

Ta có điều phải chứng minh. ■

Sơ đồ cấu trúc thuật toán điều khiển MFC-iPID được thể hiện trên hình 1.



Hình 1. Sơ đồ thuật toán điều khiển MFC-iPID.

**Nhận xét 1:** Về các biến thể của iPID

Đối với các biến thể iP, iPI ta có các bộ điều khiển phi mô hình tương ứng như sau:

- Bộ điều khiển MFC-iP:  $\underline{u}^* = \hat{A}^{-1} (\underline{\dot{y}}^* - \hat{F} + K_p e)$
- Bộ điều khiển MFC-iPI:  $\underline{u}^* = \hat{A}^{-1} [\underline{\dot{y}}^* - \hat{F} + K_p e + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau]$

**Nhận xét 2:** Về bộ điều khiển  $\underline{u}^*$  tường minh.

- Để có bộ điều khiển  $\underline{u}^*$  tường minh thì  $\hat{A}$  và  $\hat{F}$  cần phải được quan sát trực tuyến và đảm bảo tính liên tục. Vấn đề quan sát  $\hat{A}$  và  $\hat{F}$  cần được tiếp tục thực hiện trong những nghiên cứu tiếp theo. Xét trường hợp  $A$  không đổi, khi đó từ mô hình siêu cục bộ bậc nhất nhận được  $\underline{F} = \underline{\dot{y}} - A\underline{u}$ . Biểu diễn toán học này cho thấy khi có tín hiệu điều khiển tác động đối tượng, dữ liệu đầu ra đo được  $\underline{y}$  (ở đây là đạo hàm của  $\underline{y}$ ) sẽ phản ánh  $\hat{F}$ .

- Tính chính xác và bền vững của phép tính vi phân đối với đầu ra thực và đầu ra mong muốn  $\underline{y}^*$  cũng cần phải được đảm bảo, tránh bị ảnh hưởng do mất mát (thiếu hụt) hoặc sai lệch dữ liệu đo được. Một trong những phương pháp đảm bảo tính chính xác và bền vững trong phép tính  $\underline{y}^*$  được trình bày trong Bổ đề sau [3].

**Bổ đề:**

Bộ điều khiển MFC-iPID sử dụng vi phân tín hiệu đặt của quá trình được tính toán như sau:

$$\underline{\dot{y}}^* = \underline{\mu} = [\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n]^T \quad (20)$$

với:

$$\begin{cases} \dot{\pi}_i = \mu_i \\ \mu_i = -k_1 \sqrt{|\pi_i - y_i^*|} \times \text{sgn}(\pi_i - y_i^*) + \tau_i \\ \tau_i = -k_2 \times \text{sgn}(\pi_i - y_i^*) \end{cases} \quad (21)$$

**Nhận xét:**

Theo Bổ đề, kết quả của phép tính  $\underline{\dot{y}}^*$  tạo ra một véc tơ  $\underline{\mu}$  có các phần tử thỏa mãn hệ động học (21), ở đó,  $\mu_i$  được tính toán gián tiếp thông qua các biến trạng thái  $\pi_i$  và  $\tau_i$ , được đảm bảo tính hội tụ nhờ khả năng quan sát trượt sử dụng hàm  $\text{sgn}(\ast)$ .

### 3. MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Xem xét hệ thống điều khiển servo có mô tả (22) dưới tác động của nhiễu (23) [5]. Trong ví dụ mô phỏng này, mô hình (22) chỉ tham gia vào quá trình thu thập dữ liệu mà không tham gia vào quá trình thiết kế luật điều khiển. Có nghĩa luật điều khiển MFC-iPID được thực hiện theo thuật toán (12), (13), hướng dữ liệu thu thập được nhờ mô hình (22). Trong thực tế, dữ liệu được

thu thập từ các cảm biến phù hợp.

$$\ddot{\theta}(t) = -25\dot{\theta}(t) + 133u_v(t) + M_L(t) \quad (22)$$

$$M_L(t) = 50 \times \exp\left[-\frac{(t-1,5)^2}{2 \times 0,2^2}\right] - 20 \times \exp\left[-\frac{(t-3)^2}{2 \times 0,1^2}\right] \quad (23)$$

Trong đó:

- $M_L(t)$ : Nhiễu tác động lên hệ thống.
- $\theta(t)$ : Góc quay thực của tải quy về đầu trục động cơ.
- $\theta_d(t)$ : Góc quay mong muốn của tải quy về đầu trục động cơ.
- $u_v(t)$ : Tín hiệu điều khiển mô men quy về trục động cơ.

Đặt:  $y^*(t) = \theta_d(t)$ ;  $y(t) = \theta(t)$ .

Sai lệch bám góc:

$$e(t) = y^*(t) - y(t) \quad (24)$$

Giả thiết vị trí góc và tốc độ góc ban đầu:

$$y^*(0) = 0,25 \text{ (rad)}; \dot{y}^*(0) = 0,25 \text{ (rad/s)} \quad (25)$$

Mô phỏng thực hiện trong thời gian  $t = 20s$ , bước tính  $T = 0,01s$  (tương đương  $N = 2000$  điểm dữ liệu) với  $y^*(t)$  có dạng hàm điều hòa (26) và dạng hàm bước nhảy (27).

$$y^*(t) = \sin(t) \quad (rad) \quad (26)$$

$$y^*(t) = \begin{cases} 0: t \in [0; 2] \\ 0,25: t \in [2,01; 9] \\ -0,25: t \in [9,01; 17] \\ 0: t \in [17,01; 20] \end{cases} \quad (rad) \quad (27)$$

Lựa chọn các tham số luật điều khiển như trong bảng 1.

**Bảng 1.** Tham số của luật điều khiển.

A	$K_p$	$K_i$	$K_d$
0,0025	-0,85	0,1	-0,1

Một số tiêu chuẩn tích phân được sử dụng để đánh giá chất lượng: IE, ISE, ITAE, ITSE.

- Tiêu chuẩn tích phân bình phương sai lệch (ISE):

$$ISE = \int_0^{+\infty} e^2(t)dt \approx \sum_{i=1}^N e_i^2 \quad (28)$$

- Tiêu chuẩn tích phân của thời gian nhân với giá trị tuyệt đối của sai lệch (ITAE):

$$ITAE = \int_0^{+\infty} t \times |e(t)|dt \approx T \sum_{i=1}^N (iT \times |e_i|) \quad (29)$$

- Tiêu chuẩn tích phân của thời gian nhân với bình phương sai lệch (ITSE):

$$ITSE = \int_0^{+\infty} t \times e^2(t)dt \approx T \sum_{i=1}^N (iT \times e_i^2) \quad (30)$$

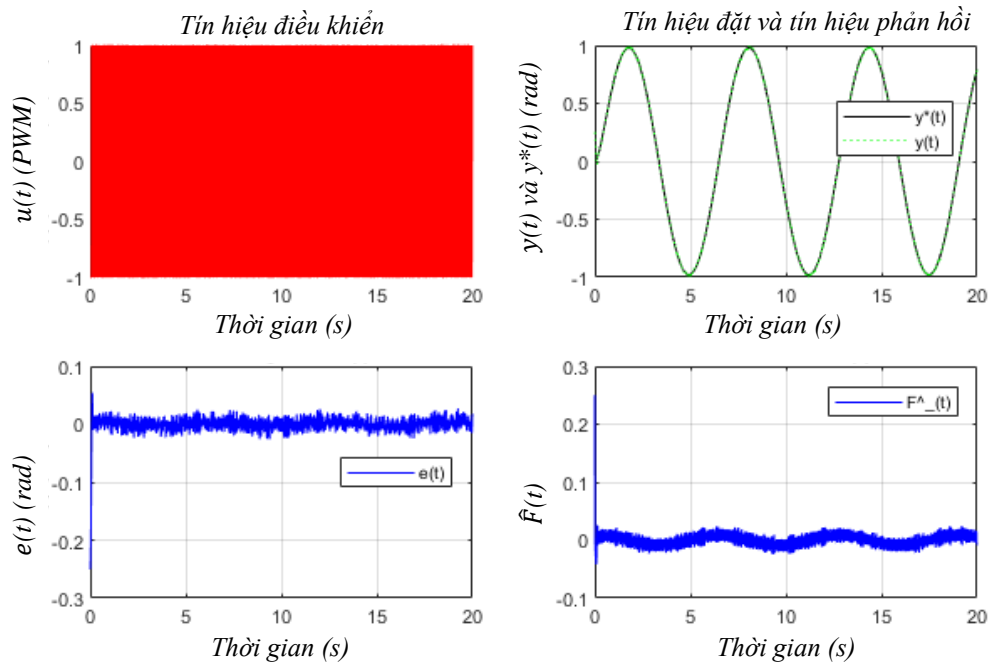
Các kết quả mô phỏng được thể hiện trên hình 2 và hình 3. Các chỉ tiêu chất lượng tích phân được thể hiện trong bảng 2.

#### Nhận xét:

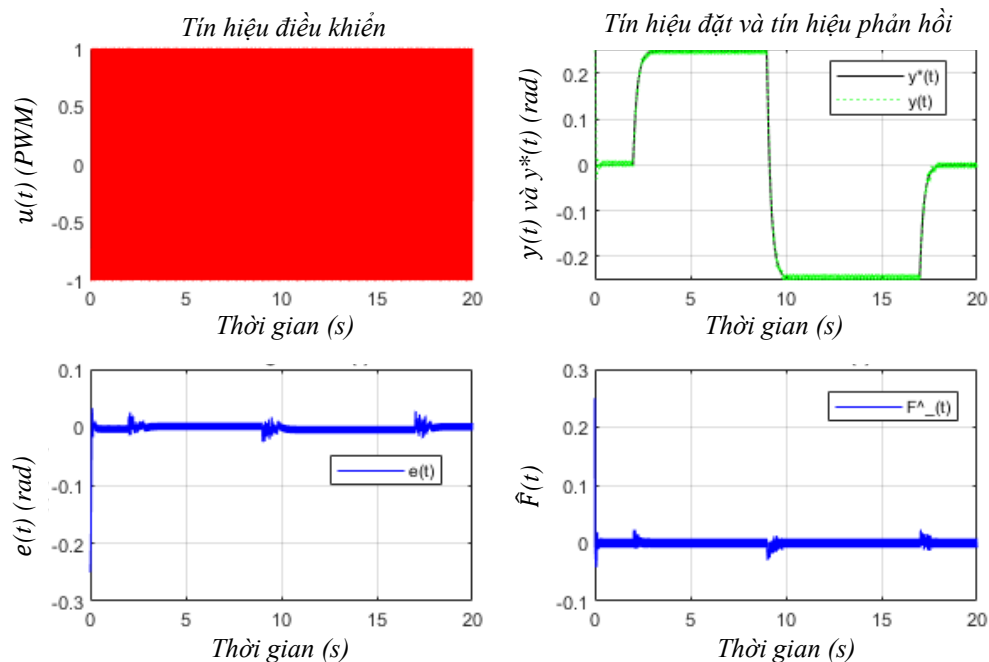
Mô phỏng thực hiện với tham số phi mô hình  $A = const$  và các tham số điều khiển PID theo bảng 1. Kết quả mô phỏng trên hình 2 và hình 3 cho thấy, đầu ra thực tế bám sát với đầu ra mong muốn. Chất lượng của hệ thống được xem xét thông qua các chỉ tiêu chất lượng thể hiện trong bảng 2.

**Bảng 2.** Chất lượng của hệ thống theo một số tiêu chuẩn tích phân.

Đầu vào	IE	ISE	ITAE	ITSE
step	-3,2300	0,4653	1,7395	0,0217
sin	-0,9228	0,4942	1,6446	0,0206



**Hình 2.** Mô phỏng với đầu ra mong muốn  $y^*(t)$  dạng sin.



**Hình 3.** Mô phỏng với đầu ra mong muốn  $y^*(t)$  dạng step.

Bảng 2 cho thấy, chỉ tiêu tích phân sai lệch IE nhỏ hơn 0, có nghĩa miền diện tích âm đã được trừ bớt đi, điều này chứng tỏ đáp ứng quá độ của hệ thống có sự dao động. Tiêu chuẩn tích phân sai lệch IE biểu thị diện tích của hàm sai lệch  $e(t)$  tạo với trục thời gian. Tiêu chuẩn IE không phản ánh đúng chất lượng của hệ thống, do đó cần sử dụng các tiêu chuẩn tích phân khác như ISE, ITAE hay ITSE. Tiêu chuẩn ISE xem nhẹ những diện tích bé vì bình phương của một số nhỏ hơn 1 bé hơn giá trị tuyệt đối của số ấy. Bảng 2 cũng cho thấy, ngoài ISE, các tiêu chuẩn ITAE, ITSE xem xét đến trọng số thời gian (dữ liệu mới sẽ có trọng số lớn hơn dữ liệu cũ) trong quá trình tính tích phân đã phản ánh tốt chỉ tiêu chất lượng của hệ thống.

Trên hình 2 và hình 3, tín hiệu điều khiển  $u(t)$  được biểu diễn dưới dạng tín hiệu điều chế độ rộng xung PWM. Thành phần chưa biết  $F(t)$  được ước lượng theo dữ liệu vào ra, có dáng điệu tương đồng với sai lệch  $e(t)$ , đóng góp vào việc hiện thực hóa luật điều khiển MFC-iPID.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo phân tích và tổng hợp thuật toán điều khiển trên cơ sở mô hình siêu cục bộ bậc nhất, kết hợp với dữ liệu vào ra thu được để phát triển thuật toán điều khiển thông minh MFC-iPID làm cho sai lệch bám hội tụ về 0. So với thuật toán PID kinh điển, thuật toán MFC-iPID được chứng minh tính ổn định tiệm cận bởi tiêu chuẩn ổn định Lyapunov và nguyên lý tách. Nội dung nghiên cứu được đảm bảo toán học chặt chẽ và mô phỏng trực quan với đối tượng điều khiển SISO sử dụng động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu. Kết quả mô phỏng cho thấy, sai số bám của hệ thống hội tụ về 0 và hoàn toàn phụ thuộc vào dữ liệu và thuật toán ước lượng tham số mô hình siêu cục bộ. Mặc dù nhiều nghiên cứu đã chỉ ra tiềm năng ứng dụng luật điều khiển MFC cho nhiều đối tượng cụ thể khác nhau, song những vấn đề về ước lượng tham số, tính chính xác và tính liên tục của dữ liệu vẫn cần được quan tâm nghiên cứu sâu hơn. Nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng, việc tối ưu hóa tham số luật điều khiển hoàn toàn có thể thực hiện được thông qua cực tiểu hóa chỉ tiêu chất lượng.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Fliess, M.; Join, C., “Model-free control and intelligent PID controllers: Towards a possible trivialization of nonlinear control?”, IFAC Proceedings Volumes, **42**(10), pp. 1531–1550, (2009).
- [2]. Fliess, M.; Join, C., “Model-free control”, International Journal of Control, **86**(12), pp. 2228–2252, (2013).
- [3]. Radu-Emil Precup, Raul-Cristian Roman, Ali Safaei, “Data-Driven Model-Free Controllers, CRC Press, London, UK, (2021).
- [4]. Radu-Emil Precup, Mircea-Bogdan Radac, Raul-Cristian Roman, Emil M. Petriu, “Model-Free Sliding Mode Control of Nonlinear Systems: Algorithms and Experiments”, Information Sciences, (2016).
- [5]. A. N. Atassi and H. Khalil, “A separation principle for the stabilization of a class of nonlinear systems,” IEEE Transactions on Automatic Control, **44**(9), pp. 1672–1687, (1999).
- [6]. Z.- S. Hou, Z. Wang, “From model-based control to data-driven control: Survey, classification and perspective”, Information Sciences, No. 235, pp. 3-35, (2013).
- [7]. Dong Hang-rui, Jin Shang-tai, Hou Zhong-sheng, “Model Free Adaptive Control for Automatic Car Parking Systems”, Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation, Shenyang, China, (2014).
- [8]. P.-A. Gedouin, E. Delaleun, J.-M. Bourgeot, C. Join, S. A. Chirani, S. Calloch, “Experimental comparison of classical PID and model-free control: Position control of a shape memory alloy active spring”, Control Engineering Practice, **19**(5), pp. 433-441, (2011).
- [9]. Nguyen Thi Thu Thao, Vu Quoc Huy, “Sliding mode control with exponent sliding surface-reaching law in the tracking drive systems using synchronous servo at torque-position mode”, Journal of Military Science and Technology, **No. 80**, pp. 31-38, (2022).

**ABSTRACT**

**Model-free data-driven control MFC-iPID for a class of electro-mechanic systems**

*This paper presented the analysis and synthesis of an intelligent controller based on model-free data-driven control for a class of electro-mechanic systems. Model-free control (MFC) used an ultra-local model incorporated with PID to develop an intelligent controller MFC-iPID. The analysis and synthesis of MFC-iPID were ensured mathematically based on the Lyapunov stability and separation principle. The simulation research results in Matlab were shown visually.*

**Keywords:** Model-free control; Data-driven; Ultra-local model; PID; Lyapunov stability; Servo electro-mechanic system.