

# THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT SMC MỚI CẢI THIỆN TỐC ĐỘ CHO ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU

Trần Thanh Tuyền<sup>1,2\*</sup>, Đoàn Thị Như Quỳnh<sup>2</sup>

Nguyễn Thị Phúc<sup>2</sup>, Đỗ Thị Hoa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Viện Tự động hoá, Đại học Trung Nam, Hồ Nam, Trung Quốc

<sup>2</sup>Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

\*Email: tuyenttbk48@gmail.com

## TÓM TẮT

Điều khiển trượt (SMC) là một trong các phương pháp điều khiển phổ biến hiện nay. Nhằm giải quyết các nhược điểm của luật điều khiển tiếp cận vận tốc không đổi (CVRL) khi không thể hội tụ nhanh chóng và bị ảnh hưởng bởi các yếu tố bên ngoài khi làm việc, bài báo này thiết kế một bộ điều khiển trượt với luật điều khiển cải thiện từ luật điều khiển CVRL. Đầu tiên, nhóm tác giả đưa ra mô hình toán học và trạng thái của động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM) ở trường hợp lý tưởng với các thông số của động cơ PMSM. Tiếp đó, nhóm tác giả đề xuất luật điều khiển mới NCVRL và kiểm tra độ ổn định Lyapunov của luật điều khiển mới. Kết quả mô phỏng bộ điều khiển trượt mới cho thấy tốc độ và momen của hệ thống trong đều đạt hiệu suất tốt và có độ hội tụ cải thiện. Bài báo trình bày xây dựng hệ thống điều khiển trượt cho động cơ PMSM trên phần mềm Matlab/Simulink.

**Từ khóa:** Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM), luật tiếp cận vận tốc không đổi (CVRL), điều khiển trượt (SMC), mô hình hoá.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM), đặc trưng bởi cấu trúc nhỏ gọn, hiệu suất cao và mật độ công suất cao. Hiện nay động cơ PMSM đang được tập trung nghiên cứu với nhiều công nghệ điều khiển mới, đặc biệt là với sự phát triển nhanh chóng của ngành công nghiệp xe điện năng lượng mới [1]. Trong các ứng dụng công nghiệp sản xuất, điều khiển tỷ lệ-tích phân (PI) được sử dụng rộng rãi do thuật toán đơn giản và dễ triển khai [2-3]. Tuy nhiên, do PMSM là đối tượng điều khiển phi tuyến tính và nhiều tham số phức tạp, dễ bị nhiễu loạn môi trường bên ngoài và thay đổi tham số hệ thống [4], nên điều khiển PI thể hiện những hạn chế trong việc đạt được khả năng điều chỉnh tốc độ có độ chính xác cao. Do đó, việc phát triển một chiến lược điều khiển tiên tiến để tăng cường khả năng chống nhiễu và hiệu suất điều chỉnh tốc độ của PMSM có tầm quan trọng đặc biệt.

Vì vậy, nhiều nhà nghiên cứu đã phát triển các thuật toán điều khiển để khắc phục các hiệu

ứng phi tuyến xác định của mô hình PMSM bằng cách sử dụng thuật toán tuyến tính hóa phản hồi [5]. Với sự phát triển nhanh chóng của bộ xử lý điều khiển số, điều khiển dự báo (MPC) đã được xem xét rộng rãi trong lĩnh vực điều khiển động cơ do khả năng tối ưu hóa trực tuyến và xu hướng bổ sung các điều kiện ràng buộc [6]. Mặc dù công nghệ tuyến tính hóa phản hồi và MPC có thể xử lý rất tốt tính phi tuyến xác định của mô hình PMSM, nhưng rất khó để khắc phục hoàn toàn các tác động tiêu cực do các yếu tố phi tuyến. Do đó, một số chiến lược điều khiển phi tuyến, kết hợp với kỹ thuật bù nhiễu hoặc ước lượng tham số, đã được áp dụng để cải thiện hiệu suất điều khiển của hệ thống PMSM, chẳng hạn như điều khiển trượt (SMC) [7], điều khiển mờ [8], điều khiển tích cực loại bỏ nhiễu (ADRC) [9], điều khiển mạng nơ-ron (NNC) [10] và các nhiều thuật toán khác.

Trong số rất nhiều chiến lược điều khiển phi tuyến trên thì thuật toán SMC được biết đến như một phương pháp điều khiển mạnh mẽ, được sử dụng rộng rãi trong hệ thống điều khiển

PMSM [11]. Ưu điểm điển hình của SMC là không nhạy cảm với các nhiễu và tham số và có tốc độ phản hồi nhanh, có thể cải thiện chất lượng động của hệ thống điều khiển tốc độ của PMSM ba pha. Ngoài ra, SMC đặc biệt thích hợp cho việc điều khiển các hệ thống phi tuyến như hệ thống điều chỉnh tốc độ PMSM [12].

Để làm rõ các nội dung trên, bài báo tập trung vào xây dựng và thiết kế một bộ điều khiển SMC đơn giản cho hệ thống điều chỉnh tốc độ PMSM. Những đóng góp của bài báo được nêu bật như sau:

- Đưa ra mô hình toán học động cơ PMSM với NCVC gắn ngoài. Đây là mô hình cơ bản trong nghiên cứu động cơ PMSM và hệ điều khiển của động cơ này;

- Thiết kế bộ điều khiển trượt với luật điều khiển mới. Dựa trên tối ưu các thông số này giúp tăng khả năng chống nhiễu của động cơ khi thay đổi tải hoặc tốc độ;

- Bộ điều khiển SMC được đề xuất không chỉ có độ chính xác cao mà còn có tốc độ phản hồi cải thiện có với bộ điều khiển SMC truyền thống.

Các phần nội dung của bài báo được trình bày như sau: Mô hình toán học của động cơ PMSM nghiên cứu phân tích trong Phần 2. Phần 3 trình bày và thiết kế bộ điều khiển trượt SMC với luật điều khiển mới. Phần 4 đưa ra kết quả mô phỏng và đánh giá. Phần 5 là phần kết luận của bài báo.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bài báo này nghiên cứu động cơ PMSM với cuộn dây đối xứng ba pha cho stato và rôto có gắn nam châm vĩnh cửu (NCVC). Để đơn giản hóa quá trình mô hình hóa, nhóm tác giả định các cuộn dây đối xứng và bỏ qua các tác động của bão hòa mạch từ, tổn thất dòng điện xoáy và tổn thất trễ. Mô hình toán học của PMSM trong hệ tọa độ quay đồng bộ dq được thể hiện như sau.

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L}(u_d - Ri_d + \omega_e Li_q) \quad (1)$$

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L}(u_q - Ri_q - \omega_e Li_d - \omega_e \psi_f) \quad (2)$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{J} \left( \frac{3}{2} p_n \psi_f i_q - B_a \omega_m - T_L \right) \quad (3)$$

Trong đó  $u_d$  và  $u_q$  tương ứng là điện áp stato

của trục d và q;  $i_d$  và  $i_q$  tương ứng là dòng điện của trục d và q;  $R$  và  $L$  lần lượt là điện trở của cuộn dây ba pha và độ tự cảm của stato;  $p_n$  là số cặp cực;  $\omega_m$  là tốc độ góc cơ học của động cơ;  $\psi_f$  là liên kết từ thông NCVC;  $J$ ,  $T_L$  và  $B_a$  lần lượt là mômen quán tính, mômen tải và hệ số giảm chấn.

Đối với PMSM gắn trên bề mặt, có thể đạt được hiệu suất điều khiển tốt hơn bằng cách đặt  $i_d = 0$ . Do đó, mô hình toán học có thể được biểu diễn bằng:

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L}(u_q - Ri_q - \omega_e \psi_f) \quad (4)$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{J} \left( \frac{3}{2} p_n \psi_f i_q - T_L \right) \quad (5)$$

Xác định các biến trạng thái của hệ thống PMSM là:

$$\begin{cases} x_1 = \omega_{ref} - \omega_m \\ x_2 = \dot{x}_1 = -\dot{\omega}_m \end{cases} \quad (6)$$

Trong đó:  $\omega_{ref}$  là tốc độ tham chiếu của động cơ, thường đặt giá trị không đổi. Theo phương trình (4) và (5) với (6) ta có:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -\dot{\omega}_m = \frac{1}{J} \left( T_L - \frac{3p\psi_f}{2} i_q \right) \\ \dot{x}_2 = -\ddot{\omega}_m = -\frac{3p\psi_f}{2J} \dot{i}_q \end{cases} \quad (7)$$

Đặt  $u = \dot{i}_q$ ,  $D = \frac{3p\psi_f}{2J}$ , phương trình (7)

trở thành:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -D \end{bmatrix} u \quad (8)$$

Như vậy, phương trình trạng thái của động cơ PMSM có dạng:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (9)$$

Trong đó: véc tơ biến trạng thái  $x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$  và

các ma trận tham số  $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ ,  $B = \begin{bmatrix} 0 \\ -D \end{bmatrix}$ .

## 3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN SMC VỚI LUẬT ĐIỀU KHIỂN CHẾ ĐỘ TRƯỢT MỚI

### 3.1. Phân tích luật điều khiển truyền thống

Mặt trượt tích phân có thể được định nghĩa như sau:

$$s = x_1 + c \int_0^t x_1 dt \tag{10}$$

Trong đó c là hằng số với  $c > 0$ . Đối với mặt trượt thông thường, độ ổn định tiệm cận của chế độ trượt được đảm bảo với tốc độ hội tụ phụ thuộc vào giá trị c. Trong nội dung của bài báo, nhóm tác giả sử dụng mặt trượt này cho tất cả các luật trượt để đánh giá ưu nhược điểm của các luật điều khiển với nhau cũng như trong mô phỏng động cơ PMSM.

Bộ điều khiển chế độ trượt có thể thiết kế với các định luật khác nhau để đảm bảo chất lượng của giai đoạn chuyển động bình thường. Một trong những luật trượt của bộ điều khiển SMC dùng phổ biến là luật tiếp cận vận tốc không đổi (CVRL):

$$\dot{s}_1 = -\varepsilon \operatorname{sgn}(s) \tag{11}$$

Hằng số  $\varepsilon$  ( $\varepsilon > 0$ ) biểu thị tốc độ điểm chuyển động của hệ tiến tới điểm chuyển mạch  $s = 0$ . Khi  $\varepsilon$  quá nhỏ, tốc độ đạt tới chậm. Và khi  $\varepsilon$  quá lớn, tốc độ tiếp cận sẽ nhanh hơn nhưng đồng thời độ biến động cũng lớn.

**3.2. Luật điều khiển mới**

Nhóm tác giả nghiên cứu và cải thiện từ luật trượt truyền thống CVRL và đưa ra luật điều khiển mới (NCVRL), có thể thích ứng với các biến thể của trạng thái hệ thống và bề mặt trượt. Luật tiếp cận mới như sau:

$$\begin{cases} \dot{s} = -\varepsilon \frac{(1 - e^{-|x|} + \alpha)}{\alpha} \operatorname{sgn}(s) \\ \lim_{t \rightarrow \infty} |x| = 0, \varepsilon > 0, 1 > \alpha > 0, \end{cases} \tag{12}$$

Thông qua luật NCVRL được đưa ra ở phương trình (12), ta thấy được nếu trạng thái nằm cách xa bề mặt trượt, tức là  $s > 0$  thì giá trị  $\operatorname{sgn}(s) = 1$  và trạng thái của hệ thống đạt đến bề mặt trượt theo tốc độ thay đổi  $\varepsilon(1 - e^{-|x|} + \alpha)/\alpha$ . Ngoài ra, nếu  $|x| \rightarrow 0$  khi  $t \rightarrow 0$  thì  $\varepsilon(1 - e^{-|x|} + \alpha)/\alpha$  hội tụ về  $\varepsilon$ . Điều này có nghĩa là, trong khi trạng thái hệ thống đạt đến bề mặt trượt, các hệ số của luật sẽ giảm dần để hạn chế hiện tượng dao động của các quỹ đạo pha xung quanh mặt trượt.

**3.3. Độ ổn định của luật điều khiển mới**

Hàm Lyapunov có thể được xây dựng như sau:

$$V = \frac{1}{2} s^2 \tag{13}$$

Kết hợp với phương trình (12), ta đạo hàm phương trình (13) được:

$$\begin{aligned} \dot{V} = s\dot{s} &= s \left( -\varepsilon \frac{(1 - e^{-|x|} + \alpha)}{\alpha} \operatorname{sgn}(s) \right) \\ &= -\varepsilon s \frac{(1 - e^{-|x|} + \alpha)}{\alpha} \operatorname{sgn}(s) \leq -\varepsilon |s| \frac{(1 - e^{-|x|} + \alpha)}{\alpha} \leq 0 \end{aligned} \tag{14}$$

Khi lựa chọn tham số thỏa mãn  $\lim_{t \rightarrow \infty} |x| = 0$ ,  $\varepsilon > 0$  và  $1 > \alpha > 0$  thì  $\dot{V} \leq 0$  được thiết lập. Thông qua đánh giá ổn định Lyapunov cho thấy luật điều khiển trượt mới được thiết kế ổn định.

**3.4. Thiết kế bộ điều khiển trượt SMC điều chỉnh tốc độ cho động cơ PMSM**

Đạo hàm của phương trình (10), ta có được:

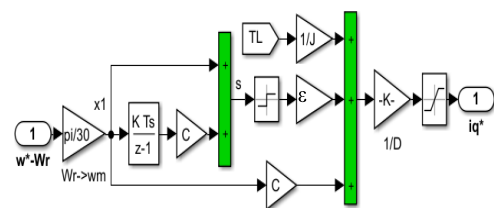
$$\dot{s} = \dot{x}_1 + cx_1 = \frac{T_L}{J} - Di_q^* + cx_1 \tag{15}$$

Từ phương trình (15), ta có dòng điện tham chiếu của trục q được xác định:

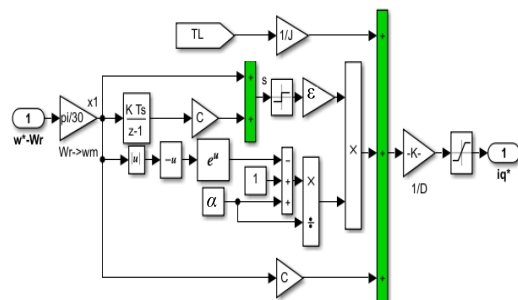
$$i_{q\_CVRL}^* = \frac{1}{D} \left[ cx_1 + \frac{T_L}{J} + \varepsilon \operatorname{sgn}(s) \right] \tag{16}$$

Và với luật điều khiển trượt mới đề xuất NCVRL, ta có:

$$i_{q\_NCVRL}^* = \frac{1}{D} \left[ cx_1 + \frac{T_L}{J} + \varepsilon \frac{(1 - e^{-|x|} + \alpha)}{\alpha} \operatorname{sgn}(s) \right] \tag{17}$$



(a) CVRL



(b) NCVRL

Hình 1. Sơ đồ điều khiển trượt SMC với luật điều khiển CVRL và NCVRL

Mô men quán tính J	0,003	Kg.m <sup>3</sup>
Hệ số giảm chấn B	0,008	Ns/m
Chu kỳ trích mẫu T <sub>s</sub>	20	μs

4. PHÂN TÍCH VÀ MÔ PHÒNG

4.1. Thiết lập mô hình mô phỏng

Mô hình mô phỏng thuật toán điều khiển trượt với luật điều khiển mới và động cơ PMSM được xây dựng trên phần MATLAB/Simulink. Trong số đó, các thông số động cơ được đưa ra như trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số động cơ PMSM

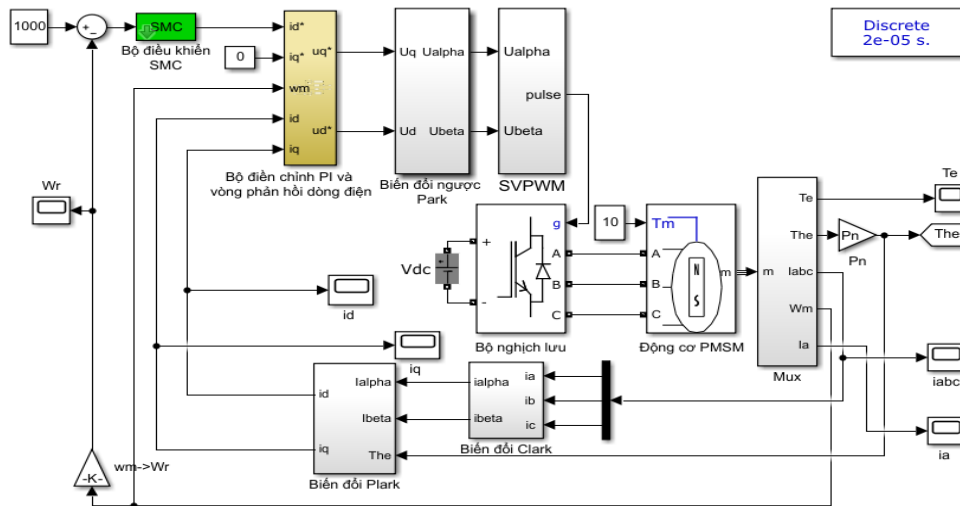
Thông số	Giá trị	Đơn vị
Điện trở stato R <sub>s</sub>	2,875	Ω
Điện cảm dọc trục L <sub>d</sub>	8,5	mH
Điện cảm ngang trục L <sub>q</sub>	8,5	mH
Số đôi cực p	4	
Từ cảm của NCVC ψ <sub>f</sub>	0,175	Wb
Điện áp một chiều U <sub>dc</sub>	311	VDC
Tần số cắt PWM f <sub> PWM</sub>	10	kHz

4.2. Đánh giá kết quả mô phỏng

Đánh giá tính đúng đắn của của bộ điều khiển trượt với luật điều khiển mới NCVRL được thiết kế, các điều kiện mô phỏng được thiết lập các tham số của bộ điều khiển trượt như sau: c=0,3, ε= 1800, q=1100, α = 0,7 và tham số thiết kế của mạch vòng dòng điện β = 2800.

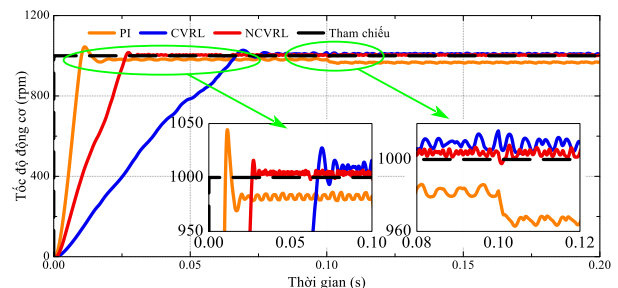
4.2.1. Trường hợp động cơ PMSM chạy các tải thay đổi với tốc độ không đổi

Trong trường hợp động cơ PMSM chạy với tải thay đổi và tốc độ không đổi, nhóm tác giả thực hiện mô phỏng động cơ PMSM từ khi khởi động đến tốc độ Ω<sub>m</sub> = 1000 vòng/phút, tốc độ này được giữ không đổi, trong khi đó thì mô men tải T<sub>L</sub> thay đổi từ 5Nm lên 10Nm tại thời điểm 0,1s.



Hình 2. Sơ đồ khối điều khiển động cơ PMSM với bộ điều khiển SMC

Kết quả trên hình 3 cho thấy độ hội tụ của bộ điều khiển với mặt trượt tích phân kết hợp với luật điều khiển CVRL chậm và có độ quá điều chỉnh cao. Bộ điều khiển SMC với luật điều khiển CVRL và NCVRL có độ sai lệch giá trị RMSV so với tham chiếu ít hơn bộ điều khiển PI. Ngoài ra, Bộ điều khiển SMC có luật điều khiển trượt mới đề xuất NCVRL cải thiện được đáng kể nhược điểm của luật điều khiển truyền thống CVRL về độ quá điều chỉnh, thời gian hội tụ cũng như biên độ dao động khi ổn định.



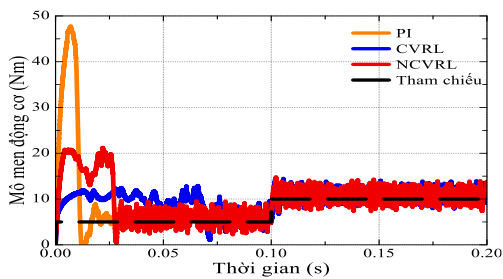
Hình 3. Kết quả mô phỏng tốc độ động cơ PMSM chạy tải thay đổi với tốc độ không đổi

Để đánh giá chi tiết và đầy đủ hiệu suất của các bộ điều khiển, ta có thể xem chi tiết thông số kết quả mô phỏng trong bảng 2.

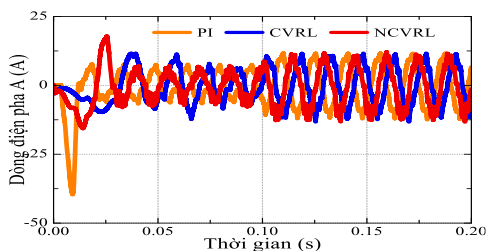
**Bảng 2. Đánh giá thông số của các bộ điều khiển khi thay đổi mô men**

Luật điều khiển và bộ điều khiển	Giá trị tốc độ khi ổn định (rpm)	Tốc độ hội tụ (ms)	Độ quá điều chỉnh (rpm)	Tốc độ thay đổi mô men (rpm)
PI	983,4188	9,62	1044,299	962,8675
CVRL	1008,5937	66,06	1027,441	1003,254
NCVRL	1003,4922	26,04	1015,940	997,674

Qua bảng 2 có thể thấy bộ điều khiển PI có thời gian hội tụ nhanh (9,62ms), nhưng các chỉ tiêu khác như giá trị tốc độ RMSV so với giá trị tham chiếu lớn (sai lệch 1,65812%), khi có thay đổi mô men tải thì tốc độ giảm lớn (3,71325%), độ quá điều chỉnh cũng cao hơn so với các bộ SMC (vượt 4,4299%). Đối với bộ điều khiển SMC có luật điều khiển CVRL cho giá trị RMSV tốt hơn (vượt 0,85937%), độ quá điều chỉnh thấp hơn (2,7441%) và khi có tải thay đổi thì mô men thay đổi ít hơn tuy nhiên hạn chế lớn nhất là thời gian hội tụ của bộ điều khiển này khá lớn (66,06ms). Do đó, ta có thể thấy bộ điều khiển NCVRL mới cải thiện được các nhược điểm của bộ điều khiển SMC có luật CVRL và cải thiện được cả thời gian hội tụ (26,04ms ít hơn 2,54 lần tương ứng của CVRL).



(a) Mô men động cơ



(b) Dòng điện pha A

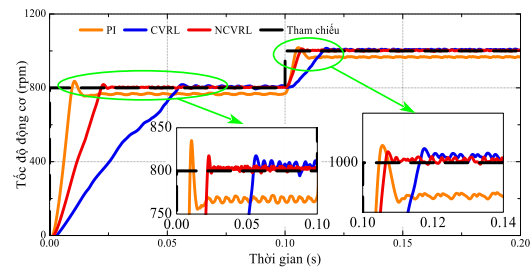
**Hình 4. Kết quả mô phỏng dòng điện  $i_A$  và mô men với tải thay đổi và tốc độ không đổi**

Hình 4 cho thấy khi sử dụng bộ điều khiển SMC đề xuất sử dụng luật NCVRL thì hạn chế được dao động của mô men và dòng điện so

với bộ điều khiển PI nhưng lại lớn hơn CVRL khi khởi động.

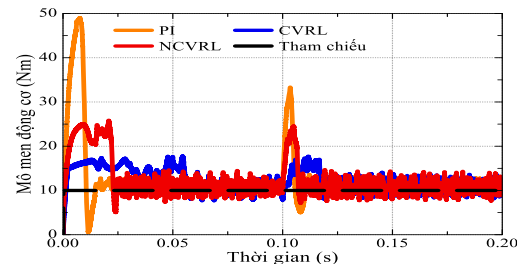
**4.2.2. Trường hợp động cơ PMSM chạy các tải không đổi với tốc độ thay đổi**

Trong trường hợp động cơ PMSM chạy với tải không đổi và tốc độ thay đổi, nhóm tác giả thực hiện mô phỏng động cơ PMSM với tốc độ thay đổi từ 800 vòng/phút lên 1000 vòng/phút tại thời điểm 0,1s trong khi đó mô men tải  $T_L$  tải giữ ở trạng thái không đổi 10Nm.

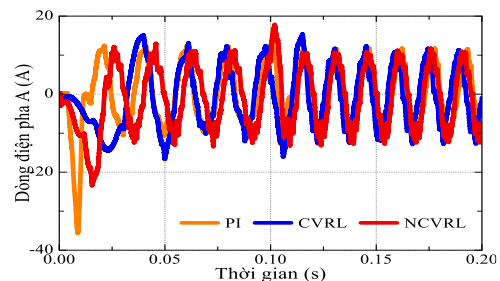


**Hình 5. Kết quả mô phỏng tốc độ động cơ PMSM chạy tải không đổi với tốc độ thay đổi**

Kết quả trên hình 5 tương tự như ở hình 3, độ hội tụ của bộ điều khiển SMC với luật trượt mới NCVRL cải thiện hơn của bộ điều khiển SMC với luật trượt truyền thống CVRL. Độ gợn sóng của tốc độ khi ổn định của các bộ điều khiển SMC cũng tốt hơn so với khi động cơ thay đổi tốc độ với bộ điều khiển PI.



(a) Mô men động cơ



(b) Dòng điện pha A

**Hình 6. Kết quả mô phỏng dòng điện  $i_A$  và mô men với tải không đổi và tốc độ thay đổi**

Hình 6 cho thấy khi sử dụng bộ điều khiển SMC thì hạn chế được dao động của mô men và dòng điện so với bộ điều khiển PI.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo này cho thấy bộ điều khiển trượt với luật điều khiển mới được đề xuất NCVRL và tính ổn định mạnh mẽ của hệ thống được đưa ra với các kết quả thực nghiệm khác nhau. Nhóm tác giả đã dựa trên kết quả mô phỏng của 02 bộ điều khiển SMC với luật điều khiển CVRL, NCVRL và PI để đánh giá ưu nhược điểm của từng bộ điều khiển.

Ứng dụng của điều khiển SMC cho hệ thống động cơ PMSM giúp nâng cao chất lượng điều khiển của hệ thống. Nhóm tác giả tiếp tục nghiên cứu sâu hơn nhằm cải thiện đặc tính tốt hơn, và hạn chế các gợn sóng của mô men đầu ra cũng như dao động của tốc độ động cơ khi chạy ở chế độ ổn định.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. S. Wang, J. Kang, M. Degano, A. Galassini, and C. Gerada (2020), "An Accurate Wide-Speed Range Control Method of IPMSM Considering Resistive Voltage Drop and Magnetic Saturation," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 67, no. 4, pp. 2630-2641, 2020.
2. V. M. Bida, D. V. Samokhvalov and F. S. Al-Mahturi (2018), "PMSM vector control techniques — A survey," 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), Moscow and St. Petersburg, Russia, 2018, pp. 577-581.
3. C. El Moucary, E. Mendes and A. Razeq (2002), "Decoupled direct control for PWM inverter-fed induction motor drives," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 38, no. 5, pp. 1307-1315, Sept.-Oct. 2002.
4. Chang, X. H., Liu, Y., & Shen, M. (2019). Resilient control design for lateral motion regulation of intelligent vehicle. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 24(6), 2488-2497.
5. Yuan, X., Chen, J., Liu, W., & Lee, C. H. (2022). A linear control approach to design digital speed control system for PMSMs. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 37(7), 8596-8610.
6. Li, X., Wang, X., Gao, P., & Gu, Y. (2021). Model predictive current control algorithm based on joint modulation strategy for low-inductance PMSM. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 37(1), 806-819.
7. S. M. Gadoue, D. Giaouris and J. W. Finch (2010), "MRAS Sensorless Vector Control of an Induction Motor Using New Sliding-Mode and Fuzzy-Logic Adaptation Mechanisms," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 25, no. 2, pp. 394-402, June 2010.
8. Ma, L., Mei, K., Ding, S., & Pan, T. (2023). Design of adaptive fuzzy fixed-time HOSM controller subject to asymmetric output constraints. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*.
9. Lu, W., Li, Q., Lu, K., Lu, Y., Guo, L., Yan, W., & Xu, F. (2021). Load adaptive PMSM drive system based on an improved ADRC for manipulator joint. *IEEE Access*, 9, 33369-33384.
10. Song, J., Wang, Y. K., Zheng, W. X., & Niu, Y. (2022). Adaptive terminal sliding mode speed regulation for PMSM under neural-network-based disturbance estimation: a dynamic-event-triggered approach. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 70(8), 8446-8456.
11. Zuo, Y., Lai, C., & Iyer, K. L. V. (2023). A Review of Sliding Mode Observer based Sensorless Control Methods for PMSM Drive. *IEEE Transactions on Power Electronics*.
12. Young, K. D., Utkin, V. I., & Ozguner, U. (1999). A control engineer's guide to sliding mode control. *IEEE transactions on control systems technology*, 7(3), 328-342.

**Thông tin của tác giả:****NCS. Trần Thanh Tuyền**

Viện Tự động hoá, Đại học Trung Nam, Hồ Nam 410083, Trung Quốc.

Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh.

Điện thoại: +(84).977 386 134 - Email: tuyenttbk48@gmail.com

**ThS. Đoàn Thị Như Quỳnh**

Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84). 983.998.883 - Email: nhuquynh.dhcnqn@gmail.com

**ThS. Nguyễn Thị Phúc**

Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84). 977 512 911 - Email: phucqui.edu.vn@gmail.com

**ThS. Đỗ Thị Hoa**

Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84). 868 152 986 - Email: dohoaqn@gmail.com

## THE NEW SMC SLIDING CONTROLLER DESIGN IMPROVES SPEED FOR PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTORS

**Information about authors:**

**Tran Thanh Tuyen**, PhD student, Automation of School, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China.

Department of Electrical, Quang Ninh University of Industry. Email: tuyenttbk48@gmail.com

**Doan Thi Nhu Quynh**, Master, Department of Electrical, Quang Ninh University of Industry.

**Nguyen Thi Phuc**, Master, Department of Electrical, Quang Ninh University of Industry.

**Do Thi Hoa**, Master, Department of Electrical, Quang Ninh University of Industry.

**ABSTRACT:**

*Slide mode control (SMC) is one of the current popular control methods. To solve the shortcomings of the constant velocity reaching law (CVRL) when it cannot converge quickly and is affected by external speeds when working, this paper designs a sliding law controller that improves the CVRL control law. First, the authors propose a mathematical model and state of the permanent magnet synchronous motor (PMSM) in the ideal case with the parameters of the PMSM motor. Next, the authors proposed a new control law, NCVRL, and tested the Lyapunov stability of the new control law. The simulation results of the new sliding controller showed that the speed and torque of the system both achieved good performance and had improved convergence. The paper presents the construction of a sliding control system for PMSM motors on Matlab/Simulink software.*

**Keywords:** *Permanent magnet synchronous motors (PMSM), constant velocity reaching law (CVRL), sliding mode control (SMC), simulation model.*

**Ngày nhận bài:** 26/09/2024;

**Ngày gửi phản biện:** 27/09/2024;

**Ngày nhận phản biện:** 01/10/2024;

**Ngày chấp nhận đăng:** 05/10/2024.