

TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT THÍCH NGHI DÙNG MẠNG NƠ RON CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG BĂNG VẬT LIỆU

DESIGN ADAPTIVE NEURAL NETWORK FAST TERMINAL SLIDING MODE CONTROLLER OF WINDING SYSTEMS FOR ELASTIC WEBS

Trần Xuân Tinh^{1,*}, Phạm Tuấn Thành²,
Nguyễn Tuấn Hoàn³, Trần Văn Tuyền²

DOI: <https://doi.org/10.57001/huic5804.2023.004>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả tổng hợp bộ điều khiển trượt đầu cuối nhanh thích nghi trên cơ sở mạng nơ ron cho hệ truyền động quấn băng vật liệu đàn hồi. Các kết quả được khảo sát đánh giá bằng mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink cho thấy bộ điều khiển này đảm bảo được các yêu cầu chất lượng ngay cả khi hệ thống chịu ảnh hưởng của nhiễu ngẫu nhiên đầu vào và thông số mô hình biến đổi.

Từ khóa: Hệ truyền động băng vật liệu, điều khiển trượt đầu cuối nhanh, mạng nơ ron.

ABSTRACT

This paper presents the results of synthesizing the adaptive fast terminal sliding controller based on the neural network for the transmission system wrapped in elastic material. The survey and evaluation results by simulation on Matlab-Simulink software show that this controller ensures the quality requirements even when the system is affected by random input noise and model parameters. change.

Keywords: Winding system, fast terminal sliding controller, neural network.

¹Học viện Phòng không - Không quân

²Học viện Kỹ thuật Quân sự

³Trường Đại học Điện lực

*Email: tinhpk79@gmail.com

Ngày nhận bài: 01/11/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/01/2023

Ngày chấp nhận đăng: 24/02/2023

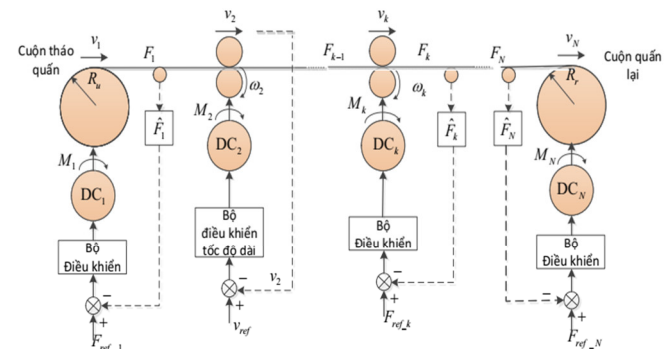
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ truyền động (HTĐ) quấn băng vật liệu nhiều động cơ là hệ động lực học phi tuyến, chứa các liên hệ chéo; các mối liên hệ này làm cho mô hình của đối tượng điều khiển trở nên phi tuyến. Trong điều khiển HTĐ này việc kiểm soát lực căng trên băng vật liệu là một vấn đề khó. Đặc biệt với hệ truyền động của lô quấn và lô tháo quấn, có sự thay đổi về tham số mô hình như: Mômen quán tính, bán kính lô quấn. Các bộ điều khiển (BĐK) HTĐ này liên tục được nghiên cứu phát triển như: BĐK mờ [1, 2]; điều khiển bền vững [3]; điều khiển thích nghi [4]; điều khiển trượt [5]; và điều khiển bù thích nghi dùng mạng nơ ron [6]. Tuy nhiên để tăng năng

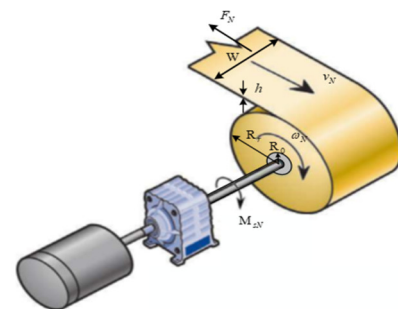
suất, cải thiện về chất lượng sản phẩm vẫn cần có bộ điều khiển bền vững với nhiễu, thích nghi với tham số bất định trong mô hình. BĐK điều khiển trượt đầu cuối thích nghi sử dụng mạng nơ ron nhân tạo đã nâng cao được chất lượng của hệ, hạn chế được các tác động của nhiễu và sự biến đổi của tham số mô hình.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH CƠ HỆ

Xét một mô hình hệ truyền động băng vật liệu đàn hồi gồm N động cơ dẫn động, vừa bám theo tốc độ dài của động cơ chính vừa đảm bảo lực căng trên dải băng theo yêu cầu công nghệ như hình 1. Trong mô hình, động cơ 1 thực hiện tháo quấn, động cơ 2 điều khiển tốc độ dài băng vật liệu, động cơ N dùng để cuốn lại, từ động cơ số 3 đến động cơ N-1 truyền động băng vật liệu. Mục tiêu của hệ thống là duy trì tốc độ dài của băng không đổi và kiểm soát lực căng trên băng.



Hình 1. Mô hình truyền động băng vật liệu đàn hồi N động cơ



Hình 2. Mô hình lô quấn lại

Xét mô hình hệ quán lại có: M_N là mômen động cơ; ω_N là tốc độ trục truyền động; F_N là lực căng của dải vật liệu; v_N là tốc độ dài của dải vật liệu chạy qua. Chỉ số N tương ứng của trục truyền động thứ N trong hệ. Xét dải băng vật liệu có độ rộng W và bề dày h .

Theo [4, 6] có hệ phương trình trạng thái của động cơ thứ N trên hệ truyền động băng vật liệu:

$$\begin{cases} \dot{F}_N = \frac{ES}{L_{N-1}} v_N - \frac{ES}{L_{N-1}} v_{N-1} \\ \dot{v}_N = -\frac{R_r^2}{J_N} F_N - \frac{B_N}{J_N} v_N + \frac{h v_N^2}{2\pi R_r} \left(\frac{1}{R_r} - \frac{2\rho W \pi R_r^2}{J_N} \right) \frac{R_r}{J_N} u_N \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: R_r là bán kính trục roller, L_{N-1} là khoảng cách giữa hai trục thứ N và $N-1$; J_N là mômen quán tính; B_N là hệ số ma sát trượt; E là hằng số đàn hồi của vật liệu; S là tiết diện ngang của băng vật liệu.

$$\text{Đặt } \underline{x} = [x_1 \quad x_2]^T = [F_N \quad v_N]^T$$

Viết lại phương trình trạng thái của hệ:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \frac{ES}{L_{N-1}} x_2 - \frac{ES}{L_{N-1}} v_{N-1} \\ \dot{x}_2 = -\frac{R_r^2}{J_N} x_1 - \frac{B_N}{J_N} x_2 + \frac{h}{2\pi R_r} \left(\frac{1}{R_r} - \frac{2\rho W \pi R_r^2}{J_N} \right) x_2^2 + \frac{R_r}{J_N} u_N \end{cases} \quad (2)$$

Đưa hệ về dạng:

$$\dot{\underline{x}} = A(\underline{x}, t) + B(\underline{x}, t)u + \underline{d}(\underline{x}, t) \quad (3)$$

Trong đó: $A(\underline{x}, t), B(\underline{x}, t), \underline{d}(\underline{x}, t)$ là các hàm bất định bị chặn.

3. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT THÍCH NGHI

Mục tiêu ở đây là với tín hiệu điều khiển đầu vào, phải điều chỉnh được các biến trạng thái, trong điều kiện có nhiễu bất định và tham số mô hình biến đổi.

Giả thiết 1: $\underline{x}^T = [F_N \quad v_N]^T$ có thể đo được

Giả thiết 2: Tồn tại các giá trị thực dương $u_{Nmax}, F_{Nmax}, J_{Nmax}, R_{Nmax}$ sao cho u_N, F_N, J_N, R_r được giới hạn bởi các giá trị này.

Ta định nghĩa sai số quỹ đạo $\underline{e} = \underline{x} - \underline{x}_{ref}$, chọn mặt trượt của bộ điều khiển FTSM dạng:

$$\underline{s} = \alpha \underline{e} + \Lambda \text{sig}(\underline{e})^T \quad (4)$$

Trong đó: $\alpha > 0$ là accs hàng số thiết kế; $\underline{s} = [s_1 \quad s_2]^T$; $\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2)$; λ_1, λ_2 là các hằng số dương; $1 < \tau < 2$; $\text{sig}(\underline{e})^T = [|\underline{e}_1|^\tau \text{sign}(\underline{e}_1), |\underline{e}_2|^\tau \text{sign}(\underline{e}_2)]^T$

Luật điều khiển được xác định như sau:

$$u_{eq}(t) = \hat{B}^{-1}(\underline{x}, t) (-\hat{A}(\underline{x}, t) + \dot{x}_d - \beta \text{sgn}(\underline{s})) \quad (5)$$

Với $A(\underline{x}, t), B(\underline{x}, t)$ là các hàm phi tuyến chưa xác định rõ, có thể xấp xỉ bằng mạng nơron.

Để xấp xỉ $\hat{A}(\underline{x}, t); \hat{B}(\underline{x}, t)$ online, luật thích nghi cập nhật được xác định như sau:

$$\begin{cases} \dot{\theta}_a = \eta_a \left(\alpha + \tau \Lambda \text{diag}(|\underline{e}|^{\tau-1}) \right) \psi_a(\underline{x}) \underline{s} \\ \dot{\theta}_b = \eta_b \left(\alpha + \tau \Lambda \text{diag}(|\underline{e}|^{\tau-1}) \right) \psi_b(\underline{x}) \underline{s} u_{eq} \end{cases} \quad (6)$$

Với $\eta_a; \eta_b > 0$.

Với điều kiện $\underline{x}_i \in \Omega \subset \mathbb{R}$ ta có $\hat{A}(\underline{x}, t); \hat{B}(\underline{x}, t)$ là các ma trận được xác định như sau:

$$A(\underline{x}, t) \approx \hat{A}(\underline{x}, \theta_a) = \theta_a \psi_a(\underline{x}) = \sum_{i=1}^{p_a} \theta_{ai} \psi_{ai}(\underline{x}) \quad (7)$$

$$B(\underline{x}, t) \approx \hat{B}(\underline{x}, \theta_b) = \theta_b \psi_b(\underline{x}) = \sum_{i=1}^{p_b} \theta_{bi} \psi_{bi}(\underline{x}) \quad (8)$$

Ở đây, $\theta_{ai}; \theta_{bi}$ là các tham số vectơ có thể thay đổi được $\psi_{ai}(\underline{x}), \psi_{bi}(\underline{x})$ là các thành phần được chọn dựa trên các hàm cơ sở và p_a, p_b là số nút tương ứng. Trong đó giá trị lớn nhất của $\theta_a; \theta_b$ được xác định như sau:

$$\theta_a^* = \underset{\theta_{ai}}{\text{argmin}} \left\{ \sup_{\underline{x} \in \Omega} |A(\underline{x}, t) + \underline{d}(\underline{x}, t) - \hat{A}(\underline{x}, \theta_{ai})| \right\} \quad (9)$$

$$\theta_b^* = \underset{\theta_{bi}}{\text{argmin}} \left\{ \sup_{\underline{x} \in \Omega} |B(\underline{x}, t) - \hat{B}(\underline{x}, \theta_{bi})| \right\} \quad (10)$$

Ta có sai số ước lượng nhỏ nhất xác định như sau:

$$\begin{aligned} \underline{\varepsilon}_a(\underline{x}, t) &= A(\underline{x}, t) + \underline{d}(\underline{x}, t) - A^*(\underline{x}, \theta_a^*) \\ \underline{\varepsilon}_b(\underline{x}, t) &= B(\underline{x}, t) - B^*(\underline{x}, \theta_b^*) \end{aligned} \quad (11)$$

Giả thuyết rằng các sai số ước lượng bị chặn dưới với $\forall \underline{x} \in \Omega$:

$$\begin{aligned} |\underline{\varepsilon}_a(\underline{x}, t)| &\leq \bar{\varepsilon}_a; \\ |\underline{\varepsilon}_b(\underline{x}, t)| &\leq \bar{\varepsilon}_b. \end{aligned} \quad (12)$$

Với $\bar{\varepsilon}_a, \bar{\varepsilon}_b$ là các hằng số xác định.

Bên cạnh đó, một bộ điều khiển chính xác được xác định để đảm bảo sự ổn định của hệ thống điều khiển vòng kín và bù đắp các lỗi xấp xỉ. Một đầu vào điều khiển được chọn là:

$$u(t) = u_{eq}(t) - u_c(t) \quad (13)$$

Với $u_{eq}(t)$ được chọn như (5) và $u_c(t)$ được định nghĩa như sau:

$$u_c(t) = B^{-1}(\underline{x}, t) \underline{s} \left(\bar{\varepsilon}_b |u_{eq}| + \bar{\varepsilon}_a \right) \quad (14)$$

Định lý 1: Cho hệ thống MIMO với $A(\underline{x}, t), B(\underline{x}, t), \underline{d}(\underline{x}, t)$ là các hàm phi tuyến, nếu các giả thuyết tồn tại, luật thích nghi là đúng, ta có:

1. Tất cả tín hiệu của hệ kín đều bị chặn và $\theta_a; \theta_b$ tiến đến giá trị tối ưu khi $t \rightarrow \infty$.
2. Nếu $A^*(\underline{x}, \theta_a^*) = \hat{A}(\underline{x}, \theta_a); B^*(\underline{x}, \theta_b^*) = \hat{B}(\underline{x}, \theta_b)$ thì sai số của nó tiến về 0 trong thời gian hữu hạn.
3. Nếu $A^*(\underline{x}, \theta_a^*) \neq \hat{A}(\underline{x}, \theta_a); B^*(\underline{x}, \theta_b^*) \neq \hat{B}(\underline{x}, \theta_b)$ thì mặt trượt sẽ nằm lân cận điểm $s = 0$ trong thời gian hữu hạn.

Hàm Lyapunov được chọn như sau:

$$V = \frac{1}{2} s^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{\eta_a} \tilde{\theta}_a^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{\eta_b} \tilde{\theta}_b^2 \quad (15)$$

Với $\tilde{\theta}_a = \theta_a - \theta_a^*$; $\tilde{\theta}_b = \theta_b - \theta_b^*$ là sai lệch giữa của luật thích nghi. Ta có:

$$\dot{V} = s\dot{s} + \frac{1}{\eta_a} \tilde{\theta}_a \dot{\tilde{\theta}}_a + \frac{1}{\eta_b} \tilde{\theta}_b \dot{\tilde{\theta}}_b \quad (16)$$

Đạo hàm hai vế (4) có:

$$\dot{s} = \alpha \dot{e} + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) \dot{e} \quad (17)$$

Thay $\dot{e} = \dot{x} - \dot{x}_{ref}$ vào (17) có:

$$\dot{s} = \alpha (\dot{x} - \dot{x}_{ref}) + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) (\dot{x} - \dot{x}_{ref}) \quad (18)$$

Từ (5) có:

$$\dot{x}_d = u_{eq}(t) \hat{B}(x, t) + \hat{A}(x, t) + \beta \text{sgn}(s) \quad (19)$$

Thay (3) và (19) vào (18) có:

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \alpha \left(A(x, t) + B(x, t)u + d(x, t) - u_{eq}(t) \hat{B}(x, t) \right. \\ &\quad \left. - \hat{A}(x, t) - \beta \text{sgn}(s) \right) \\ &\quad + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) \left(A(x, t) + B(x, t)u + d(x, t) \right. \\ &\quad \left. - u_{eq}(t) \hat{B}(x, t) - \hat{A}(x, t) - \beta \text{sgn}(s) \right) \\ &= \left(\alpha + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) \right) \left(A(x, t) + d(x, t) - \hat{A}(x, t) \right. \\ &\quad \left. + B(x, t)u - u_{eq}(t) \hat{B}(x, t) - \beta \text{sgn}(s) \right) \end{aligned} \quad (20)$$

Thay (13) vào (20) có:

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \left(\alpha + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) \right) \\ &\quad \times \left(A(x, t) + d(x, t) - \hat{A}(x, t) \right. \\ &\quad \left. + (B(x, t) - \hat{B}(x, t))u_{eq}(t) - B(x, t)u_c(t) - \beta \text{sgn}(s) \right) \end{aligned} \quad (21)$$

Biến đổi công thức (11) thu được:

$$\begin{aligned} \varepsilon_a(x, t) + A^*(x, \theta_a^*) - \hat{A}(x, \theta_a) &= A(x, t) + d(x, t) - \hat{A}(x, \theta_a) \\ \varepsilon_b(x, t) + B^*(x, \theta_b^*) - \hat{B}(x, \theta_b) &= B(x, t) - \hat{B}(x, \theta_b) \end{aligned} \quad (22)$$

Thay (22) vào (21) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \left(\alpha + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) \right) \\ &\quad \times \left[\begin{aligned} &(\varepsilon_a(x, t) + A^*(x, \theta_a^*) - \hat{A}(x, \theta_a)) + \\ &(\varepsilon_b(x, t) + B^*(x, \theta_b^*) - \hat{B}(x, \theta_b))u_{eq}(t) \\ &- B(x, t)u_c(t) - \beta \text{sgn}(s) \end{aligned} \right] \end{aligned} \quad (23)$$

Lại có:

$$\begin{aligned} A^*(x, \theta_a^*) - \hat{A}(x, \theta_a) &= \psi_a(\theta_a^* - \theta_a) = -\psi_a \tilde{\theta}_a \\ B^*(x, \theta_b^*) - \hat{B}(x, \theta_b) &= \psi_b(\theta_b^* - \theta_b) = -\psi_b \tilde{\theta}_b \end{aligned} \quad (24)$$

Thay (24) vào (23) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \left(\alpha + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) \right) \\ &\quad \times \left[\begin{aligned} &(\varepsilon_a(x, t) - \psi_a \tilde{\theta}_a) + (\varepsilon_b(x, t) - \psi_b \tilde{\theta}_b)u_{eq}(t) \\ &- B(x, t)u_c(t) - \beta \text{sgn}(s) \end{aligned} \right] \end{aligned} \quad (25)$$

Kết hợp (6), (16) và (25) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= s \left(\alpha + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) \right) \\ &\quad \times \left[\begin{aligned} &(\varepsilon_a(x, t) - \psi_a \tilde{\theta}_a) + (\varepsilon_b(x, t) - \psi_b \tilde{\theta}_b)u_{eq}(t) \\ &- B(x, t)u_c(t) - \beta \text{sgn}(s) \end{aligned} \right] \\ &\quad + \tilde{\theta}_a \left(\alpha + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) \right) \psi_a(x) s \\ &\quad + \tilde{\theta}_b \left(\alpha + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) \right) \psi_b(x) s u_{eq} \end{aligned} \quad (26)$$

Qua biến đổi có:

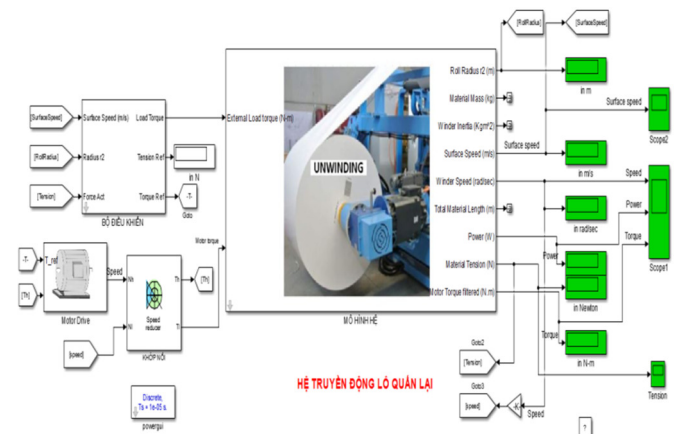
$$\begin{aligned} \dot{V} &= s \left(\alpha + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) \right) \left(\varepsilon_a(x, t) + \varepsilon_b(x, t)u_{eq}(t) \right. \\ &\quad \left. - B(x, t)u_c(t) - \beta \text{sgn}(s) \right) \\ &= s \left(\alpha + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) \right) \left(\varepsilon_a(x, t) + \varepsilon_b(x, t)u_{eq}(t) \right. \\ &\quad \left. - \bar{\varepsilon}_a - \bar{\varepsilon}_b |u_{eq}| - \beta \text{sgn}(s) \right) \\ &\leq - \left(\alpha + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) \right) s \beta \text{sgn}(s) \end{aligned} \quad (27)$$

Lại có $\left(\alpha + \tau \Lambda \text{diag}(|e|^{\tau-1}) \right) > 0$; $s \cdot \text{sgn}(s) \geq 0$ suy ra $\dot{V} \leq 0$ với $\forall x \in \Omega$. Vì vậy mọi tín hiệu của hệ kín đều bị chặn và θ_a, θ_b tiến tới θ_a^*, θ_b^* khi $t \rightarrow \infty$.

Kết luận: Điều này khẳng định tính đúng đắn của bộ điều khiển, đảm bảo ổn định hệ thống trong thời gian hữu hạn khi có bất kì sự thay đổi nào của mô hình và tín hiệu đầu vào.

4. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

4.1. Tham số mô phỏng



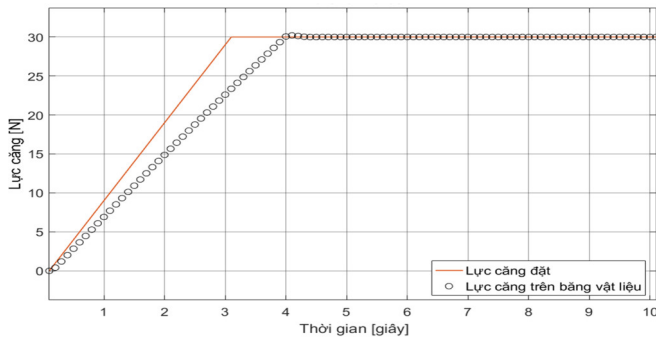
Hình 3. Mô hình mô phỏng hệ truyền động lô quấn lại

Mômen quán tính ban đầu của lô $J_{0N} = 2\text{kgm}^2$; mô men quán tính khi quấn tối đa $J_N = 100\text{kgm}^2$; bán kính rulo ban đầu $R_{0r} = 0,5\text{m}$; bán kính rulo khi quấn xong $R_r = 0,6\text{m}$; khoảng cách giữa hai trục $L_N = 1\text{m}$; diện tích ngang của

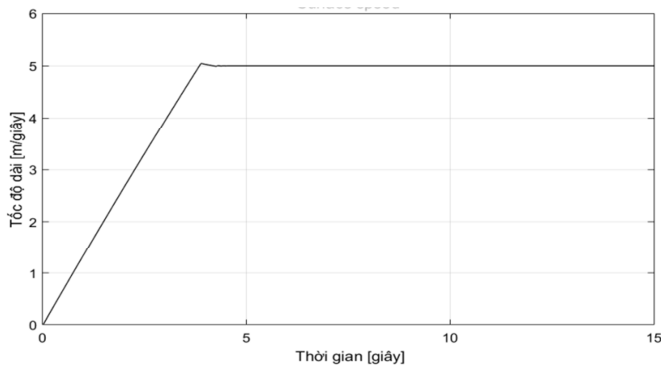
băng vật liệu $S = 2.10^{-5} \text{m}^2$; hằng số đàn hồi của băng vật liệu $E = 1,6.10^5 \text{N/m}^2$; hệ số ma sát trượt $B = 0,412 \text{Nm.s}$

Dựa trên thông số thực tế của HTĐ băng vật liệu tiến hành chọn: $\alpha = 2$; $\lambda_1 = 0,5$; $\lambda_2 = 1$; $\tau = 0,8$. Qua đó xác định được luật điều khiển u_{dk} .

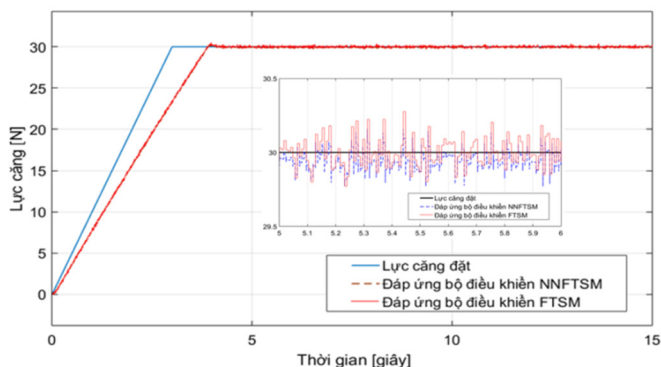
4.2. Kết quả mô phỏng



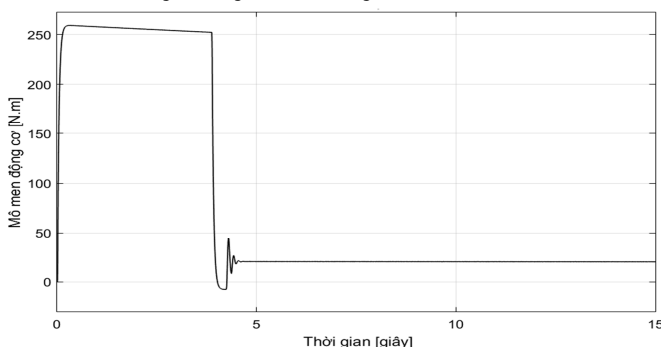
Hình 4. Đáp ứng lực căng trên băng vật liệu



Hình 5. Đáp ứng tốc độ



Hình 6. Đáp ứng lực căng khi có nhiễu ngẫu nhiên



Hình 7. Đáp ứng mô men động cơ

Đặt tốc độ dài của băng vật liệu là 5m/s ; lực căng đặt trên băng là hàm Ramp giới hạn ở 30N . Tốc độ thay đổi của hàm Ramp là 10 N/s nên cần 3 giây để đạt 30N . Kết quả mô phỏng cho hệ quán lại thể hiện trên hình 4 - 7.

Nhận xét:

- Tốc độ dài và lực căng của băng vật liệu đạt giá trị đặt sau thời gian ngắn, với sai số rất nhỏ, đảm bảo được ổn định, giúp nâng cao chất lượng hoạt động của hệ thống.

- Khi có nhiễu ngẫu nhiên, đáp ứng đầu ra của bộ điều khiển trượt thích nghi dùng mạng nơ ron cho kết quả tốt hơn hẳn.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả tổng hợp bộ điều khiển NNFTSM cho hệ cơ điện chuyển động băng vật liệu đàn hồi nhiều động cơ. Phần trình bày được bắt đầu từ việc xây dựng mô hình cơ hệ, xác định luật cập nhật thích nghi của mạng nơ ron, luật điều khiển, chứng minh tính ổn định của hệ, xây dựng mô hình mô phỏng, kiểm nghiệm bằng phần mềm Matlab-Simulink. Qua kiểm tra cho thấy BDK đã nâng cao được chất lượng của hệ thống thông qua các tiêu chí đánh giá, đó là: tính bền vững với nhiễu, thích nghi với tham số mô hình, đảm bảo chính xác tốc độ dài, lực căng của băng vật liệu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Chen Chong, Liu Xingqiao, 2010. *Application of Fuzzy Control in Multi-motor Tension Control System*. International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application.
- [2]. Fawzan Salem, E.H.E. Bayoumi, 2011. *Robust fuzzy-PID control of three-motor drive system using simulated annealing optimization*. Journal of Electrical Engineering.
- [3]. H. Koc, D. Knittel, M. D. Mathelin, 2000. *Robust gain-scheduled control of winding systems*. IEEE Conf. Decision and Control, Sidney, Australia.
- [4]. Zhiqiang Wang, Haibao Nan, Tingna Shi, 2018. *No-Tension Sensor Closed-Loop Control Method with Adaptive PI Parameters for Two-Motor Winding System*, Mathematical Problems in Engineering.
- [5]. N.R. Abjadi, J. Soltani, 2009. *Nonlinear sliding-mode control of a multi-motor web-winding system without tension sensor*. IET Control Theory Appl, Vol. 3, Iss. 4, pp. 419–427.
- [6]. Tong Thi Ly, Nguyen Thanh Tung, 2021. *Tension control for multi-span web transport systems with roll inertia compensation using RBF neural network*. Measurement, Control and Automation, Vol 2.

AUTHORS INFORMATION

Tran Xuan Tinh¹, Pham Tuan Thanh²,
Nguyen Tuan Hoan³, Tran Van Tuyen²

¹Air Defence - Air Force Academy, Viet Nam

²Military Technology Academy

³Electric Power University