

ĐIỀU KHIỂN BACKSTEPPING THÍCH NGHI HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN CÓ TÍNH ĐẾN ĐÀN HỒI VÀ KHE HỞ PHI TUYẾN

HUỶNH VĂN ĐÔNG¹, TRẦN XUÂN KIÊN², NGUYỄN CÔNG ĐỊNH³

¹*Cục Khoa học, Công nghệ và Môi trường - Bộ Quốc phòng*

²*Viện KHCN Quân sự*

³*Học viện Kỹ thuật Quân sự*

Abstract. In this paper, we present a new scheme to design an adaptive controller for the electrical transmission drives with elastic and unknown backlash nonlinearity. The controller is designed based on using backstepping technique. The controller is achieved on real model, the results can conclude about the truth of the designed control algorithm. The controller drives the system in a calmer operation. Especially, it always keeps the system in global asymptote stability.

Tóm tắt. Bài báo giới thiệu một phương pháp mới để thiết kế bộ điều khiển thích nghi cho hệ thống truyền động điện có tính đến đàn hồi và khe hở phi tuyến. Bộ điều khiển được thiết kế dựa trên việc sử dụng kỹ thuật backstepping. Bộ điều khiển được thực hiện trên mô hình thí nghiệm, kết quả chứng tỏ tính đúng đắn của thuật toán điều khiển đã thiết kế. Bộ điều khiển đảm bảo cho hệ thống hoạt động êm dịu, đặc biệt là giữ cho hệ thống ổn định tiệm cận toàn cục.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống truyền động điện trong các trang thiết bị quân sự có phần tử chấp hành là các đối tượng có quán tính lớn như bệ pháo, tháp pháo xe tăng, an ten ra đa, tên lửa. Để quay được các tải khối lượng lớn này, các hệ thống truyền động điện thường dùng động cơ điện một chiều, công suất lớn, quay với tốc độ cao, qua bộ giảm tốc để đảm bảo đủ lực quay cần thiết. Khe hở và đàn hồi luôn tồn tại trong các hệ thống này và là một trong những yếu tố ảnh hưởng lớn đến chất lượng làm việc của thiết bị. Do vậy, hiệu ứng của đàn hồi và khe hở cần được quan tâm xem xét trong khi thiết kế và phân tích hệ thống điều khiển.

Nghiên cứu về hệ thống truyền động điện có tính đến các yếu tố như biến dạng đàn hồi, khe hở là một đề tài hấp dẫn nhằm nâng cao chất lượng của hệ thống. Nghiên cứu đặc tính và hiệu ứng của đàn hồi và khe hở trong hệ thống truyền động điện có thể thấy trong [2, 4]. Nghiên cứu điều khiển thích nghi cho hệ thống có tính đến đàn hồi và khe hở phi tuyến được trình bày trong [4, 8, 10].

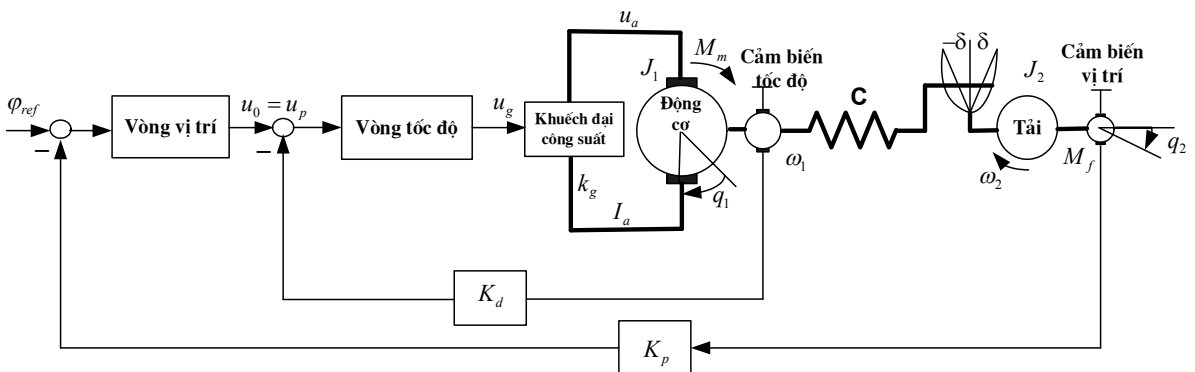
Điều khiển tuyến tính hoá chính xác cho hệ hai khối lượng có khe hở được giới thiệu trong [3], đến khi bộ điều khiển dự đoán trước (GPC) cùng với bộ nhận dạng dựa trên mô hình mờ Takagi-Sugeno được sử dụng trong [5], bộ điều khiển hiệu chỉnh tham số theo mô

hình chuẩn cùng với bộ quan sát đưa ra ở [8], bộ điều khiển PI cùng với bộ quan sát mô men xoắn trình bày trong [6, 7]. Một phương pháp tuyến tính hoá khe hở, sau đó tổng hợp bộ điều khiển tối ưu cho hệ hai khối lượng được đưa ra trong [9]. Một loạt các nghiên cứu về khe hở được trình bày trong [11], trong đó khe hở tồn tại trong mỗi phương trình mô tả hệ hoặc tại đầu vào của hệ nhưng chỉ áp dụng được kỹ thuật backstepping trong trường hợp lý tưởng khi mô tả của hệ ở dạng chuẩn, không áp dụng được trong hệ thống truyền động điện hai khối lượng.

Bài báo nghiên cứu đối tượng là hệ thống truyền động điện có tính đến đàn hồi và khe hở phi tuyến. Mô tả khe hở có mặt trong hai phương trình vi phân của hệ thống. Một mô hình mới làm trơn khe hở được chọn và bộ điều khiển được xây dựng dựa trên thiết kế backstepping đệ qui. Trong việc xấp xỉ khe hở, một hàm hiển thị mới được thiết kế, nó liên tục và khả vi, trong khi ở [2] hàm mô tả khe hở là không trơn và không thể sử dụng trong thiết kế backstepping.

Trong bài báo, khe hở được đưa vào trong thiết kế bộ điều khiển, thay vì chỉ xem xét hiệu ứng của nó như trong [2] hoặc làm mất đi tính phi tuyến “tốt” của nó như trong [9]. Một luật điều khiển thích nghi cho toàn bộ hệ thống truyền động điện được tổng hợp, cùng với hàm hiệu chỉnh tham số khe hở đảm bảo hệ thống ổn định tiệm cận toàn cục (GAS).

2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN



Hình 1. Sơ đồ hệ thống truyền động điện phi tuyến có điều khiển PID

$$\begin{cases} \dot{\omega}_2 = J_2^{-1}(T_s - T_f); \dot{M}_y = C(\omega_1 - \omega_2) \\ \dot{\omega}_1 = J_1^{-1}(M_m - T_s) \\ M_m = k_m I_a; u_a = k_g u_g; I_a = \frac{k_g u_g}{R_a} - \frac{k_e \omega_1}{R_a} \\ \dot{q}_1 = \omega_1; \dot{q}_2 = \omega_2 \end{cases} \quad (1)$$

trong đó, $M_y = C(q_1 - q_2)$ là mômen đàn hồi, khi liên kết đàn hồi không có khe hở [Nm]; T_s - mô men đàn hồi [Nm], khi tính đến khe hở 2δ [rad] trong liên kết đàn hồi và là hàm phi tuyến (không khả vi), có dạng

$$T_s = \begin{cases} M_y - C\delta, & M_y \geq C\delta \\ 0, & |M_y| < C\delta \\ M_y + C\delta, & M_y < -C\delta \end{cases} \quad (2)$$

q_1, q_2 [rad] - góc quay trục của động cơ và tải; $\omega_1 = \dot{q}_1, \omega_2 = \dot{q}_2$ [rad/s] - tương ứng tốc độ góc của đĩa thứ nhất và thứ hai; J_1, J_2 [kg m²] - mômen quán tính của động cơ và tải cơ khí được tính theo sự dẫn động của nó tới trục quay của động cơ; C [Nm/rad] - hệ số đàn hồi; k_e [v.sec/rad], k_m [Nm/A] - các hằng số của mạch phần ứng động cơ điện một chiều; M_m [Nm] là mô men điện từ của động cơ, R_a [Ω] trở kháng của mạch phần ứng động cơ điện một chiều, K_p, K_d là hệ số phản hồi cảm biến theo vị trí và tốc độ; k_g là hệ số khuếch đại của khâu khuếch đại công suất; u_p [V], u_g [V] là điện áp đầu ra của vòng điều chỉnh vị trí và tốc độ; u_a [V], I_a [A] là điện áp và dòng phần ứng của động cơ một chiều; φ_{ref} [rad] là góc đặt trước; $u_0 = u_p$ - tác động theo chương trình đã biết (đối với vòng tốc độ, đó chính là tín hiệu đầu ra của bộ điều chỉnh vị trí); M_f [Nm] - mômen cản dạng ma sát khô, có dạng

$$M_{ms} = M_{ms0} \text{sign}(\omega_2) \quad (3)$$

M_{ms0} - độ lớn của mô men ma sát trên tải; $\text{sign}(\cdot)$ - hàm dấu của (\cdot).

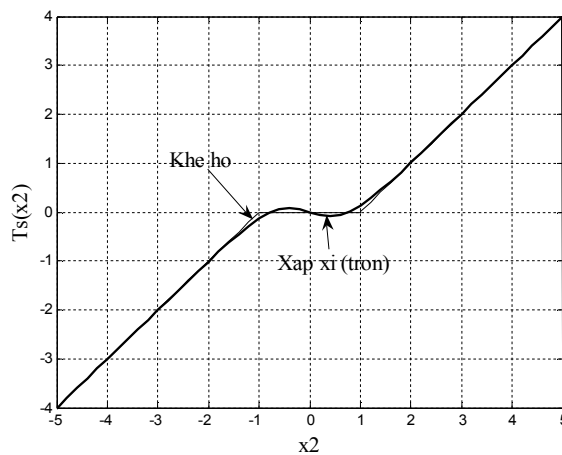
Đặt $x_2 = q_1 - q_2$. Viết lại (2) ta có:

$$T_s = \begin{cases} C(x_2 - \delta), & x_2 \geq \delta \\ 0, & |x_2| < \delta \\ C(x_2 + \delta), & x_2 < -\delta \end{cases} \quad (4)$$

Ta có thể xấp xỉ khe hở (4) bằng hàm trơn như sau

$$T_s = C[x_2 - \delta \tanh(ax_2)]. \quad (5)$$

Trong (5), a là các số dương được lựa chọn khi thiết kế. Trên hình 2, khe hở (4) và xấp xỉ trơn (5) được mô phỏng, trong đó chọn $a = 1, 25$.



Hình 2. Mô phỏng khe hở (4) và xấp xỉ trơn (5)

Đặt $x_1 = \omega_2; x_2 = q_1 - q_2; x_3 = \omega_1 - \omega_2$, giả sử bỏ qua ảnh hưởng của mô men ma sát (3), có thể viết lại (1) như sau:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \frac{C}{J_2}[x_2 - \delta \tanh(ax_2)] \\ \dot{x}_2 = x_3 \\ \dot{x}_3 = -\left(\frac{C}{J_1} + \frac{C}{J_2}\right)[x_2 - \delta \tanh(ax_2)] - \frac{k_e k_m}{J_1 R_a}(x_1 + x_3) + \frac{k_m k_g}{J_1 R_a} u_g \\ y = x_1 \end{cases} \quad (6)$$

Đặt: $a_1 = \frac{C}{J_2}; a_2 = -\left(\frac{C}{J_1} + \frac{C}{J_2}\right); a_3 = \frac{k_e k_m}{J_1 R_a}; a_4 = \frac{k_m k_g}{J_1 R_a}; \delta = \theta$, viết lại (6) ta có

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a_1[x_2 - \delta \tanh(ax_2)] \\ \dot{x}_2 = x_3 \\ \dot{x}_3 = a_2[x_2 - \delta \tanh(ax_2)] - a_3(x_1 + x_3) + a_4 u_g \\ y = x_1 \end{cases} \quad (7)$$

trong đó, a_1, a_2, a_3, a_4 là các số đã biết (có thể đo được); θ - độ rộng khe hở, là tham số chưa biết.

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN BACKSTEPPING THÍCH NGHI

Với mô tả hệ thống ở dạng (7), vận dụng lý thuyết điều khiển backstepping thích nghi chỉ ra ở [1] để thiết kế điều khiển backstepping thích nghi theo các bước như sau.

Bước 1

Mục đích của điều khiển là tín hiệu vận tốc ra trên tải là $y = x_1 - \omega_2$ bám theo vận tốc đặt chuẩn y . Do ảnh hưởng của biến dạng đàn hồi và khe hở tồn tại sai số giữa chúng, gọi sai số này là sai số hiệu chỉnh z_1 và được tính như sau

Do vận tốc đặt chuẩn y_d là giá trị không đổi nên $\dot{y}_d = 0$, ta có

$$\dot{z}_1 = \dot{x}_1 = a_1[x_2 - \delta \tanh(ax_2)].$$

Do θ là tham số không đo được (không biết rõ), ta gọi giá trị đánh giá tương ứng của nó là $\hat{\theta}$, sai số đánh giá tương ứng là

$$\xi = \theta - \hat{\theta} \quad \text{hay} \quad \theta = \hat{\theta} + \xi.$$

Ta chọn hàm Lyapunov cho z_1 là $V_1 = \frac{1}{2a_1}z_1^2 + \frac{1}{2\gamma}\xi^2$, trong đó γ là độ khuếch đại thích nghi.

Lấy đạo hàm của V_1 nhận được như sau:

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 &= \frac{1}{a_1}z_1\dot{z}_1 + \frac{1}{\gamma}\xi_1\dot{\xi}_1 \\ &= \frac{1}{a_1}z_1a_1[x_2 - \theta \tanh(ax_2)] + \frac{1}{\gamma}\xi_1\dot{\xi}_1 \\ &= z_1[x_2 - (\xi + \hat{\theta})\tanh(ax_2)] + \frac{1}{\gamma}\xi(-\dot{\hat{\theta}}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= z_1[x_2 - \hat{\theta}\tanh(ax_2)] - z_1\xi\tanh(ax_2) + \frac{1}{\gamma}\xi(-\dot{\hat{\theta}}) \\
 &= z_1[(x_2 - \alpha_1) + \alpha_1 - \hat{\theta}\tanh(ax_2)] - \xi[z_1\tanh(ax_2) + \frac{1}{\gamma}(-\dot{\hat{\theta}})] \\
 &= z_1[(z_2 + \alpha_1) - \hat{\theta}\tanh(ax_2)] - \xi[z_1\tanh(ax_2) + \frac{1}{\gamma}(\dot{\hat{\theta}})]
 \end{aligned}$$

Ta chọn luật điều khiển ảo α_1 là

$$\alpha_1 = -c_1 z_1 + \hat{\theta}\tanh(ax_2), \quad (8)$$

với c_1 là độ khuếch đại phản hồi, $c_1 > 0$.

Bước 2

$$V_2 = V_1 + \frac{1}{2}z_2^2 \text{ hay } \dot{V}_2 = \dot{V}_1 + z_2\dot{z}_2 = -c_1 z_1^2 + z_2(z_1 + \dot{z}_2) - \xi[z_1\tanh(ax_2) + \frac{1}{\gamma}\dot{\hat{\theta}}].$$

Ta tính $(z_1 + \dot{z}_2)$:

$$(z_1 + \dot{z}_2) = z_1 + \dot{x}_2 - \ddot{y}_d - \dot{\alpha}_1(x_1, y_d, \hat{\theta}, x_2) = z_1 + x_3 - \dot{\alpha}_1(x_1, y_d, \hat{\theta}, x_2). \quad (9)$$

Từ (8), có thể viết

$$\alpha_1 = -c_1 z_1 + \hat{\theta}\tanh(ax_2) = -c_1 x_1 + c_1 y_d + \hat{\theta}\tanh(ax_2). \quad (10)$$

Tính các đạo hàm riêng của α_1 theo (10) như sau

$$\frac{\partial \alpha_1}{\partial x_1} = -c_1, \quad (11) \quad \frac{\partial \alpha_1}{\partial y_d} = 0, \quad (12)$$

$$\frac{\partial \alpha_1}{\partial \hat{\theta}} = \tanh(ax_2), \quad (13) \quad \frac{\partial \alpha_1}{\partial x_2} = a\hat{\theta}[1 - \tanh^2(ax_2)]. \quad (14)$$

Thế (11) – (14) vào (9) ta có:

$$\begin{aligned}
 z_1 + \dot{z}_2 &= z_1 + (x_3 - \alpha_2) + \alpha_2 + c_1 - \tanh(ax_2) - a\hat{\theta}[1 - \tanh^2(ax_2)] \\
 &= z_1 + z_3 + \alpha_2 + c_1 - \tanh(ax_2) - a\hat{\theta}[1 - \tanh^2(ax_2)]
 \end{aligned} \quad (17)$$

Và chọn:

$$\alpha_2 = -c_2 z_2 - \{z_1 + c_1 - \tanh(ax_2) - a\hat{\theta}[1 - \tanh^2(ax_2)]\}, \quad (15)$$

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_1 + z_2\dot{z}_2 = -c_1 z_1^2 + c_2 z_2^2 + z_2 z_3 - \xi[z_1\tanh(ax_2) + \frac{1}{\gamma}\dot{\hat{\theta}}].$$

Bước 3

$$V_3 = V_2 + \frac{1}{2}z_3^2$$

hay

$$\begin{aligned}
 \dot{V}_3 &= \dot{V}_2 + z_3\dot{z}_3 \\
 &= -c_1 z_1^2 + c_2 z_2^2 + z_3(z_2 + \dot{z}_3) - \xi[z_1\tanh(ax_2) + \frac{1}{\gamma}\dot{\hat{\theta}}].
 \end{aligned} \quad (16)$$

Ta tính $(z_2 + \dot{z}_3)$:

$$\begin{aligned} z_2 + \dot{z}_3 &= z_2 + \dot{x}_3 - \dot{\alpha}_2(x_1, y_d, \hat{\theta}, x_2) \\ &= z_2 + \alpha_2[x_2 - \theta \tanh(ax_2)] - a_3(x_1 + x_3) + a_4 u - \dot{\alpha}_2(x_1, y_d, \hat{\theta}, x_2). \end{aligned} \quad (17)$$

$$\alpha_2 = -c_2 x_2 + c_1 c_2 z_1 - c_2 \hat{\theta} \tanh(ax_2) - \{z_1 + c_1 - \tanh(ax_2) - a \hat{\theta} [1 - \tanh^2(ax_2)]\}$$

với α_2 là luật điều khiển ảo; c_2 là độ khuếch đại phản hồi, $c_2 > 0$.

$$\alpha_2 = -c_2 x_2 + c_1 c_2 (x_1 - y_d) - c_2 \hat{\theta} \tanh(ax_2) - \{x_1 + y_d + c_1 - \tanh(ax_2) - a \hat{\theta} [1 - \tanh^2(ax_2)]\}. \quad (18)$$

Tính các đạo hàm riêng của α_2 theo (18) như sau

$$\frac{\partial \alpha_2}{\partial x_1} = c_1 c_2 - 1, \quad (19) \quad \frac{\partial \alpha_2}{\partial y_d} = 0, \quad (20)$$

$$\frac{\partial \alpha_2}{\partial x_2} = -c_2 - c_2 a \hat{\theta} [1 - \tanh^2(ax_2)] + a [1 - \tanh^2(ax_2)] - 2a^2 \hat{\theta} \tanh(ax_2) [1 - \tanh^2(ax_2)]. \quad (21)$$

$$\frac{\partial \alpha_2}{\partial \hat{\theta}} = -c_2 \tanh(ax_2) + a [1 - \tanh^2(ax_2)]. \quad (22)$$

Thế (19) – (22) vào (17) ta có:

$$\begin{aligned} z_2 + \dot{z}_3 &= z_2 + a_2 [x_2 - (\xi + \hat{\theta}) \tanh(ax_2)] - a_3 (x_1 + x_3) + a_4 u_g - \dot{\alpha}_2(x_1, y_d, \hat{\theta}, x_2) \\ &= z_2 + a_2 x_2 - a_2 \hat{\theta} \tanh(ax_2) - a_2 \xi \tanh(ax_2) - a_3 (x_1 + x_3) + a_4 u_g - \\ &\quad c_1 c_2 + 1 + c_2 + c_2 a \hat{\theta} [1 - \tanh^2(ax_2)] - a [1 - \tanh^2(ax_2)] + \\ &\quad 2a^2 \hat{\theta} \tanh(ax_2) [1 - \tanh^2(ax_2)] + c_2 \tanh(ax_2) - a [1 - \tanh^2(ax_2)]. \end{aligned} \quad (23)$$

Chọn

$$\begin{aligned} a_4 u_g &= -c_3 z_3 - \{z_2 + a_2 x_2 - a \hat{\theta} \tanh(ax_2) - a_3 (x_1 + x_3) + c_1 c_2 + 1 + c_2 + \\ &\quad c_2 a \hat{\theta} [1 - \tanh^2(ax_2)] - a [1 - \tanh^2(ax_2)] - 2a^2 \hat{\theta} \tanh(ax_2) [1 - \tanh^2(ax_2)] + \\ &\quad c_2 \tanh(ax_2) - a [1 - \tanh^2(ax_2)]\} \\ u_g &= \frac{1}{a_4} \{-c_3 z_3 - z_2 - a_2 x_2 + a \hat{\theta} \tanh(ax_2) + a_3 (x_1 + x_3) + c_1 c_2 - 1 - c_2 - \\ &\quad c_2 a \hat{\theta} [1 - \tanh^2(ax_2)] + a [1 - \tanh^2(ax_2)] + 2a^2 \hat{\theta} \tanh(ax_2) [1 - \tanh^2(ax_2)] - \\ &\quad c_2 \tanh(ax_2) + a [1 - \tanh^2(ax_2)]\}, \end{aligned} \quad (24)$$

với c_3 là độ khuếch đại phản hồi, $c_3 > 0$.

Thay (24) vào (23), sau đó thế vào (16), ta có:

$$\dot{V}_3 = -c_1 z_1^2 - c_2 z_2^2 + z_3 [-c_3 z_3 - a_2 \xi \tanh(ax_2)] - \xi [z_1 \tanh(ax_2) + \frac{1}{\gamma} \dot{\theta}]. \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_3 &= -c_1 z_1^2 - c_2 z_2^2 - c_3 z_3^2 - \xi [z_3 a_2 \tanh(ax_2) + z_1 \tanh(ax_2) + \frac{1}{\gamma} \dot{\theta}]. \\ \dot{\theta} &= -\gamma z_3 a_2 \tanh(ax_2) - \gamma z_1 \tanh(ax_2). \end{aligned} \quad (26)$$

$$\dot{V}_3 = -c_1 z_1^2 - c_2 z_2^2 - c_3 z_3^2 < 0 \text{ khi } c_1 > 0, c_2 > 0, c_3 > 0.$$

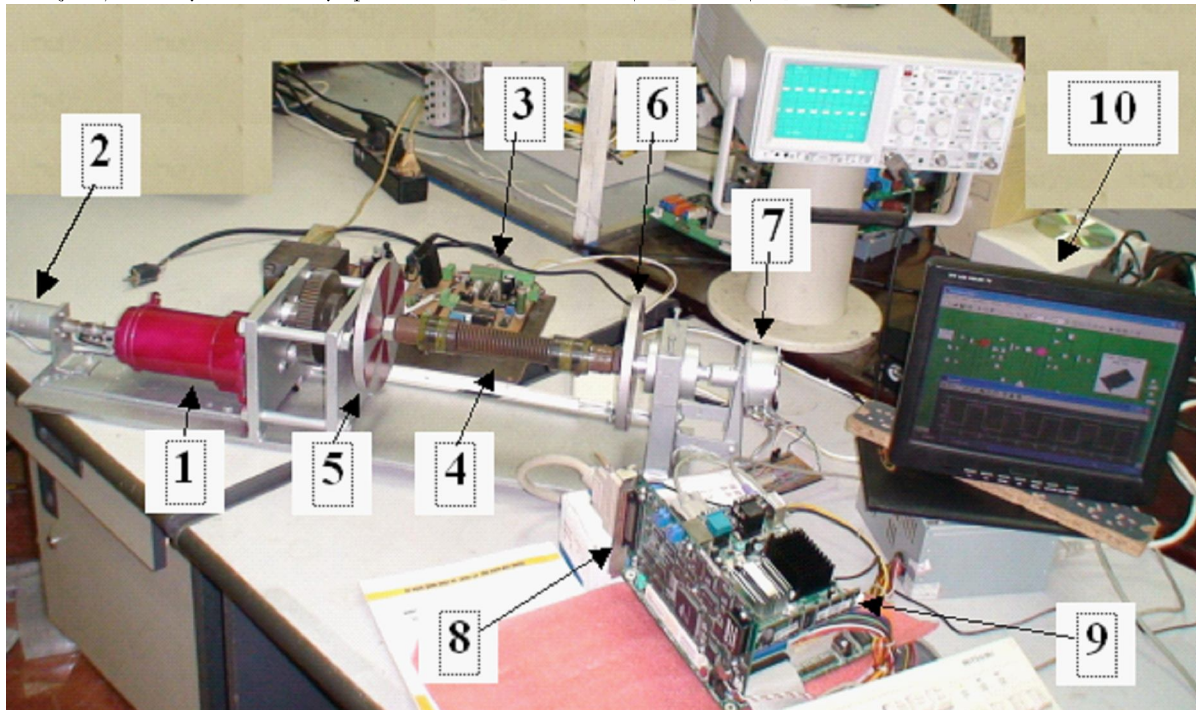
Tóm lại, khi $c_1 > 0, c_2 > 0, c_3 > 0$, với luật điều khiển (24), luật thích nghi (26), hệ (1) ổn định tiệm cận toàn cục.

4. THỰC HIỆN LUẬT ĐIỀU KHIỂN BACKSTEPPING THÍCH NGHI TRÊN NỀN CÔNG NGHỆ SỐ

Luật điều khiển (24) và luật thích nghi (26) được thực hiện trên mô hình thí nghiệm. Hình 3 là hình ảnh mô hình thí nghiệm. Hình 4 là sơ đồ khối mô hình thí nghiệm, bao gồm máy tính nhúng (Motherboard PMI8M, Celeron M 1GHz Socket 479; RAM 512MB, HDD 4GB), phần mềm MATLAB/ Simulink 6.5, Card chuyên dụng ADVANTECH PCI 1711 (16 kênh vào ADC 12 bit, tần số mẫu 100 KHz; 16 kênh vào số, 16 kênh ra số, 2 kênh đầu ra DAC) có khả năng liên kết với Matlab. Để điều khiển động cơ điện và thu nhận tín hiệu, các mạch phụ trợ như mạch điều chế độ rộng xung PWM, mạch khuếch đại công suất, mạch xử lý và biến đổi để đo tốc độ động cơ, mạch đo và biến đổi dòng phần ứng được thiết kế kèm theo. Hình 5 là sơ đồ mô phỏng - thí nghiệm trên Matlab-Simulink. Hình 6 là sơ đồ bộ điều khiển backstepping thích nghi.

Các tham số thí nghiệm chính như sau

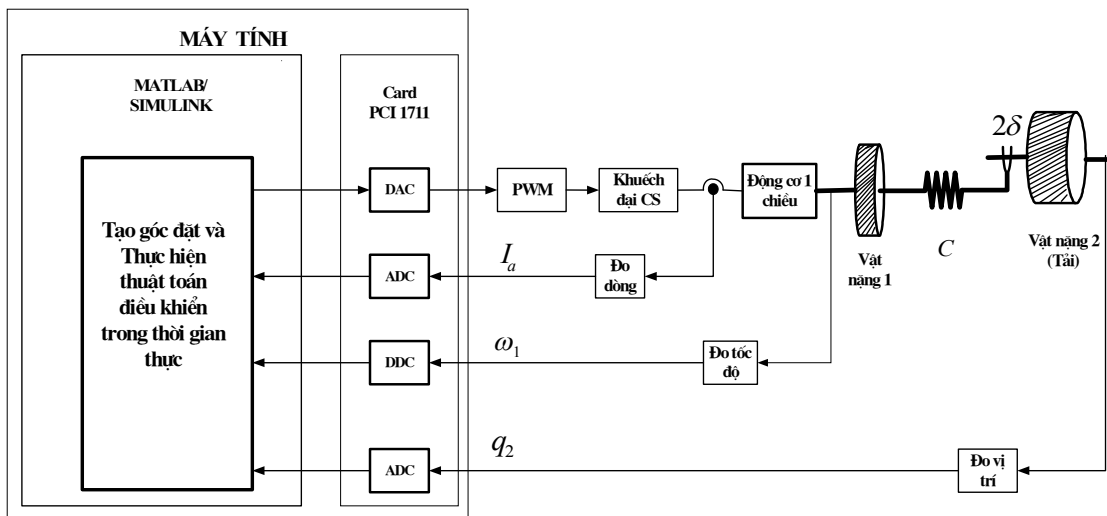
$J_1 = 0,05 \text{ [khm}^2\text{]}; J_2 = 0,1 \text{ [khm}^2\text{]}; C = 25 \text{ [Nm/rad]}; R_a = 2[\Omega]; k_e = 1 \text{ [v.sec/rad]}; \gamma = 1; k_g = 12; K_d = 0,5; K_p = 0,55; \varphi_{ref} = 10 \text{ [rad]}; k_m = 1 \text{ [Nm/A]}; i = 50$ là tỷ số truyền; các độ khuếch đại phản hồi: $c_1 = 6.10^{-6}; c_2 = 25; c_3 = 14$.



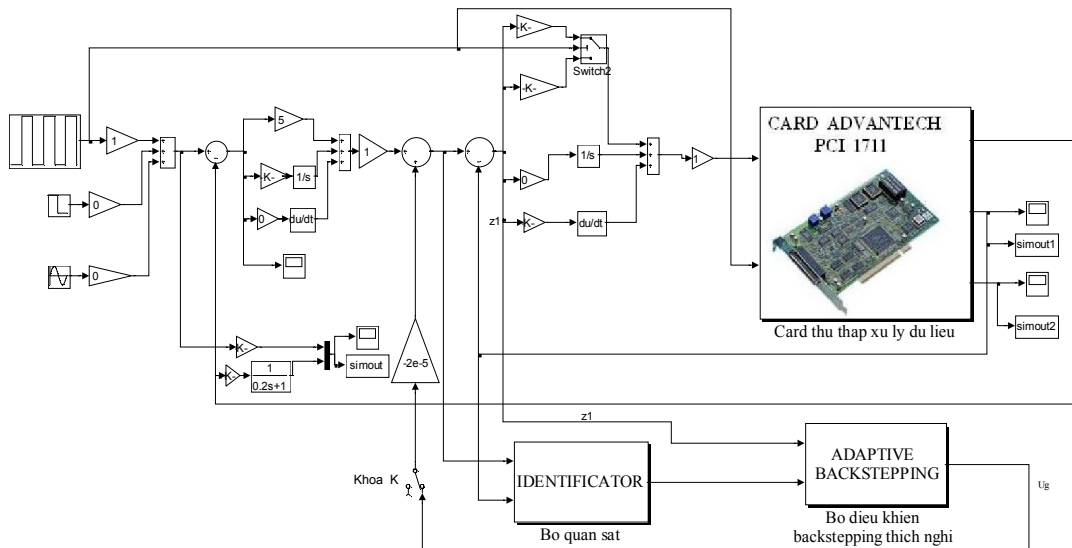
Hình 3. Hình ảnh mô hình thí nghiệm

Trên cơ sở sơ đồ như hình 1, thực hiện điều khiển thích nghi backstepping và quan sát theo tốc độ đo ω_1 của truyền động điện trong khuôn khổ mạch vòng tốc độ, bài toán điều khiển (và quan sát) đối tượng truyền động điện có tính đến đàn hồi và khe hở đã trình bày sẽ đơn giản hơn, bởi vì khi đó bậc của phương trình vi phân của đối tượng được nghiên cứu giảm đi 1 bậc. Sau khi xây dựng các điều kiện giải quyết bài toán chế áp dao động đàn hồi và ảnh hưởng của khe hở trong vòng tốc độ, ta xây dựng hệ kín theo vòng vị trí, cùng với tính toán hiệu chỉnh vòng điều khiển vị trí tương ứng trường hợp hệ cứng.

- 1- Động cơ 1 chiều, 2- Cảm biến đo tốc độ góc ω_1 , 3- Bộ điều chế độ rộng xung (PWM) và bộ khuếch đại công suất, 4- Lò so đàn hồi liên kết giữa hai vật nặng, 5- Vật nặng thứ nhất, 6- Vật nặng thứ hai, 7- Cảm biến vị trí, 8- Card PCI 1711 Advantech, 9- Máy tính nhúng, 10- Phần mềm điều khiển trên Matlab-Simulink.

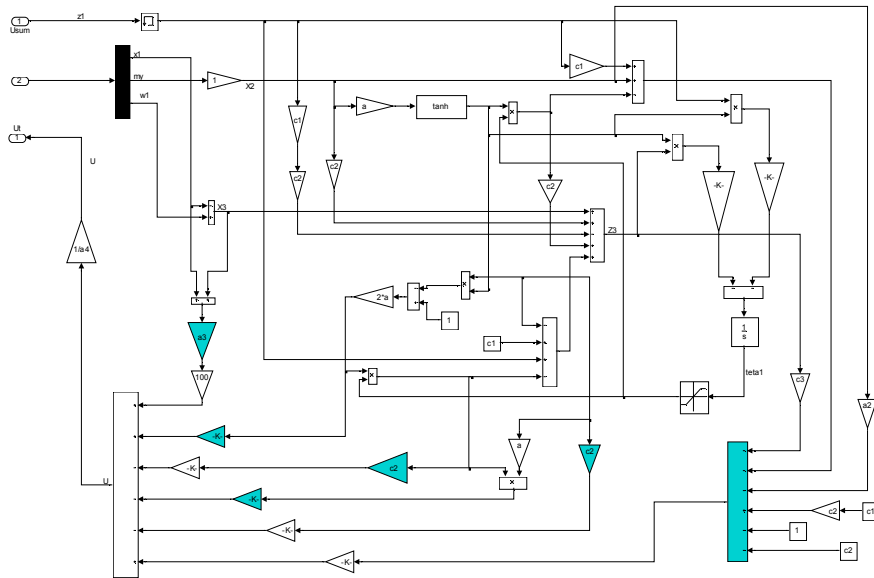


Hình 4. Sơ đồ cấu trúc của mô hình thí nghiệm



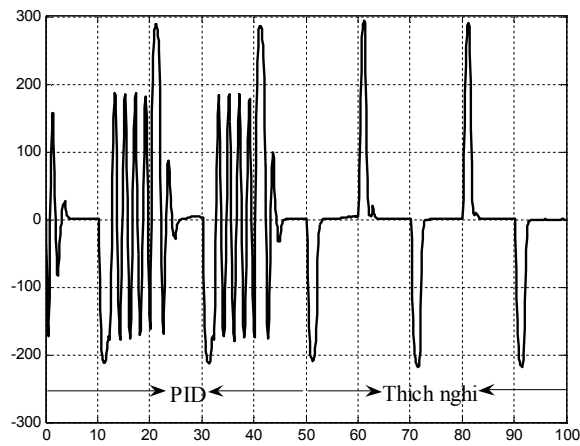
Hình 5. Sơ đồ mô phỏng trên Matlab-Simulink

(Khóa K trên hình 5 là để chuyển chế độ điều khiển PID hoặc điều khiển backstepping thích nghi)



Hình 6. Sơ đồ bộ điều khiển backstepping thích nghi

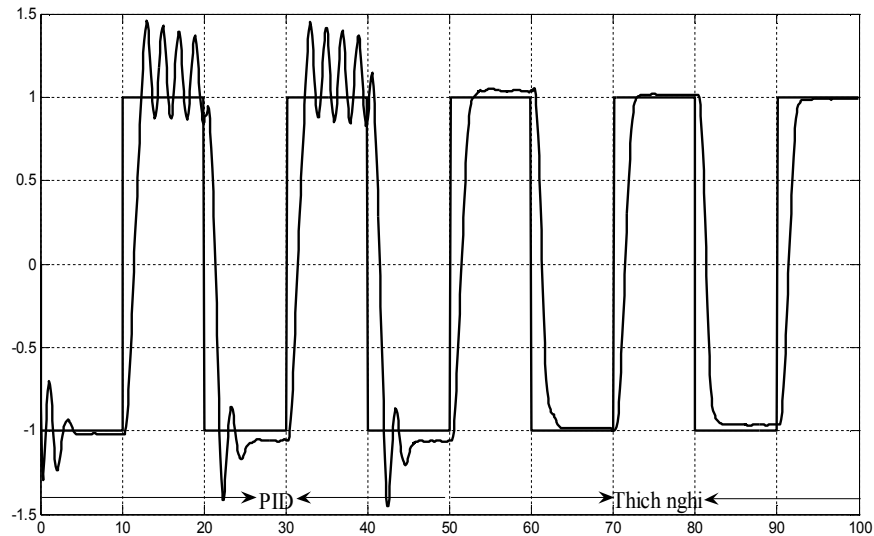
Kết quả thử nghiệm:



Hình 7. Vận tốc đầu ra trên tải

Trên các hình 7 và hình 8, so sánh các tín hiệu vận tốc của động cơ và góc bám của tải ở 50 s đầu sử dụng điều khiển PID và ở 50 s sau sử dụng điều khiển backstepping thích nghi cho thấy khi dùng điều khiển backstepping thích nghi vận tốc quay đều, góc quay của tải bám sát góc đặt; khi dùng điều khiển PID truyền thống, tính ổn định của hệ thống giảm đi,

vận tốc quay không đều, góc quay của tải không bám được theo góc đặt.



Hình 8. Tín hiệu góc bám và góc đặt

5. KẾT LUẬN

Hệ thống truyền động điện có tính đến đàn hồi và khe hở là hệ thống phi tuyến phức tạp, tồn tại phổ biến trong các thiết bị quân sự và công nghiệp. Bằng kỹ thuật backstepping thích nghi, chúng ta đã tổng hợp được bộ điều khiển đảm bảo hệ ổn định tiệm cận toàn cục. Đối với các trang thiết bị quân sự, do đặc điểm hoạt động trong môi trường khắc nghiệt, sự ổn định của hệ thống là rất cần thiết nhằm đảm bảo không bị ảnh hưởng của nhiễu tác động từ bên ngoài. Hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm tác giả là nghiên cứu tổng hợp bộ điều khiển backstepping thích nghi cho hệ thống truyền động điện có tính đến ảnh hưởng của khe hở, đàn hồi và ma sát khô phi tuyến.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Miroslav Krstic, Ioannis Kanellakopoulos, Petar Kokotovic, *Nonlinear And Adaptive Control Design*, A Wiley - Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc., 1995.
2. G. Tao, K. V. Kokotovic, *Adaptive Control of System with Actuator and Sensor Nonlinearities*, John Wiley & Sons, 1996.
3. I. Schling, B. Orlik, "Control of a Nonlinear Two-Mass System with Uncertain Parameters and Unknown States", University of Bremen, Germany, 2000.
4. G. Tao, F.L. Lewis, *Adaptive Control of Nonsmooth Dynamic Systems*, Springer, London, eds. 2001.
5. Danijel Pavkovic, Ivan Petrovic, and Nedjeljko Perie, Fuzzy model predictive control of electrical drives with transmission elasticity and backlash, *Automatica* **43** (1–2) (2002) 5–11.

6. Adam Lagerberg, *Control and Estimation of Automotive Powertrains with Backlash*, Chalmers University of Technology, Sweden, 2004.
7. R. M. R. Bruns, J. F. P. B. Diepstraten, X. G. P. Schuurbiers, J. A. G. Wouters, “Motion Control of Systems with Backlash”, Master team project (2006).
8. V. Kudin, J. Kolacny, A. Toropov, Ivo Pazdera, *Synthesis of Lathe Cutting Force Stabilization Loop Nonlinear Suboptimal Regulator Taking into Account Nonlinear Elastic Connection*, National Technical University of Ukraine, FEEA, 2006.
9. Jing Zhou, Changyun Wen, *Adaptive Backstepping Control of Uncertain Systems*, Publisher Springer Berlin/ Heidelberg, 2008.

Nhận bài ngày 19 - 2 - 2009