

# DÙNG BỘ QUAN SÁT HỆ SỐ KHUẾCH ĐẠI LỚN (HGO) CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG TAY MÁY KHỚP NỐI MỀM

USING THE HIGH GAIN OBSERVER (HGO) OF FLEXIBLE LINK MANIPULATOR

Võ Thu Hà

## TÓM TẮT

Bài báo đề cập đến vấn đề xây dựng bộ quan sát hệ số khuếch đại lớn HGO ước lượng góc khớp cho hệ truyền động khớp nối mềm và dùng nó làm tín hiệu phản hồi. Sau đó kết hợp bộ điều khiển phản hồi đầu vào - đầu ra dùng bộ quan sát hệ số khuếch đại lớn HGO để ước lượng góc khớp cho khớp nối mềm. Kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink với một khớp nối mềm, cho thấy hệ truyền động chuyển động một khớp nối mềm đã đáp ứng được yêu cầu điều khiển: đảm bảo hệ chuyển động không dao động, đáp ứng vị trí của tải đặt bám sát vị trí tải thực với sai số là nhỏ.

**Từ khóa:** Bộ quan sát hệ số khuếch đại lớn (HGO), bộ điều khiển phản hồi đầu vào - đầu ra.

## ABSTRACT

This paper addresses problem of building up a high gain observer joint angle estimation for the industrial manipulator joints with link flexible and use it as a feedback signal. Then coordinate the Input - Output controller use the high gain observer joint angle estimation for the industrial manipulator joints with link flexible. The simulation using Matlab/Simulink software and experiment results with a single link flexible indicates the transmission couplings with a single link flexible has met the desired control: ensure the system is non-oscillation, the response of the reference load position tracking closely to the load position so error is small.

**Keywords:** High gain observer (HGO), Input - Output controller.

Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp

Email: vtha@uneti.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/4/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 31/5/2019

Ngày chấp nhận đăng: 10/6/2019

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong công nghiệp việc truyền lực, mô men từ động cơ đến tải được thực hiện bằng các khớp nối [2, 3, 8]. Các khớp nối do nhiều lý do mà nó không cứng vững, gây nên hiện tượng cộng hưởng cơ học [9, 10]. Cộng hưởng cơ học có ảnh hưởng xấu đến máy và sản phẩm. Có rất nhiều phương pháp để khắc phục hiện tượng này. Các phương pháp về mặt cơ học khắc phục cộng hưởng là làm trực truyền lực cứng hơn và giảm tỷ lệ mô men quán tính giữa tải và động cơ [10]. Về mặt điều khiển, các bộ PI điều chỉnh tốc độ thông thường không giải quyết được vấn đề này. Đặc biệt

là khi cần tốc độ đáp ứng hệ thống nhanh, hệ số khuếch đại  $K_p$  của bộ PI tăng nên, hiện tượng cộng hưởng xảy ra. Ngoài giải pháp về mặt cơ học, về mặt điều khiển có rất nhiều phương pháp khắc phục hiện tượng cộng hưởng cơ học, như dùng các bộ điều khiển biến thể của PID (I\_P, I\_PD). Hai bộ điều khiển này có tác dụng tốt hơn PID thông thường do giảm sự tăng nhanh của tín hiệu điều khiển. Dùng bộ lọc thông thấp hoặc bộ lọc dải chặn hoặc bộ lọc bi-quad đặt ngay sau bộ PI thông thường [11]. Phương pháp này làm thực hiện khá đơn giản và cũng cho kết quả tốt. Mô men xoắn truyền từ tải đến động cơ là nguyên nhân gây lên hiện tượng cộng hưởng cơ học vì vậy có các phương pháp phản hồi mô men xoắn [12], phản hồi vị phân mô men xoắn [13]. Mô men xoắn được gây ra bởi sai lệch vị trí giữa hai trục động cơ và tải, nên các phương pháp trên đòi hỏi phải tính toán được sai lệch này. Để giảm bớt được sensor đo vị trí tải, sử dụng các phương pháp quan sát trạng thái như các bộ quan sát Luenberger, [2, 11], các bộ quan sát dùng bộ lọc Kalman [14], bộ quan sát trượt [1, 15], bộ quan sát HGO [5, 7]. Chất lượng truyền động rất quan trọng đặc biệt là khi các thông số vật lý hệ thống có sự thay đổi hay có nhiều nhiễu loạn khác nhau. Để nâng cao chất lượng cho hệ truyền động chuyển động bám cho các khớp nối mềm của tay máy công nghiệp đã có rất nhiều luật điều khiển được áp dụng, trong bài báo này đưa ra một phương pháp điều khiển cho hệ truyền động khớp nối mềm là: Dùng bộ quan sát hệ số khuếch đại lớn HGO để ước lượng góc khớp cho hệ truyền động tay máy khớp nối mềm, xem khả năng độ chính xác ước lượng các góc khớp và được minh chứng cho một khớp nối mềm.

## 2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC HỆ TRUYỀN ĐỘNG KHỚP NỐI MỀM

Xét phương trình động lực học của tay máy khớp nối mềm, [3, 4, 6, 7], hình 1:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{h}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{K}\mathbf{q} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \mathbf{B}\boldsymbol{\tau} \quad (1)$$

Trong đó:

$\boldsymbol{\tau}$ : vectơ  $n \times 1$  mômen sinh ra bởi cơ cấu chấp hành đặt lên khớp,  $\boldsymbol{\tau}(\mathbf{t}) = [\tau_1(\mathbf{t}), \tau_2(\mathbf{t}), \dots, \tau_n(\mathbf{t})]^T$

$\mathbf{q}$ : vectơ  $n \times 1$  các biến khớp,

$$\mathbf{q}(\mathbf{t}) = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n, \delta_{11}, \delta_{12}, \dots, \delta_{1m_1}, \dots, \delta_{n1}, \delta_{n2}, \dots, \delta_{1m_n}]^T \\ = [\boldsymbol{\theta}^T, \boldsymbol{\Delta}^T]^T \quad (2)$$

Mà:  $\Delta_i(t) = [\delta_{i1}, \delta_{i2}, \dots, \delta_{im_i}]^T$ ;  $\Delta = [\Delta_1^T, \Delta_2^T, \Delta_3^T, \dots, \Delta_n^T]^T$

**M(q)**: ma trận quán tính (nxn) trong hệ tọa độ khớp có các thành phần (i,j);

**H(q, q̇)**: vectơ tương hỗ và ly tâm (nx1);

**G(q)**: vectơ trọng trường (nx1);

**K** ∈ ℝ<sup>(n+m)×(n+m)</sup> là ma trận xác định dương;

**B** ∈ ℝ<sup>(n+m)×n</sup> là ma trận đầu vào.

Phương trình (1) viết lại, được mô tả bởi:

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rf} \\ M_{fr} & M_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\Delta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_r \\ h_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & k_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \Delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_r \\ g_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I \\ 0 \end{bmatrix} \tau \quad (3)$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\Delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{rr}(\tau - h_r - g_r) - H_{rf}(h_f - g_f + k_{ff}\Delta) \\ H_{fr}(\tau - h_r - g_r) - H_{ff}(h_f - g_f + k_{ff}\Delta) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Trong đó: r, f là các chỉ số biểu thị các bộ phận khớp nối cứng và mềm.

$$\begin{bmatrix} h_{rr} & h_{rf} \\ h_{fr} & h_{ff} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rf} \\ M_{fr} & M_{ff} \end{bmatrix}^{-1}$$

Phương trình mô tả toán học cho các khớp nối mềm, được xác định (4) từ đó đặt biến trạng thái như sau:

$$x = [\theta^T, \Delta^T, \dot{\theta}^T, \dot{\Delta}^T]^T = [x_1^T, x_2^T, x_3^T, x_4^T]^T \quad (5)$$

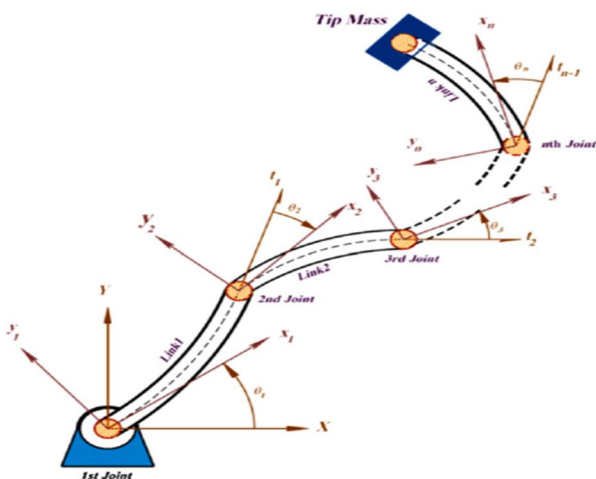
Viết phương trình trạng thái cho các khớp nối mềm như sau:

$$\dot{x} = F(x) + G(x)\tau \quad (6)$$

Trong đó:

$$F = \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \\ -H_{rr}(x_1, x_2)(h_r(x) + g_r(x_1, x_2)) - H_{rf}(x_1, x_2)(h_f(x) + g_f(x_1, x_2) + k_{ff}x_2) \\ -H_{fr}(x_1, x_2)(h_r(x) + g_r(x_1, x_2)) - H_{ff}(x_1, x_2)(h_f(x) + g_f(x_1, x_2) + k_{ff}x_2) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$G = [0^T, 0^T, H_{rr}^T(x_1, x_2), H_{fr}^T(x_1, x_2)]^T$$



Hình 1. Tay máy gồm nhiều khớp nối mềm

**3. BỘ ĐIỀU KHIỂN PHẢN HỒI ĐẦU VÀO - ĐẦU RA**

Sử dụng bộ điều khiển phản hồi đầu ra, được xác định [7]:

$$\eta = \theta + \Lambda \Delta \quad (8)$$

Trong đó:  $\Lambda$  là ma trận (n x m), được xác định [7]:

$$\Lambda = \left[ \frac{\lambda_1}{L_1} (j_1^T(L_1)) 0^T \dots 0^T, 0^T \frac{\lambda_2}{L_2} (j_2^T(L_2)) 0^T \dots 0^T, \dots, 0^T \dots 0^T \frac{\lambda_n}{L_n} (j_n^T(L_n)) \right] \quad (9)$$

Từ (8) có:

$$\ddot{\eta} = \ddot{\theta} + \Lambda \ddot{\Delta} = \Omega(\lambda, x) + \Psi(\lambda, x_1, x_2) \tau \quad (10)$$

Trong đó:

$$\Omega = -(H_{rr} + \Lambda H_{fr})(h_r + g_r) - (H_{fr} + \Lambda H_{ff})(h_f + g_f + k_{ff}x_2) \quad (11)$$

$$\Psi = H_{rr} + \Lambda H_{fr}, \quad \lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n]^T$$

Sử dụng bộ điều khiển phản hồi đầu vào, được xác định [7]:

$$\tau = \Psi^{-1}(u - \Omega) \quad (12)$$

Với tín hiệu điều khiển đầu vào  $u$ , được xác định [7].

$$u = \ddot{\eta}_d + k_v \dot{e} + k_p e + k_{d\Delta} \dot{\Delta} + k_{\Delta} \Delta \quad (13)$$

Trong đó:  $k_v, k_p, k_{d\Delta}, k_{\Delta}$  là các hằng số xác định dương.

Thay (12) vào (10), xác định được:

$$\ddot{\eta} = u \quad (14)$$

Để đảm bảo (14) luôn có  $e \rightarrow 0$ , như vậy thay (13) vào (14) xác định được:

$$\ddot{e} + k_v \dot{e} + k_p e = -(k_{d\Delta} \dot{\Delta} + k_{\Delta} \Delta) \quad (15)$$

Trong đó:  $e = \eta_d - \eta$

Đảm bảo hệ truyền động tay máy có khớp nối mềm (6) chuyển động ổn định theo quỹ đạo mong muốn, luôn có  $e \rightarrow 0$ , phải có sự kết hợp bộ điều khiển phản hồi đầu ra (8) và bộ điều khiển với đầu vào (13), cần đặt như sau:

$$\theta = -\Lambda \Delta, \quad \dot{\theta} = -\Lambda \dot{\Delta}, \quad \ddot{\theta} = -\Lambda \ddot{\Delta} \quad (16)$$

Thay (16) vào (13) xác định được tín hiệu điều khiển đầu vào mới:

$$\bar{u} = k_{d\Delta} \dot{\Delta} + k_{\Delta} \Delta \quad (17)$$

Thay (17) vào (12) xác định được:

$$\bar{\tau} = \bar{\Psi}^{-1}(\bar{u} - \bar{\Omega}) \quad (18)$$

Trong đó:

$$\bar{\Omega} = -(H_{rr} + \Lambda H_{fr})(\bar{h}_r + g_r) - (H_{fr} + \Lambda H_{ff})(\bar{h}_f + g_f + k_{ff}x_2) \quad (19)$$

$$\bar{\Psi} = H_{rr} + \Lambda H_{fr}, \quad \lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n]^T$$

Vậy phương trình trạng thái cho các khớp nối mềm mới như sau:

$$\dot{\bar{x}} = \bar{F}(\bar{x}) + \bar{G}(\bar{x})\bar{\tau} \quad (20)$$

Trong đó:

$$\bar{F} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_3 \\ \mathbf{x}_4 \\ -\bar{H}_{fr}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)(\bar{h}_f(\mathbf{x}) + \mathbf{g}_f(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)) - \bar{H}_{fr}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)(\bar{h}_f(\mathbf{x}) + \bar{\mathbf{g}}_f(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) + \bar{\mathbf{k}}_{fr} \mathbf{x}_2) \\ -\bar{H}_{fr}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)(\bar{h}_f(\mathbf{x}) + \mathbf{g}_f(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)) - \bar{H}_{fr}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)(\bar{h}_f(\mathbf{x}) + \bar{\mathbf{g}}_f(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) + \bar{\mathbf{k}}_{fr} \mathbf{x}_2) \end{bmatrix}$$

$$\bar{G} = [\mathbf{0}^T, \mathbf{0}^T, \bar{H}_{fr}^T(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2), \bar{H}_{fr}^T(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)]^T \quad (21)$$

$$\bar{\mathbf{x}} = [-(\Lambda \mathbf{x}_2)^T, \mathbf{x}_2^T, -(\Lambda \mathbf{x}_4)^T, \mathbf{x}_4^T]^T$$

Từ (17) đến (19) thay vào phương trình (20), xác định được:

$$\dot{\bar{\mathbf{x}}} = \mathbf{D}_2(\bar{\mathbf{x}}) = [\mathbf{D}_{z1}^T, \mathbf{D}_{z2}^T, \mathbf{D}_{z3}^T, \mathbf{D}_{z4}^T]^T \quad (22)$$

Trong đó:

$$\mathbf{D}_{z1} = -\Lambda \mathbf{x}_4, \mathbf{D}_{z2} = \mathbf{x}_4;$$

$$\mathbf{D}_{z3} = (-\bar{H}_{fr}(\mathbf{x}_2)(\bar{h}_f(\bar{\mathbf{x}}) + \bar{\mathbf{g}}_f(\mathbf{x}_2)) - \bar{H}_{fr}(\mathbf{x}_2)(\bar{h}_f(\bar{\mathbf{x}}) + \bar{\mathbf{g}}_f(\mathbf{x}_2) + \mathbf{k}_{fr} \mathbf{x}_2) + \bar{H}_{fr}(\mathbf{x}_2)\bar{\Psi}^{-1}(\bar{\mathbf{v}} - \bar{\Omega})) \quad (23)$$

$$\mathbf{D}_{z4} = (-\bar{H}_{fr}(\mathbf{x}_2)(\bar{h}_f(\bar{\mathbf{x}}) + \mathbf{g}_f(\mathbf{x}_2)) - \bar{H}_{fr}(\mathbf{x}_2)(\bar{h}_f(\bar{\mathbf{x}}) + \bar{\mathbf{g}}_f(\mathbf{x}_2) + \mathbf{k}_{fr} \mathbf{x}_2) + \bar{H}_{fr}(\mathbf{x}_2)\bar{\Psi}^{-1}(\bar{\mathbf{v}} - \bar{\Omega}))$$

Nếu  $\mathbf{D}_2$  mà bằng không thì từ (17) đến (23) xác định được:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{D}_{z1} \\ \mathbf{D}_{z3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Lambda \mathbf{D}_{z2} \\ \Lambda \mathbf{D}_{z4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{k}_{d\Delta} + \mathbf{k}_{\Delta} \Delta \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}_2 \\ \dot{\mathbf{x}}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{D}_{z2} = \mathbf{x}_4 \\ \mathbf{D}_{z4} = (\mathbf{x}_2, \mathbf{x}_4) \end{bmatrix} \quad (25)$$

**4. BỘ QUAN SÁT HỆ SỐ KHUẾCH ĐẠI LỚN (HGO - HIGH GAIN OBSERVER)**

Xét một hệ thống phi tuyến sau đây:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}), \mathbf{x} \in \mathbb{R}^n \quad (26)$$

$$y_i = h_i(\mathbf{x}), 1 \leq i \leq s$$

Hệ thống phi tuyến (26) có thể quan sát các biến trạng thái cần phải thỏa mãn điều kiện:

$$\text{rank} [dh_1(\mathbf{x}), \dots, d(L_f^{k_i-1} h_i(\mathbf{x})) : 1 \leq i \leq s] = n, \forall \mathbf{x} \in \mathbb{R}^n \quad (27)$$

Tương tự như việc hạ bậc bộ quan sát Luenberger, bây giờ ta sẽ mở rộng bộ quan sát HGO cho trường hợp trong số n trạng thái, bộ quan sát HGO (28), như sau:

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}} = \hat{F}(\mathbf{x}_0) + \hat{G}(\mathbf{x}_0)\boldsymbol{\tau} + \mathbf{K}_0 \tilde{\mathbf{x}}_p \quad (28)$$

Trong đó:

$$\hat{\mathbf{x}} = [\hat{\boldsymbol{\theta}}^T, \hat{\Delta}^T, \hat{\boldsymbol{\theta}}^T, \hat{\Delta}^T]^T$$
 - Các biến trạng thái ước lượng.  

$$\mathbf{x}_0 = [\boldsymbol{\theta}^T, \Delta^T, \boldsymbol{\theta}^T, \Delta^T]^T$$
 - Các biến trạng thái thực.  

$$\tilde{\mathbf{x}}_p = [(\boldsymbol{\theta}^T - \hat{\boldsymbol{\theta}}^T), (\boldsymbol{\theta}^T - \hat{\boldsymbol{\theta}}^T)]^T$$
 - Sai lệch giữa các biến trạng thái ước lượng và thực.  

$$\mathbf{K}_0$$
 - Hệ số khuếch đại của bộ quan sát.  

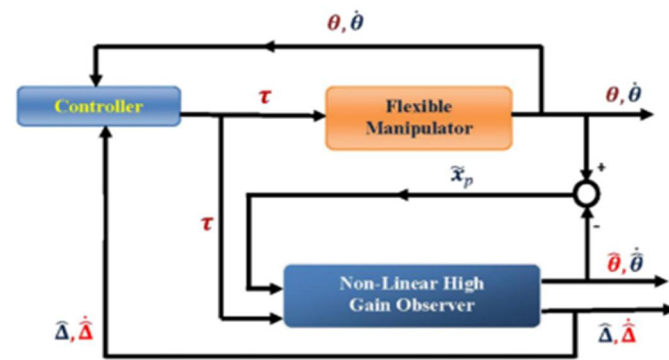
$$\Rightarrow \tilde{\mathbf{x}} = \mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}} = [(\boldsymbol{\theta}^T - \hat{\boldsymbol{\theta}}^T), (\Delta^T - \hat{\Delta}^T), (\Delta^T - \hat{\Delta}^T), (\boldsymbol{\theta}^T - \hat{\boldsymbol{\theta}}^T)]^T$$
  

$$= [\tilde{\boldsymbol{\theta}}^T, \tilde{\Delta}^T, \tilde{\boldsymbol{\theta}}^T, \tilde{\Delta}^T]^T \quad (29)$$

Kết hợp với phương trình (28) và (6) ta có:

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}} = (\mathbf{F}(\mathbf{x}) - \hat{F}(\mathbf{x}_0)) + (\mathbf{G}(\mathbf{x}))\boldsymbol{\tau} - \mathbf{K}_0 \tilde{\mathbf{x}}_p \quad (30)$$

Bộ quan sát HGO (28) này sẽ được sử dụng trong bài báo để quan sát trạng thái của khớp nối mềm. Mô hình cơ cấu trúc bộ quan sát HGO như hình 2.



Hình 2. Mô hình cơ cấu trúc bộ quan sát HGO

**5. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN PHẢN HỒI ĐẦU VÀO - ĐẦU RA DÙNG BỘ QUAN SÁT HỆ SỐ KHUẾCH ĐẠI LỚN (HGO)**

**5.1. Tổng hợp bộ điều khiển phản hồi dùng bộ quan sát hệ số khuếch đại lớn (HGO) để ước góc khớp**

Sử dụng bộ điều khiển phản hồi dùng bộ quan sát HGO để ước lượng góc khớp xác định như sau:

$$\boldsymbol{\tau} = \hat{\Psi}^{-1}(\hat{\mathbf{u}} - \hat{\Omega}) \quad (31)$$

Trong đó:  $\hat{\Psi}^{-1}, \hat{\Omega}, \hat{\mathbf{u}}$  được lấy từ (13) và (19) từ  $\mathbf{x}_0 = [\boldsymbol{\theta}^T, \Delta^T, \boldsymbol{\theta}^T, \Delta^T]^T$  - Các biến trạng thái thực, như sau:

$$\hat{\Omega} = -(\hat{H}_{fr} + \Lambda \hat{H}_{fr})(\hat{h}_f + \hat{\mathbf{g}}_f) - (\hat{H}_{fr} + \Lambda \hat{H}_{fr})(\hat{h}_f + \hat{\mathbf{g}}_f + \mathbf{k}_{fr} \hat{\mathbf{x}}_2) \quad (32)$$

$$\hat{\Psi} = \hat{H}_{fr} + \Lambda \hat{H}_{fr}, \hat{\mathbf{u}} = \hat{\eta}_d + \mathbf{k}_v \hat{\mathbf{e}} + \mathbf{k}_p \hat{\mathbf{e}} + \mathbf{k}_{d\Delta} \hat{\Delta} + \mathbf{k}_{\Delta} \hat{\Delta}$$

Từ (8) xác định được:

$$\hat{\eta} = \boldsymbol{\theta} + \Lambda \hat{\Delta}, \hat{\eta} = \dot{\boldsymbol{\theta}} + \Lambda \dot{\hat{\Delta}}$$

$$\Rightarrow \hat{\mathbf{e}} = \boldsymbol{\eta}_d - \hat{\eta}, \hat{\mathbf{e}} = \boldsymbol{\eta}_d - \hat{\eta}$$

Vậy từ (6) và (7) phương trình động lực học kín được xác định:

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}} \\ \dot{\hat{\mathbf{x}}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{F}(\mathbf{x}) \\ \hat{F}(\mathbf{x}_0) + \mathbf{K}_0 \tilde{\mathbf{x}}_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{G}(\mathbf{x}) \\ \hat{G}(\mathbf{x}_0) \end{bmatrix} \boldsymbol{\tau} \quad (33)$$

Thay thế (31) trong phương trình (33):

$$\dot{\mathbf{x}}_c = \boldsymbol{\Gamma}(\mathbf{x}_c, \mathbf{t}) \quad (34)$$

Với  $\mathbf{x}_c = [\mathbf{x}^T, \hat{\mathbf{x}}^T]^T$

**5.2. Kết quả mô phỏng**

Kết quả phương trình động lực học của tay máy khớp nối mềm được tính toán từ (2), [7]:

$$\begin{bmatrix} m_t(L^2 + (j_e \delta)^2) + (I_h + \frac{\rho L^3}{3} + \rho B \delta^2) & m_t L j_e + \rho A \\ m_t L j_e + \rho A & m_t j_e^2 + \rho B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\delta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2\dot{\theta}\dot{\delta}(m_t j_e^2 + \rho B) \\ -\dot{\theta}\delta(m_t j_e^2 + \rho B) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & EIN \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau \\ 0 \end{bmatrix}$$

Trong đó:

$$A = \int_0^L x \varphi(x) dx, B = \int_0^L \varphi^2(x) dx,$$

$$N = \int_0^L (\frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2})^2 dx, \varphi_e = \varphi(L)$$

Thông số dùng mô phỏng của một khớp nối mềm như trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số một khớp nối mềm

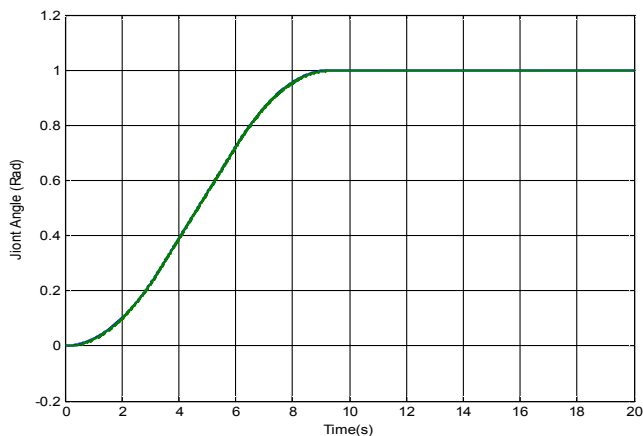
Tham số	Ký hiệu	Giá trị (đơn vị)
Chiều dài	L	0,6(m)
Mật độ khối lượng	$\rho_v$	7800(kg/m <sup>3</sup> )
Mặt cắt ngang (rộng x độ dày)	a x b	30 x 2,5 (mm <sup>2</sup> )
Uốn cong cứng	EI	7,8125 (Nm <sup>2</sup> )
Thời điểm quán tính Hub	$I_h$	0,001(kg m <sup>2</sup> )
Khối lượng vật nặng treo	$m_t$	0,250(kg)

Thông số của bộ điều khiển và bộ quan sát HGO như trong bảng 2.

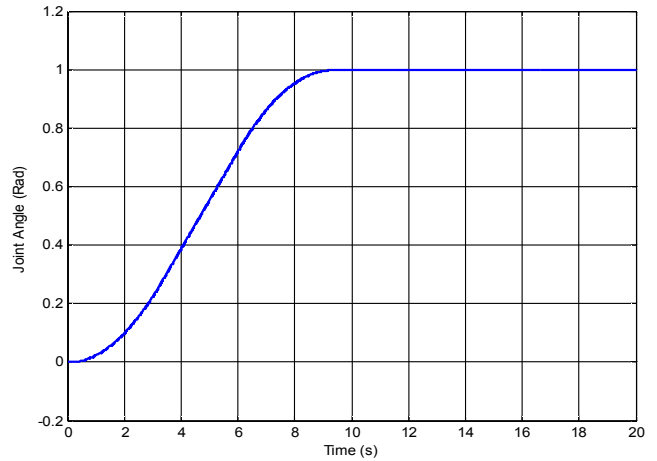
Bảng 2. Các thông số của bộ điều khiển và bộ quan sát HGO

Thông số	Giá trị
$k_p$	200
$k_v$	$2\sqrt{200}$
$k_\Delta$	50
$k_{d\Delta}$	$2\sqrt{50}$
$K_0$	$\begin{bmatrix} 400 & 400 & 400 & 400 \\ 400 & 400 & 400 & 400 \end{bmatrix}^T$

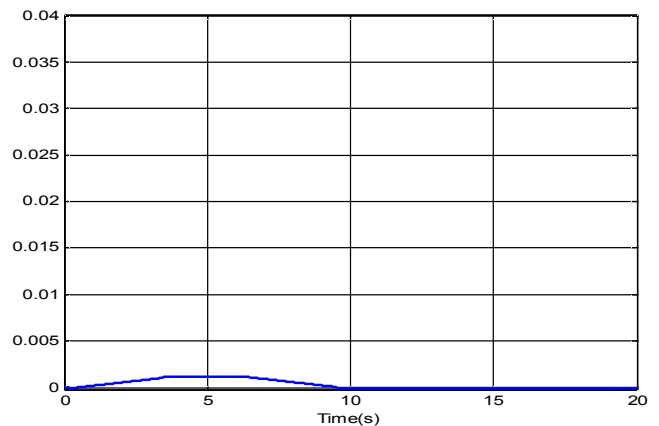
Các kết quả mô phỏng được biểu diễn từ hình 3 ÷ 6.



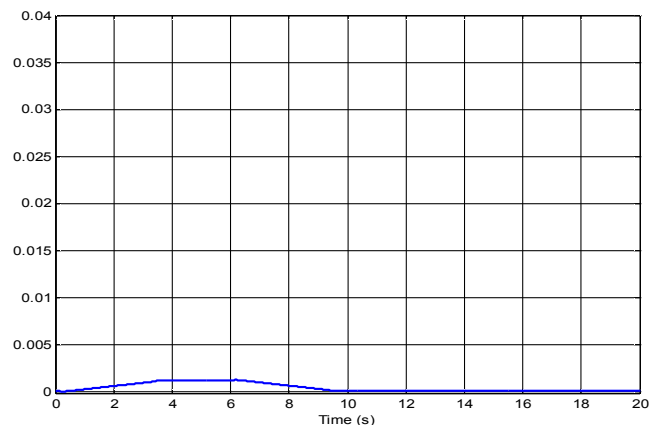
Hình 3. Biểu diễn đáp ứng vị trí tải thực và vị trí khớp ước lượng



Hình 4. Biểu diễn đáp ứng vị trí khớp đặt và vị trí khớp thực



Hình 5. Đáp ứng sai lệch điều khiển vị trí khớp thực và vị trí khớp ước lượng



Hình 6. Đáp ứng sai lệch điều khiển vị trí khớp đặt và vị trí khớp thực

**Nhận xét:** Từ các đặc tính mô phỏng cho thấy sai lệch điều khiển:

$$\text{Sai lệch lớn nhất: } e_{\max} = \frac{12 \cdot 10^{-2}}{1} \cdot 100\% = 0,12\%$$

Các đặc tính mô phỏng các trạng thái vị trí khớp thực và vị trí khớp ước lượng trên từ hình 3 ÷ 6 đã chứng minh bộ HGO được thiết kế là chính xác, cho thấy các đường đặc tính của tay máy có khớp nối mềm là tốt với thời gian xác lập nhỏ, giảm dao động, độ quá điều chỉnh nhỏ.

## 6. KẾT LUẬN

Qua lý thuyết và kết quả mô phỏng cho thấy, dùng bộ quan sát HGO để ước lượng các góc khớp cho hệ truyền động tay máy công nghiệp khớp mềm đã đảm bảo được vị trí khớp thực bám sát vị trí khớp ước lượng và đảm bảo được vị trí khớp thực bám sát vị trí khớp đặt với sai số nhỏ.

Để kiểm tra đặc tính động của hệ truyền động các tay máy khớp mềm, trong bài báo này đã được thử nghiệm cấu trúc điều khiển: Bộ điều khiển phản hồi đầu vào - đầu ra dùng bộ quan sát HGO để ước lượng góc khớp để ước lượng góc khớp để kiểm tra động của khâu quan sát trượt ước lượng góc tải, thấy rằng: hệ ổn định, đảm bảo chất lượng bám quỹ đạo chính xác.

Với sự chứng minh thuật toán điều khiển, cho thấy thuật toán điều khiển này có tính khả thi tốt với dung lượng tính toán nhỏ, phù hợp ứng dụng cho lớp đối tượng là các hệ truyền động tay máy công nghiệp khớp mềm không những đòi hỏi giảm được dao động trong quá trình chuyển động mà còn đạt được độ chính xác cao về chất lượng điều khiển trong giải điều chỉnh.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Võ Thu Hà, 2012. *Một số giải pháp điều khiển nhằm nâng cao chất lượng chuyển động của tay máy công nghiệp*. Luận án tiến sỹ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [2]. Cheong, J., Youm, Y., Chung, W.K., 2002. *Joint tracking controller for multi-link flexible robot using disturbance observer and parameter adaptation scheme*. Journal of Robotic Systems 19, 401-417.
- [3]. Chalhoub, N.G., Kfoury, G.A., Bazzi, B.A., 2006. *Design of robust controllers and a nonlinear observer for the control of a single-link flexible robotic manipulator*. Journal of Sound and Vibration 291, 437-461.
- [4]. Dwivedy, S.K., Eberhard, P., 2006. *Dynamic analysis of flexible manipulators, a literature review*. Mechanism and Machine Theory 41, 749-777.
- [5]. J Khalil, H.K., 2005. *A note on the robustness of high-gain-observer-based controllers to unmodeled actuator and sensor dynamics*. Automatica 41, 1821-1824
- [6]. Boscaroli, P., 2011. *Experimental validation of a special state observer for a class of flexible link mechanisms*. Annals of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering XI-1, 179-182
- [7]. Masound Mosayebi, Mostafa Ghayour, Mohammad Jafar Sadigh., 2012. *A nonlinear high gain observer based input-output control of flexible link manipulator*. Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-8311, Iran.
- [8]. C M Johnson B.Sc. C.Eng M.I.Mech. An introduction to flexible couplings.
- [9]. Motion Village.com. Mechanical Resonance.
- [10]. PT Design Magazine. Mechanical Resonance.
- [11]. George Ellis, Robert D. Lorenz. *Resonance load control methods for industrial servo drives*.

[12]. Hiromi Kawaharada, Ivan Godler, Tamotsu Ninomiya, Hideki Honda. *Vibration Suppression Control in 2-inertia System by Using Estimated Torsion Torque*

[13]. Koji Sugiura, Yoichi Hori. *Vibration Suppression in 2- and 3- Mass System Based on the Feedback of Imperfect Derivative of the Estimated Torsional Torque*.

[14]. Jun-Keun Ji, Seung-Ki Sun. *Kalman Filter and LQ Based Speed Controller for Torsional Vibration Suppression in a 2-Mass Motor Drive System*.

[15]. Gloria Suh, Dae-Sung Hyun, Jung-Il Park, Ki-Dong Lee, Suk-Gyu Lee. *Design of a pole placement controller for reducing oscillation and settling time in a two-inertia motor system*.

### AUTHOR INFORMATION

**Vo Thu Ha**

University of Economics - Technology for Industries