

Hệ thống điều khiển phân ly khớp robot bền vững với sự thay đổi tham số cơ học

Mechanical parameter variation-robust decoupling control system of robot joint

Nguyễn Mạnh Tiến
Trường ĐHBK Hà nội
Email : tien.nguyenmanh@hust.edu.vn

Tóm tắt :

Hệ thống chuyển động robot là một hệ thống có tính phi tuyến mạnh và ràng buộc cao, các tham số động lực học như mô men quán tính, khối lượng tải thường biến đổi và không được xác định chính xác. Các hệ thống điều khiển kinh điển khó thoả mãn yêu cầu độ chính xác chuyển động của cơ cấu tay robot khi tham số động lực học thay đổi. Bài báo trình bày thuật toán đơn giản ước lượng mô men cân tổng biểu thị sự ràng buộc phi tuyến giữa các khớp. Trên cơ sở mô hình toán học độc lập cho một khớp, sẽ xây dựng hệ thống điều khiển vị trí khớp với hai mạch vòng : mạch vòng điều khiển dòng điện động cơ và mạch vòng điều khiển vị trí khớp robot. Tín hiệu bù mô men cân được tính toán và được bổ xung vào tín hiệu đặt mạch vòng dòng điện. Hệ thống điều khiển được áp dụng cho điều khiển quỹ đạo tay máy 2 bậc tự do trong mặt phẳng. Hiệu quả của hệ thống điều khiển được chứng minh bằng một số kết quả mô phỏng quỹ đạo của 2 khớp quay 1, 2 của cơ cấu SCARA cho thấy độ chính xác điều khiển vị trí không phụ thuộc vào sự ràng buộc các khớp cũng như không phụ thuộc vào sự thay đổi của mô men quán tính cơ cấu.

Từ khóa : Robot, ràng buộc phi tuyến, mô men cân tổng, mô hình độc lập khớp.

Abstract: The motion system of robot manipulator is nonlinear and coupling system with variable and uncertain dynamic parameters such as moment of inertia and load mass. In this robot mechanism, the classical controller can not meet fully to the required trajectory accuracy due to mechanical parameter variation. The paper presents a simple estimation algorithm of the robot total load momen expressing nonlinear couple between joints. The position control system with two loops including a motor current control loop and a joint position control one is built for the decoupling model of a robot joint drive. The calculated compensation signal for load momen is added to the setpoint signal of current loop. The proposed control system is applied for first and second joints of robot SCARA. The effectiveness of the proposed control system is demonstrated by some simulation results of the first and second joints trajectories of robot SCARA with the variation of moment of inertia

Keywords : Robot, nonlinear coupling, total load momen, decoupling model of a robot joint.

Kí hiệu

Kí hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
\bar{M}	Nm	véc tơ mô men khớp,
\bar{q}		véc tơ vị trí khớp
$H(\bar{q})$		ma trận hệ số quán tính
$C(\bar{q}, \dot{\bar{q}})$		ma trận nhớt và hướng tâm
$G(\bar{q})$		ma trận trọng lực
H_{oii}		thành phần $H(i,i)$ phụ thuộc hằng số khớp i
U_{Di}	V	điện áp động cơ i
i_{Di}, I_{Di}	A	dòng điện : đại lượng tức thời và hiệu dụng
R_{Di}	Ω	điện trở phần ứng động cơ
L_{Di}	H	điện cảm phần ứng động cơ
T_{Di}	s	hằng số thời gian điện từ động cơ
\dot{q}_{Di}	rad/s	tốc độ góc động cơ
J_{Di}	kgm ²	mô men quán tính động cơ i
$J_{\Sigma i}$	kgm ²	mô men quán tính tổng khớp i
$J_{\Sigma o}$	kgm ²	mô men quán tính định mức.
$\Delta J_{\Sigma i}$	kgm ²	gia số mô men quán tính
K_{gi}		tỉ số truyền khớp i
M_{ci}	Nm	mô men cân động cơ khớp i
M_{oi}	Nm	mô men tổn hao hộp truyền i
M_{ni}	Nm	mô men cân tổng
K_{ei}	V/rad/s	hệ số sức điện động động cơ.
K_{mo}	Nm/A	hệ số mô men định mức
K_B		hệ số khuếch đại bộ biến đổi
K_I	V/A	hệ số phản hồi dòng điện
T_{ol}	s	hằng số thời gian nhỏ của mạch vòng dòng điện.
K_P, K_d		hệ số khuếch đại tỉ lệ, hệ số khuếch đại đạo hàm của bộ điều chỉnh vị trí
K_q		hệ số phản hồi vị trí khớp.
ξ		hệ số suy giảm
ω_n	rad/s	tần số dao động riêng
K_f	1/s	hệ số khuếch đại tích phân

1. Mở đầu

Hệ thống chuyển động robot là một hệ thống có tính phi tuyến mạnh và ràng buộc cao. Đã có nhiều bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu thuật toán điều khiển vị trí robot đảm bảo chất lượng chính xác cao như ([3], [4], [6],...). Các thuật toán điều khiển đã đảm bảo độ chính xác cao của vị trí robot trong trường hợp các

tham số robot biến đổi. Tuy nhiên các thuật toán đó có độ phức tạp cao, khối lượng tính toán lớn và sẽ phức tạp cho thực hiện trong thực tế.

Với sự phân tích ở ([1] và [2]), ở các robot có tỉ số truyền bộ truyền lớn, ảnh hưởng ràng buộc giữa các khớp và tính phi tuyến của hệ thống chuyển động rất nhỏ. Điều đó cho phép tách độc lập mô hình các khớp robot. Thành phần mô men biểu thị sự ràng buộc phi tuyến của hệ thống chuyển động có thể coi là tín hiệu nhiễu cân đối với hệ thống truyền động khớp. Hệ thống điều khiển sẽ đơn giản và dễ thực hiện trong thực tế do các bộ điều khiển chuyển động của khớp như bộ điều khiển PID, PD có thể được thiết kế độc lập, không phụ thuộc vào tham số các khớp lân cận.

Trong quá trình làm việc, các tham số động lực học như mô men quán tính, khối lượng tải thường biến đổi và không được xác định chính xác. Với các bộ điều khiển kinh điển khó đảm bảo độ chính xác chuyển động cao.

Bài báo trình bày thuật toán đơn giản cho phép ước lượng mô men cân tổng biểu thị sự ràng buộc phi tuyến giữa các khớp. Dựa trên mô hình toán học độc lập của một khớp, sẽ xây dựng hệ thống điều khiển vị trí khớp gồm hai mạch vòng điều khiển: mạch vòng dòng điện động cơ với bộ điều khiển cấu trúc PI và mạch vòng điều khiển vị trí khớp robot với cấu trúc bộ điều khiển là PD. Tham số bộ điều khiển dòng điện được tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun. Bộ điều khiển vị trí được tổng hợp theo chỉ tiêu quá trình quá độ yêu cầu dựa theo đặc tính khâu bậc 2. Tín hiệu bù mô men cân được tính toán và được bù xung vào tín hiệu đặt mạch vòng dòng điện động cơ. Với hệ thống đề xuất, độ chính xác vị trí khớp sẽ không phụ thuộc và sự mô men gây ra bởi sự ràng buộc phi tuyến các khớp và sự thay đổi của các tham số cơ học. Phương pháp điều khiển đề xuất được áp dụng 2 khớp quay trong mặt phẳng của robot SCARA. Các kết quả mô phỏng hệ thống điều khiển vị trí đề xuất đã chứng minh tính đúng đắn của hệ thống điều khiển.

Bài báo gồm 3 mục: Mở đầu; Nội dung chính và kết luận. Nội dung chính gồm 6 mục: mô hình toán học cơ cấu khớp robot; Hệ thống điều khiển độc lập khớp; thuật toán ước lượng mô men cân; hệ thống điều khiển vị trí với bù mô men cân; hệ thống điều khiển robot 2 thanh nối và kết quả mô phỏng.

2. Nội dung chính

2.1. Mô hình toán học hệ truyền động khớp robot

Phương trình động lực học của cơ cấu robot được viết ở dạng tổng quát như sau ([1]):

$$\bar{M} = H(\bar{q})\ddot{\bar{q}} + C(\bar{q}, \dot{\bar{q}})\dot{\bar{q}} + G(\bar{q}) \quad (1)$$

Mô hình động lực học robot (1) là hệ phương trình có tính phi tuyến mạnh và biểu thị sự ràng buộc giữa các khớp. Hệ thống điều khiển xây dựng trên cơ sở mô hình (1) sẽ rất khó khăn cho thực hiện trong thực tế do thuật toán phi tuyến phức tạp, khối lượng tính toán lớn và khó bù chính xác được sự thay đổi các tham số của robot.

Theo [1], khi cơ cấu robot có tỉ số truyền của hộp số lớn: tốc độ động cơ rất lớn so với tốc độ khớp (K_{gi} rất

nhỏ), cho phép tách rời độc lập các khớp robot. Mô hình robot sẽ được phân ly thành các mô hình động lực học độc lập biểu thị bởi phương trình mô men động cơ truyền động khớp:

$$M_{Di} = K_{mi}I_{Di} = J_{\Sigma i}\ddot{q}_i + M_{ci} \quad (2)$$

với: $M_{ci} = M_{oi} + K_{gi}d_i(\bar{q}, \dot{\bar{q}}, \ddot{\bar{q}})$ - Mô men cân đối với động cơ truyền động khớp i.

$$d_i(\bar{q}, \dot{\bar{q}}, \ddot{\bar{q}}) = \sum_{j=1}^n H_{ij}\ddot{q}_j + \Delta H_{ii}\ddot{q}_i + \sum_{j=1}^n C_{ij}\dot{q}_j + G_i$$

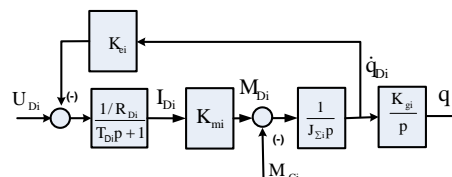
$J_{\Sigma i} = J_{Di} + K_{gi}^2 H_{oii}$ - mô men quán tính tổng một khớp.

$$K_{gi} = \frac{q_i}{q_{Di}} \text{ - Tỉ số truyền từ khớp về động cơ.}$$

Dòng điện động cơ truyền động khớp được xác định bởi biểu thức sau:

$$I_{Di} = \frac{U_{Di}(p) - K_{ei}\dot{q}_{ei}(p)}{R_{Di}(1 + T_{Di}p)} \quad (3)$$

Sơ đồ cấu trúc mô tả hệ truyền động khớp như H1.



H1. Sơ đồ cấu trúc hệ truyền động khớp

2.2. Hệ thống điều khiển vị trí khớp

Trên cơ sở mô hình toán học của khớp robot như hình 1, xây dựng được hệ thống điều khiển vị trí khớp robot với hai mạch vòng điều khiển: mạch vòng điều chỉnh dòng điện động cơ và vị trí khớp robot được trình bày ở H2. Bộ điều chỉnh dòng điện có cấu trúc PI với hàm truyền:

$$R_i(p) = K_{RI} \frac{1 + T_{RI}p}{p} \quad (4)$$

Bộ điều chỉnh dòng điện được tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun với hệ số khuếch đại và hằng số tích phân được xác định theo biểu thức sau:

$$K_{RI} = \frac{R_D}{2K_B K_I T_{oi}} \text{ và } T_{RI} = T_D \quad (5)$$

Bộ điều chỉnh vị trí có cấu trúc tỉ lệ-đạo hàm ở dạng:

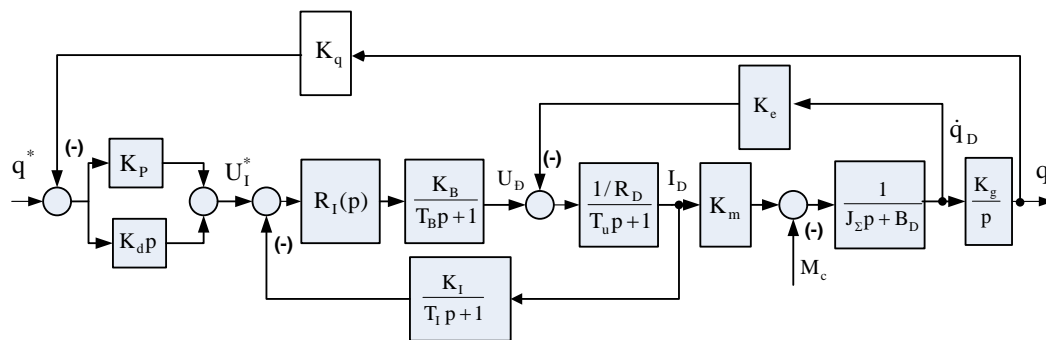
$$R_p(p) = K_p + K_d p \quad (6)$$

Các tham số bộ điều khiển vị trí (K_p , K_d) được xác định dựa trên phân tích đặc động học của hệ thống kín.

Hàm truyền kín của hệ thống điều khiển vị trí khớp với giả thiết bỏ qua hằng số thời gian mạch vòng dòng điện được xác định theo biểu thức:

$$W_k(p) = \frac{q}{q^*} = \frac{(K_p K_m K_g + K_d K_m K_g p)}{p^2 + \frac{K_d K_m K_g K_q}{J_{\Sigma} K_I} p + \frac{K_p K_m K_g K_q}{J_{\Sigma} K_I}} \quad (7)$$

Phương trình đặc tính (7) có dạng bậc 2. Các tham số bộ điều khiển vị trí khớp được xác định theo chỉ tiêu chất lượng của quá trình quá độ yêu cầu (độ quá điều chỉnh và thời gian quá độ).



H2. Hệ thống điều khiển vị trí khớp

Hệ số khuếch đại và hệ số đạo hàm được xác định như sau :

$$K_p = \frac{\omega_n^2 J_\Sigma}{C} ; K_d = \frac{2\xi\omega_n J_\Sigma}{C} \quad (8)$$

trong đó :
$$C = \frac{K_m K_g K_q}{K_i}$$

Hệ số ξ , ω_n được lựa chọn theo chỉ tiêu chất lượng quá trình quá độ yêu cầu. Khi yêu cầu độ quá điều chỉnh nhỏ hơn 20 %, hệ số suy giảm nên chọn nằm trong khoảng 0,5-0,7. Quan hệ hệ số suy giảm (ξ) và tần số dao động (ω_n) và thời gian quá độ t_{qd} được biểu thị theo biểu thức sau :

$$\xi\omega_n = \frac{4}{t_{qd}} \quad (9)$$

2.3. Nhận dạng mô men cản động cơ truyền động khớp.

Từ (2) và sơ đồ cấu trúc hình 1, phương trình chuyển động của hệ thống truyền động một khớp robot có thể được viết ở dạng :

$$M_{Di} - M_{ci} = J_{\Sigma i} \ddot{q}_{Di} \quad (10)$$

Trong (10), thành phần M_{ci} là thành phần phi tuyến và biểu thị sự ràng buộc giữa các khớp, là đại lượng biến thiên trong quá trình làm việc, khó tính toán và ảnh hưởng đến chất lượng điều khiển vị trí khớp như minh họa bằng các kết quả mô phỏng ở mục 6. Trong mục này sẽ đề xuất thuật toán ước lượng thành phần M_{ci} .

Mô men động cơ có thể được viết :

$$M_{Di} = K_{mi} I_{Di} \quad (11)$$

Trong trường hợp tổng quát, xét sự biến thiên của mô men quán tính tổng do các tham số động lực học khớp robot thay đổi, ta có :

$$J_{\Sigma i} = J_{\Sigma 0i} + \Delta J_{\Sigma i} \quad (12)$$

Thay các biểu thức (11) và (12) vào phương trình (10) và đặt đại lượng mô men cản tổng của động cơ khớp i được viết ở dạng :

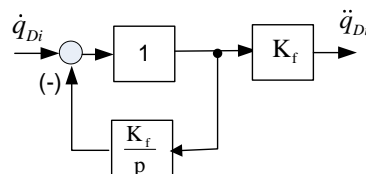
$$M_{ni} = M_{ci} + \Delta J_{\Sigma i} \ddot{q}_{Di} \quad (13)$$

Mô men cản tổng (13) gồm hai thành phần : Thành phần mô men cản gây ra bởi sự ràng buộc giữa các khớp (M_{ci}) và thành phần gây ra bởi sự thay đổi mô men quán tính các khớp.

Kết hợp (10) và (13), nhận được thuật toán xác định mô men cản tổng của động cơ truyền động khớp có dạng :

$$M_{ni} = K_{mi} I_{Di} - J_{\Sigma i} \ddot{q}_{Di} \quad (14)$$

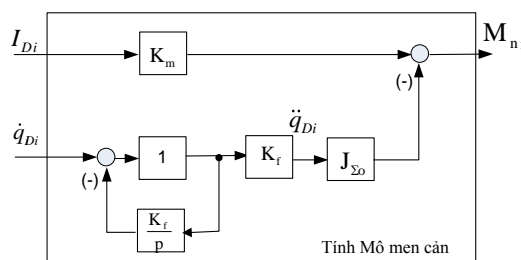
Phương trình (14) cho thấy, để tính toán mô men cản tổng động cơ truyền động khớp, cần thiết phải đo dòng điện động cơ và gia tốc động cơ. Việc đo chính xác gia tốc khớp là tương đối khó khăn và giá thành đắt. Một phương pháp tính toán gần đúng gia tốc thông qua tốc độ được trình bày ở sơ đồ H3 và biểu thức tính toán (15) với chọn K_f đủ lớn.



H3. Sơ đồ tính toán gia tốc động cơ

$$\ddot{q}_{Di} = \frac{\dot{q}_{Di} p}{\frac{1}{K_f} p + 1} \quad (15)$$

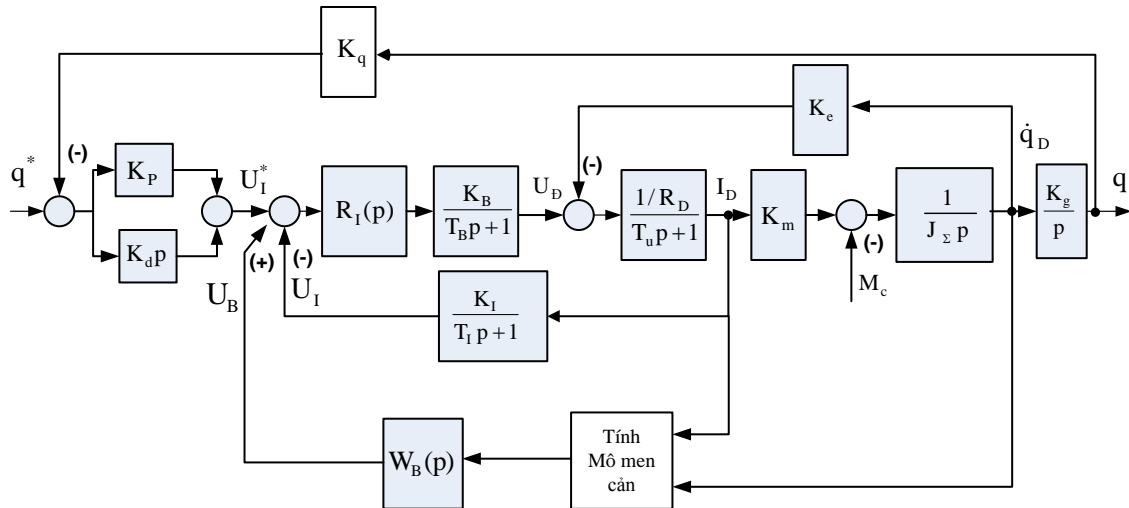
Thuật toán nhận dạng mô men cản tổng động cơ truyền động khớp robot với khâu tính toán gia tốc động cơ được thể hiện trên sơ đồ H4.



H4. Sơ đồ ước lượng mô men cản

2.4. Hệ thống điều khiển vị trí với bù ảnh hưởng của mô men cản.

Dựa trên cấu trúc hệ thống điều khiển (H2) và thuật toán ước lượng mô men cản (H4), hệ thống điều khiển với bù mô men nhiều khớp robot được đề xuất như H5. Tín hiệu bù mô men cản được tính từ khâu bù có hàm truyền $W_B(p)$ với tín hiệu vào mô men cản tổng (14) đã được ước lượng cộng thêm vào tín hiệu đặt dòng điện.



H5. Hệ thống điều khiển vị trí khớp với bù mô men cản

Để xác định hàm truyền khâu bù, biến đổi sơ đồ cấu trúc (H5) với tín hiệu vào là mô men cản, nhận được hàm truyền như sau :

$$W_c(p) = \frac{\Delta q}{\Delta M_c} = \frac{\frac{K_g}{J_{\Sigma o} p^2} [1 - K_{mo} W_{ki}(p) W_B(p)]}{1 + \frac{K_g}{J_{\Sigma o} p^2} K_{mo} W_{ki}(p) R_p(p)} \quad (16)$$

Từ (16) thấy rằng để khử ảnh hưởng của mô men cản động cơ truyền động đến độ chính xác vị trí, hàm truyền bù mô men cản được xác định bằng gán tử số bằng 0. Do đó hàm truyền bù mô men cản động cơ nhận được ở dạng :

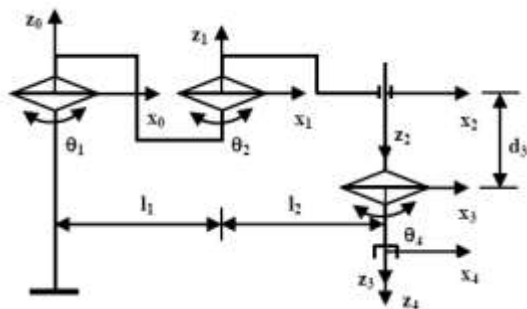
$$W_B(p) = \frac{1}{K_{mo} W_{ki}(p)} \quad (17)$$

Hàm truyền kín mạch vòng dòng điện $W_{ki}(p)$ có dạng (18) :

$$W_{ki}(p) = \frac{I(p)}{U_1^*(p)} = \frac{1/K_I}{1 + 2T_{ol}p + 2T_{ol}^2 p^2} \quad (18)$$

2.5. Hệ thống điều khiển 2 khớp của Robot SCARA

Robot SCARA gồm 3 khớp quay và 1 khớp tịnh tiến như H6 với thông số KT ở phụ lục, được mô tả bởi hệ phương trình động lực học dạng tổng quát như (19).



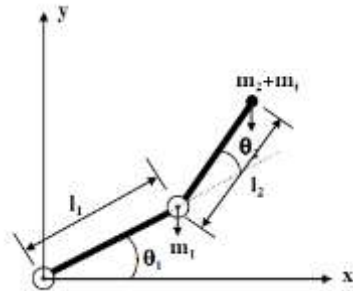
H6. Cấu hình cơ cấu robot SCARA

$$\begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ F_3 \\ M_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & 0 & H_{14} \\ H_{21} & H_{22} & 0 & H_{24} \\ 0 & 0 & H_{33} & 0 \\ H_{41} & H_{42} & 0 & H_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{d}_3 \\ \ddot{\theta}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{112} \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + h_{122} \dot{\theta}_2^2 \\ h_{211} \dot{\theta}_1^2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g_3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

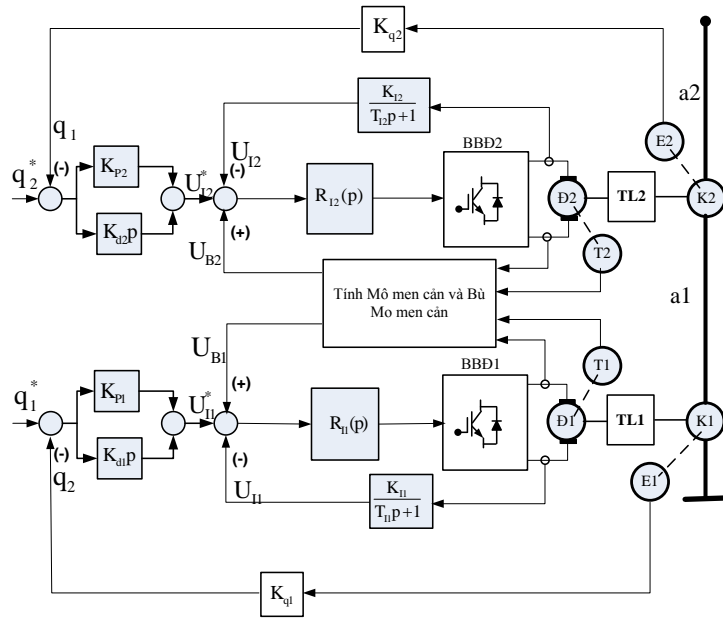
Các thành phần của các ma trận của (19) được trình bày ở [2] :

$$\begin{aligned} H_{11} &= m_{1234} l_1^2 + m_{234} l_2^2 + J_{124} + 2m_{234} l_1 l_2 C_2 \\ H_{12} &= m_{234} l_2^2 + J_{24} + m_{234} l_1 l_2 C_2 \\ H_{21} &= H_{12} \\ H_{22} &= m_{234} l_2^2 + J_{24} \\ H_{33} &= m_{34} \\ H_{14} &= H_{41} = H_{24} = H_{42} = H_{44} = J_4 \\ h_{112} &= 2m_{234} l_1 l_2 S_2 \\ h_{122} &= m_{234} l_1 l_2 S_2 \\ h_{211} &= -m_{234} l_1 l_2 S_2 \\ g_3 &= m_{34} g \end{aligned} \quad (20)$$

Trong khuôn khổ bài báo giới hạn nghiên cứu hệ thống điều khiển chuyển động cho hai khớp quay 1 và 2 trong mặt phẳng của robot SCARA có cấu hình như H7.



H7. Cấu hình 2 khớp quay robot SCARA.



H8. Sơ đồ hệ thống điều khiển vị trí

Từ (19) và (20), các thành phần của H_{o11} và H_{o22} có dạng :

$$H_{o11} = m_1 l_1^2 + J_1; H_{o22} = (m_1 + m_2) l_2^2 + J_2$$

Sơ đồ cấu trúc hệ thống truyền động của khớp robot có dạng tổng quát như H1 với mô men quán tính tổng qui đổi về trục động cơ khớp 1 và 2 có dạng :

$$J_{\Sigma 1} = J_{D1} + K_{g1}^2 H_{o11}; J_{\Sigma 2} = J_{D2} + K_{g2}^2 H_{o22}$$

Sử dụng (14), (17), hệ thống điều khiển độc lập cho hai khớp của robot SCARA với khâu ước lượng và bù mô men nhiễu được trình bày trên H8. Các khớp robot được truyền động bởi một hệ thống truyền động động cơ một chiều cấp điện từ bộ biến đổi xung áp một chiều, có tham số trình bày ở phần phụ lục. Mỗi hệ thống truyền động của khớp có một hệ thống điều khiển độc lập gồm 2 mạch vòng điều khiển dòng điện và vị trí. Các tham số bộ điều khiển được tổng hợp một cách độc lập theo (4),(5) và (6),(8) chỉ phụ thuộc vào tham số của khớp.

Mô men cân tổng biểu thị sự ràng buộc giữa các khớp được ước lượng theo (14) và sơ đồ thuật toán H4. Tín hiệu bù sự ảnh hưởng của mô men cân được xác định theo (17) và cộng thêm vào tín hiệu đặt dòng điện.

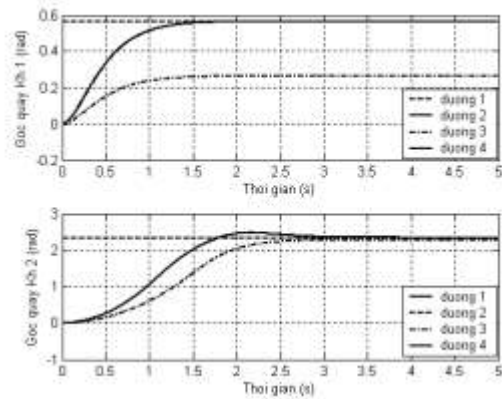
2.6. Kết quả mô phỏng

Cơ cấu 2 khớp của robot SCARA được mô phỏng khi cổ tay di chuyển từ điểm đầu (0,4;0) m đến điểm cuối (0;0,3) m. Vị trí góc quay đặt ban đầu của hai khớp là [0;0] rad và vị trí góc quay đặt cuối của hai khớp là [0,5655; 2,3367] rad.

Các kết quả mô phỏng trình bày trên H9, H10, H11 và H12. H9 là đồ thị mô phỏng góc quay khớp 1 và 2 khi bỏ qua ảnh hưởng của mô men cân (đường 2); Khi xét ảnh hưởng của mô men cân (đường 3) và ở hệ thống có bù mô men cân (đường 4), H10 là đồ thị mô phỏng sai lệch góc quay khớp 1 và 2 khi bỏ qua ảnh hưởng của mô men cân (đường 1); Khi xét ảnh hưởng của

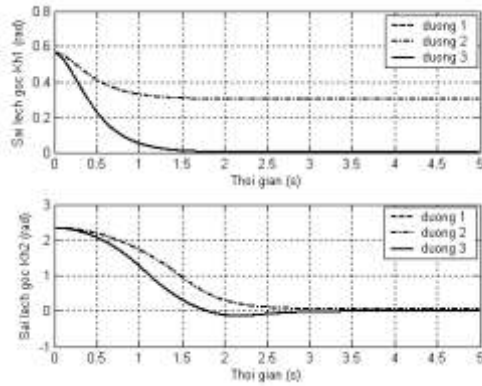
mô men cân (đường 2) và ở hệ thống có bù mô men cân (đường 3). Kết quả mô phỏng cho thấy, do ảnh hưởng của mô men cân, sai lệch góc quay sẽ lớn. Hệ thống điều khiển có bù mô men cân sẽ đảm bảo độ chính xác vị trí như khi không có ảnh hưởng của mô men cân.

H11 trình bày đồ thị mô men quán tính tổng khớp 1 và 2 nhận dạng được và giá trị mô men quán tính thực cho thấy kết quả nhận dạng mô men cân rất chính xác. H12 là đồ thị mô phỏng góc quay khớp 1 và 2 khi mô men quán tính tổng thay đổi. Nhận thấy rằng, hệ thống điều khiển có bù mô men cân đã đảm bảo độ chính xác vị trí không phụ thuộc vào sự thay đổi của mô men quán tính của hệ thống.

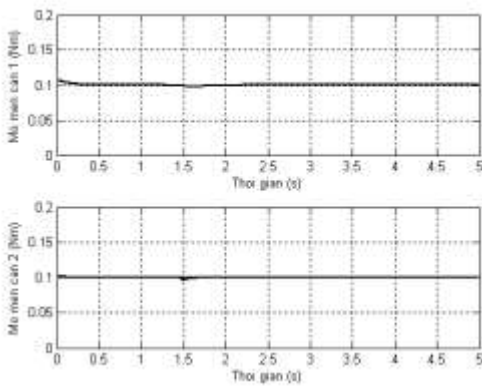


H9. Đồ thị góc quay khớp 1 và 2 ứng với $J_{\Sigma dm}$

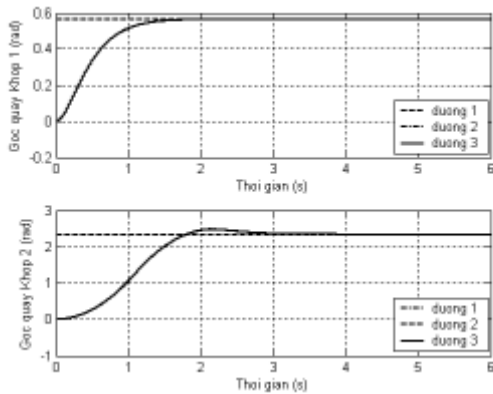
- Đường 1 : Góc quay đặt của khớp
- Đường 2 : Không xét ảnh hưởng của mô men cân.
- Đường 3 : Có xét ảnh hưởng của mô men cân
- Đường 4 : Hệ thống có bù mô men cân



H10. Đồ thị sai lệch góc quay khớp 1 và 2
 Đường 1 : Không xét ảnh hưởng của mô men cản.
 Đường 2 : Có xét ảnh hưởng của mô men cản
 Đường 3 : Hệ thống có bù mô men cản



H11. Đồ thị mô phỏng mô men cân động cơ



H12. Đồ thị góc quay khớp 1 và 2 khi J_{Σ} thay đổi
 Đường 1 : Góc quay đặt của khớp
 Đường 2 : Hệ thống có bù mô men cản ($J_{\Sigma} = 2J_{\Sigma dm}$).
 Đường 3 : Hệ thống có bù mô men cản ($J_{\Sigma} = J_{\Sigma dm}$).

3. Kết luận

Hệ thống điều khiển độc lập khớp với 2 mạch vòng điều khiển cho từng khớp với khâu ước lượng và bù mô men nhiễu cản sẽ tạo cho robot có độ chính xác chuyển động cao không phụ thuộc vào sự ràng buộc và sự phi tuyến của cơ cấu chuyển động cũng như sự thay đổi của mô men quán tính do tải trọng robot thay đổi. Hệ thống điều khiển được đề xuất đơn giản,

khối lượng tính toán nhỏ và dễ thực hiện bằng các vi điều khiển thực tế.

Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Mạnh Tiến. *Phân tích và Điều khiển robot công nghiệp*. Nhà xuất bản KHKT. Năm 2013.
- [2] Nguyễn Mạnh Tiến, Bùi Thị Khánh Hòa. *Hệ thống điều khiển quỹ đạo robot với nhận dạng tham số cơ học*. Tạp chí KH&CN các trường ĐHKT. Số 77. Trang 49-54, 2010.
- [3] H. Berghuis and H. Nijmeijer, "Global regulation of robots using only position measurements", Syst. Contr. Lett., Vol. 21, pp. 289- 293, 1993.
- [4] Huijuan Zhang and Margareta Stefanovic. *Nonlinear Robust Observer-Based Position controller for the 3-DOF Parallel Kinematic Machine*. 18th IEEE International Conference on Control Applications. 1574-1579, 2009.
- [5] M. Taylan Das, L. Canan Dulger. *Mathematical modelling, simulation and experimental verification of scara robot*. Simulation Modelling Practice and Theory 13.257-271, 2005.
- [6] R. Kelly and R. Carelli. *A class of nonlinear PD-type controllers for robot manipulator*. J. Robotic Systems, Vol. 13, No. 12, pp.793-802,1996.

Phụ lục

Bảng 1 : Tham số cơ khí của robot (ITL5)

Trục	a (m)	m(kg)	$J_K(Kgm^2)$	$K_g = 1/i$
1	0.25	1.9	0,098	1/90
2	0.15	0.93	0,0115	1/220

Bảng 2 : Tham số động cơ truyền động khớp

Khớp	U_D (V)	R_D (Ω)	L_D (H)	$K_m=K_e$	J_D (Kgm^2)
1	12	3,5	0,0013	0,047	$2,03.10^{-4}$
2	12	3,5	0,0013	0,047	$2,03.10^{-4}$

Bảng 3 : Tham số Bộ điều chỉnh

Khớp	Bộ ĐK dòng điện		Bộ ĐK vị trí	
	K_{RI}	T_{RI}	K_P	K_d
1	$8,57.10^{-4}$	$3,7.10^{-4}$	7,0486	3,5243
2	$8,57.10^{-4}$	$3,7.10^{-4}$	37,744	18.87



Nguyễn Mạnh Tiến sinh năm 1955. Anh nhận bằng đại học ngành Điện khí hóa tại trường ĐHBK Hà nội năm 1973; Bằng thạc sỹ Kỹ thuật điện tại trường ĐHTH Sydney - Úc năm 1997 và Bằng Tiến sĩ Kỹ thuật điện của trường Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST) năm 2000. Từ

năm 1979 đến nay anh là giảng viên của Bộ môn Tự động hóa công nghiệp, Viện Điện -ĐHBK Hà nội. Hướng nghiên cứu chính là điều khiển phi tuyến động cơ không đồng bộ; điều khiển vector động cơ không đồng bộ không dùng cảm biến tốc độ; điều khiển Robot dựa trên tín hiệu ảnh; điều khiển chuyển động robot bền vững với sự thay đổi tham số cơ học.