

XÂY DỰNG MÔ HÌNH LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN ĐỘNG HỌC CHO CÁNH TAY CÔNG TÁC TRÊN MÁY KIỂM TRA CẦU

ESTABLISH THEORETICAL KINEMATICS MODEL FOR THE WORKING ARM ON
THE BRIDGE INSPECTION MACHINE

Nguyễn Quang Minh

Trường Đại học Giao thông Vận tải

TÓM TẮT

Hiện nay, trên nước ta có rất nhiều các cây cầu nhỏ và yếu, việc theo dõi để lên phương án duy tu sửa chữa các cây cầu này rất khó khăn do các máy kiểm tra cầu nhập khẩu không đáp ứng được yêu cầu thực tế. Cần phải nghiên cứu phát triển máy kiểm tra cầu để đáp ứng yêu cầu kiểm tra cầu phù hợp thực tế không làm cản trở các phương tiện giao thông khi máy làm việc... Việc nghiên cứu, xây dựng mô hình lý thuyết cơ cấu chuyển động cho cánh tay công tác trên máy kiểm tra cầu để từ đó có thể tính toán động học cánh tay trên máy kiểm tra cầu với mục đích đưa ra các thông số hợp lý để hoàn thiện các tính năng hoạt động; mô phỏng và chạy thử chuyển động các khâu và khớp của cánh tay công tác cho với các thông số khác nhau.

Từ khoá: *Máy kiểm tra cầu; Động học cánh tay máy; Kiểm định cầu.*

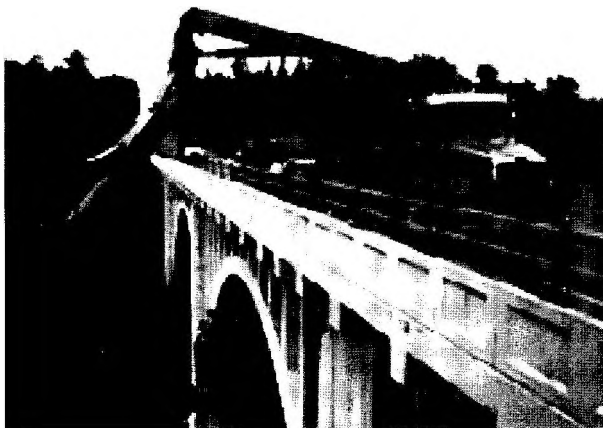
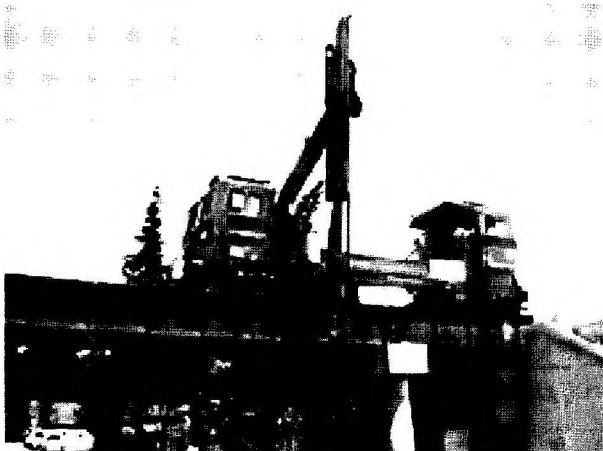
ABSTRACT

Currently, there are many small and weak bridges in our country, making plans to monitor and repair these bridges is very difficult because the imported bridge inspection machines do not meet the actual requirements of existing bridges. So, it's necessary to research and develop the Bridge Testing machine (bridge inspection machine - BIM) to meet the actual Bridge test requirements that do not obstruct the vehicles when it's operating. Research and development of a theoretical model of the working arm on bridge inspection machines are needed so that it can calculate arm kinetics on BIM to give reasonable parameters. To smoothen the operational features; simulation and test run of motions of the links and joints of the working arm for different parameters.

Keywords: *Bridge inspection machine; Robot arm kinetics; Bridge inspection.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Những cây cầu ở nước ta hiện này đa số là các cây cầu nhỏ và cũ đã được xây dựng cách đây hàng chục năm, những cây cầu này có trọng tải nhỏ nên sử dụng các máy móc lớn và hiện đại của châu Âu sẽ gây ảnh hưởng rất lớn nhưng cản trở giao thông, tải trọng của cầu không cho phép hoặc gây nguy hiểm cho chính những công nhân tham gia trực tiếp kiểm tra cầu. Các cây cầu được xây dựng theo công nghệ cũ thường có những hộc sâu và nhỏ nên việc con người trực tiếp kiểm tra cầu sẽ gây ra nhiều khó khăn và độ chính xác không cao, dẫn đến việc bảo trì cầu không đảm bảo chất lượng.



Hình 1. Một số hình ảnh máy kiểm tra cầu đường bộ, đường sắt

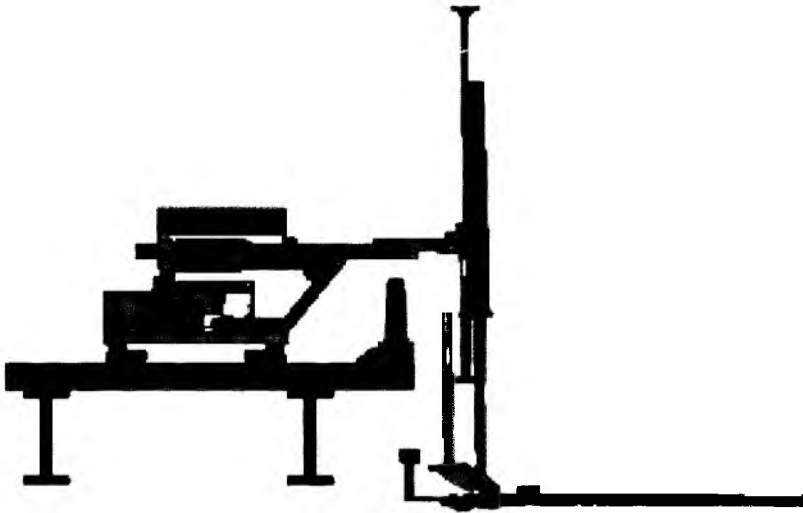
Những chiếc tay máy trên robot di động được ứng dụng và phát triển một cách nhanh chóng trong nhiều lĩnh vực khác nhau, nó đáp ứng được những đòi hỏi về kỹ thuật ngày càng cao trong mọi lĩnh vực trên thế giới như lắp ráp, khai thác mỏ, xây dựng, vận chuyển các bộ phận trong nhà máy có địa hình phức tạp với nhiều chướng ngại vật có thể biết trước hoặc không biết trước.

Cánh tay công tác của máy kiểm tra mặt dưới cầu là một tay máy có cơ cấu cơ khí gồm các khâu, các khớp để tạo các chuyển động cơ bản, cổ tay tạo nên sự khéo léo, linh hoạt để trực tiếp hoàn thành các thao tác cần thực hiện, nó giúp cho người điều khiển dễ dàng đưa các camera quan sát đến các vị trí hóc sâu nằm ở mặt dưới cầu.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU VÀ MÔ HÌNH TÍNH

Khi nghiên cứu về các cánh tay máy, chúng ta thường giải quyết các bài toán về động học để từ đó dễ dàng thiết lập hệ thống điều khiển tự động hoá.

Việc nghiên cứu, xây dựng mô hình lý thuyết cơ cấu chuyển động cho cánh tay công tác trên máy kiểm tra cầu, để từ đó có thể tính toán động học cánh tay trên máy kiểm tra cầu với mục đích đưa ra các thông số hợp lý để hoàn thiện các tính năng hoạt động; mô phỏng và chạy thử chuyển động các khâu và khớp của cánh tay công tác cho với các thông số khác nhau.



Hình 2. Mô hình hoá và đặt các hệ tọa độ Denavit - Hartenberg trên cánh tay công tác của máy kiểm tra cầu:

Khâu	Giải thích các cơ cấu					Biến khớp
		q_i	d_i	a_i	α_i	
0	Cần trượt ngang (coi là cố định và không quay)					
1	Cần trượt ngang (coi là cố định và không quay)	q_1	0	a_1	90^0	q_1
2	Khớp quay giữa cần trượt và cần đứng	q_2	0	0	90^0	q_2
3	Cần đứng ngoài có khớp trượt và khớp quay với cần trượt	0	q_3	0	0^0	q_3
4	Cần đứng ở giữa có khớp trượt	0	q_4	0	-90^0	q_4
5	Cần đứng trong có khớp trượt và khớp quay	q_5	0	0	-90^0	q_5
6	Cần ngang ngoài có khớp trượt và khớp quay với cần đứng	0	q_6	0	0	q_6
7	Cần trượt ngang (coi là cố định và không quay)	0	q_7	0	0	q_7

Từ đó, chúng ta có thể thiết lập các phương trình động học của khâu trên cơ cấu công tác của máy kiểm tra cầu.

Các ma trận truyền ${}^{i-1}H_i$ ($i = 1, 2, \dots, 7$) cỡ 4x4 biến đổi tọa độ từ một điểm trên hệ tọa

độ khâu $(i - 1) \{x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1}\}$ tới khâu i

$\{x_i, y_i, z_i\}$ có dạng:

$$H = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \cos\alpha & \sin\theta \sin\alpha & a \cos\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \cos\alpha & -\cos\theta \sin\alpha & a \sin\theta \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Thế các tham số bảng 1 vào công thức (1), ta thu được các ma trận:

$$H_1 = \begin{bmatrix} \cos(q_1) & 0 & \sin(q_1) & a \cos(q_1) \\ \sin(q_1) & 0 & -\cos(q_1) & a \sin(q_1) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} \cos(q_2) & 0 & \sin(q_2) & 0 \\ \sin(q_2) & 0 & -\cos(q_2) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$${}^3H_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^4H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & q_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^5H_5 = \begin{bmatrix} \cos(q_5) & 0 & -\sin(q_5) & 0 \\ \sin(q_5) & 0 & \cos(q_5) & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^6H_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^7H_7 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Các ma trận truyền D_i giữa hệ tọa độ

gốc $\{x_0, y_0, z_0\}$ tới khâu $i \{x_i, y_i, z_i\}$:

$$D_i = \prod_{k=1}^i H_k \quad (3)$$

hoặc tính toán dựa trên công thức truy hồi:

$$D_1 = H_1 \quad (4)$$

$$D_i = D_{i-1} H_i \quad (i = 2, 3, \dots, 7)$$

Sử dụng các ma trận truyền, ta xác định ma trận Jacobi của điểm tác động cuối và có kết quả các thành phần của ma trận Jacobi của điểm thao tác cuối như sau:

I_{12}	Điều kiện
I_{12}	$((\cos(\alpha_1 - \alpha_2) \cos(\alpha_1) - \alpha_1 + \alpha_2) \sin(\alpha_2) - \sin(\alpha_1) (\alpha_1 - \alpha_2) \cos(\alpha_2) + \alpha_1) \sin(\alpha_1)$
I_{12}	$((\cos(\alpha_1 - \alpha_2) \cos(\alpha_1) - \alpha_1 + \alpha_2) \cos(\alpha_2) - \sin(\alpha_1) \sin(\alpha_2) (\alpha_1 - \alpha_2)) \cos(\alpha_1)$
I_{12}	$\cos(\alpha_1) \sin(\alpha_2)$
I_{12}	$\cos(\alpha_1) \sin(\alpha_1)$
I_{12}	$(\alpha_1 + \alpha_2) (\sin(\alpha_1) \sin(\alpha_2) - \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2)) \cos(\alpha_1)$
I_{12}	$(\sin(\alpha_1) \cos(\alpha_2) - \cos(\alpha_1) \sin(\alpha_2)) \cos(\alpha_1)$
I_{12}	$(\sin(\alpha_1) \cos(\alpha_2) - \cos(\alpha_1) \sin(\alpha_2)) \cos(\alpha_2)$
I_{12}	$((\cos(\alpha_1 - \alpha_2) \cos(\alpha_1) - \alpha_1 + \alpha_2) \sin(\alpha_2) - \sin(\alpha_1) (\alpha_1 - \alpha_2) \cos(\alpha_2) + \alpha_1) \cos(\alpha_1)$
I_{12}	$((\cos(\alpha_1 - \alpha_2) \cos(\alpha_1) - \alpha_1 + \alpha_2) \cos(\alpha_2) - \sin(\alpha_1) \sin(\alpha_2) (\alpha_1 - \alpha_2)) \sin(\alpha_1)$
I_{12}	$\sin(\alpha_1) \sin(\alpha_2)$
I_{12}	$\sin(\alpha_1) \sin(\alpha_1)$
I_{12}	$(\alpha_1 + \alpha_2) (\sin(\alpha_1) \sin(\alpha_2) - \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2)) \sin(\alpha_1)$
I_{12}	$(\sin(\alpha_1) \cos(\alpha_2) - \cos(\alpha_1) \sin(\alpha_2)) \sin(\alpha_1)$
I_{12}	$(\sin(\alpha_1) \cos(\alpha_2) - \cos(\alpha_1) \sin(\alpha_2)) \sin(\alpha_2)$
I_{12}	0
I_{12}	$((\cos(\alpha_1 - \alpha_2) \cos(\alpha_1) - \alpha_1 + \alpha_2) \sin(\alpha_2) - \sin(\alpha_1) (\alpha_1 - \alpha_2) \cos(\alpha_2) + \alpha_1) \cos(\alpha_2)$
I_{12}	$-\cos(\alpha_1)$
I_{12}	$-\cos(\alpha_2)$
I_{12}	$(\alpha_1 + \alpha_2) (\sin(\alpha_1) \cos(\alpha_2) - \cos(\alpha_1) \sin(\alpha_2))$
I_{12}	$\sin(\alpha_1) \sin(\alpha_2) + \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2)$
I_{12}	$-\sin(\alpha_1) \sin(\alpha_2) + \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2)$

Vận tốc của điểm thao tác cuối được xác định bởi biểu thức:

$$\mathbf{v}_E = \dot{\mathbf{r}}_E = \frac{\partial \mathbf{r}_E}{\partial \mathbf{q}} \dot{\mathbf{q}} = \mathbf{J}_{TE} \dot{\mathbf{q}} \quad (5)$$

3. LẬP TRÌNH QUỸ ĐẠO ĐỘNG HỌC

Lập trình quỹ đạo chuyển động của cánh tay máy được phân thành hai lớp bài toán: Lập trình quỹ đạo trong không gian thao tác và lập trình quỹ đạo trong không gian khớp. Nội dung cụ thể của bài toán lập trình quỹ đạo là: Cho biết vị trí một số điểm tựa của khâu thao tác và một số yêu cầu công nghệ khác về tính chất của chuyển động hoặc thời gian chuyển động, ta phải thiết lập phương trình đường dịch chuyển trong không gian thao tác và nghiên cứu một số tính chất chuyển động của khâu thao tác.

$$\mathbf{x}(s(t)) = [x_E, y_E, z_E, \varphi, \psi, \theta]^T \quad (6)$$

Từ đó giải bài toán động học ngược, xác định chuyển động của các tọa độ khớp. Từ sự biểu diễn tham số $\mathbf{x} = \mathbf{x}(s(t))$ hoặc $\mathbf{q} = \mathbf{q}(s(t))$, $s_0 \leq s \leq s_1 = L$, ta suy ra biểu thức xác định vận tốc suy rộng:

$$\dot{\mathbf{x}} = \frac{d\mathbf{x}}{ds} \dot{s} = \mathbf{x}' \dot{s}, \quad \dot{\mathbf{q}} = \frac{d\mathbf{q}}{ds} \dot{s} = \mathbf{q}' \dot{s}$$

4. MỘT VÀI TIÊU CHUẨN VÀ CÁC ĐIỀU KIỆN PHỤ

- Nếu như bài toán có nhiều nghiệm chấp nhận được, ta có thể sử dụng các phương pháp tối ưu để lựa chọn quỹ đạo tối ưu. Các tiêu chuẩn tối ưu hay được sử dụng là: Các quỹ đạo tối ưu về độ dài, các quỹ đạo tối ưu về không gian, các quỹ đạo tối ưu về chi phí, về năng

lượng, v.v...

- Các giới hạn ràng buộc của các đại lượng chuyển động.

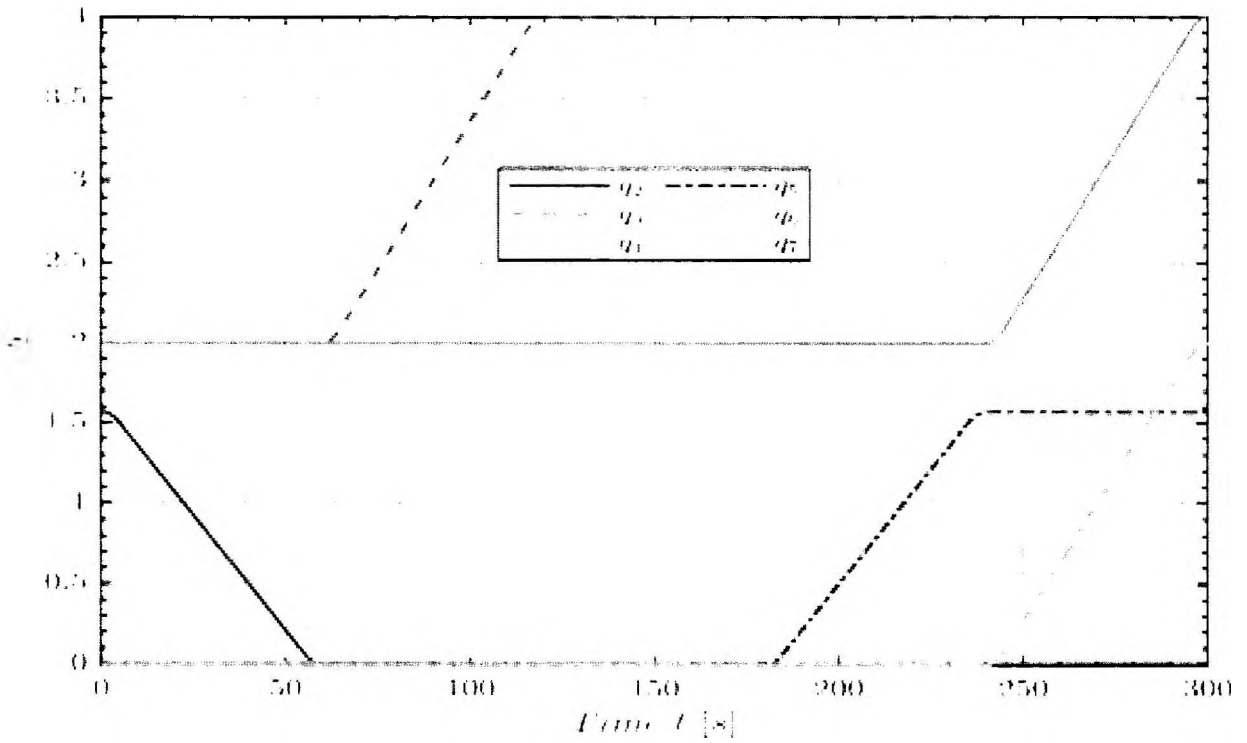
$$q_{i,\min} \leq q \leq q_{i,\max}, \quad \dot{q}_{i,\min} \leq \dot{q} \leq \dot{q}_{i,\max}, \quad \ddot{q}_{i,\min} \leq \ddot{q} \leq \ddot{q}_{i,\max} \quad (i=1...n) \quad (7)$$

- Các giới hạn ràng buộc của đại lượng lực phát động.

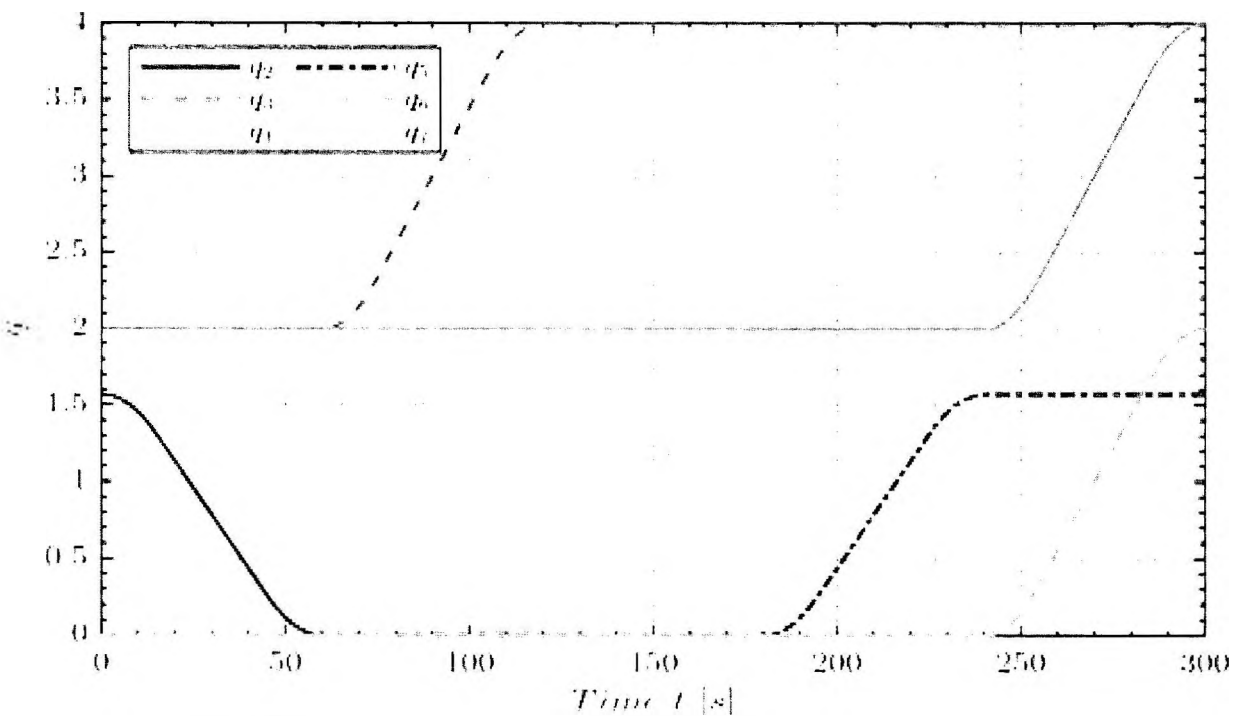
5. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Lập trình code động học máy kiểm tra cầu trên Matlab để mô phỏng kết quả và xuất ra các đồ thị của các khâu khi cánh tay máy hoạt động và điều chỉnh thời gian mở máy để có được sự chuyển dịch mềm mại giữa các khớp, tránh được lực động tác dụng lên các cơ cấu cũng như tạo độ ổn định cao cho camera khi dịch chuyển, nhờ đó hình ảnh thu được trong quá trình làm việc của thiết bị sẽ có độ sắc nét và dễ quan sát được các khuyết tật phía dưới của cầu.

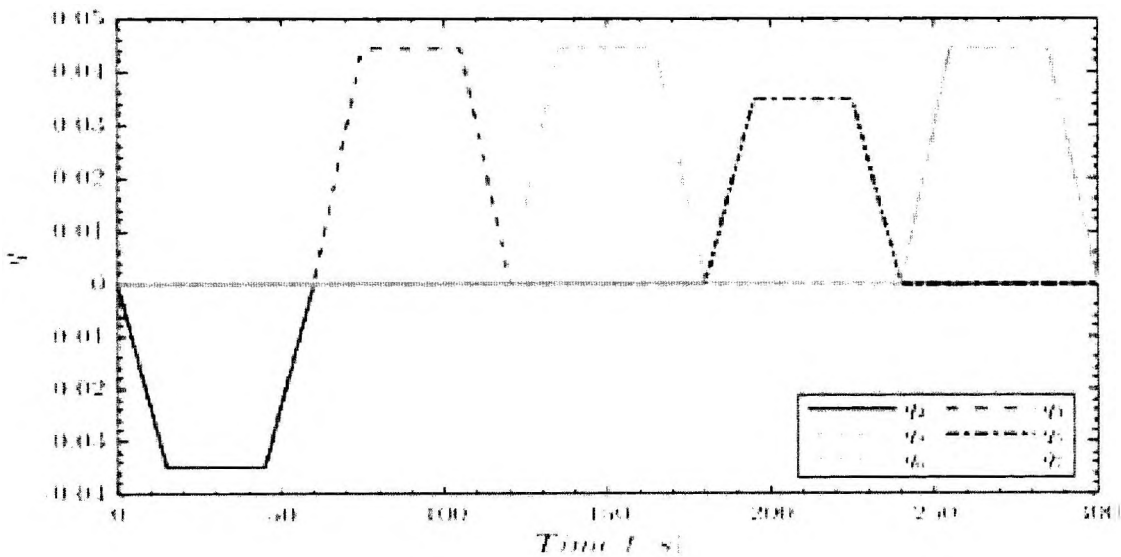
Các kết quả với thời gian mở máy $t = 15$ giây được tổng hợp trên Hình 3 và Hình 4 thể hiện rõ sự khác nhau của các đường dịch chuyển giật cục và mềm mại của các khớp trong quá trình làm việc khi thay đổi thời gian mở máy.



Hình 3a. Đồ thị tọa độ các khớp trong tổng thời gian làm việc (t mở máy = 5s)



Hình 3b. Đồ thị tọa độ các khớp trong tổng thời gian làm việc (t mở máy = 15s)



Hình 4. Đồ thị vận tốc các khớp trong tổng thời gian làm việc

6. KẾT LUẬN

Từ những cơ sở kiến thức về động học cánh tay máy và áp dụng các phần mềm hỗ trợ tính toán CAE, chúng ta có thể đưa ra được các hình ảnh hết sức trực quan để lựa chọn hợp lý các thông số hình học, thời gian mở máy ảnh hưởng quá trình làm việc cũng như biểu đồ chuyển dịch cũng như vận tốc, từ đó điều chỉnh các thông số này để hợp lý hoá các kết cấu cũng như các thông số khác để phù hợp với các loại cầu nhỏ tại Việt Nam.

Trong quá trình tính toán thiết lập các phương trình động học với sự hỗ trợ của các phần mềm còn có thể thu được nhiều kết quả cụ thể và tìm ra được giải pháp điều chỉnh hợp lý nhằm giảm thiểu nhân tố gây lực động ảnh hưởng tới quá trình làm việc của thiết bị. ❖

Ngày nhận bài: 08/02/2022

Ngày phản biện: 16/02/2022

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Văn Hợp, Phạm Thị Nghĩa, Lê Thiện Thành (2000), "Máy trục – vận chuyên", NXB. Giao thông Vận tải.
- [2]. Huỳnh Văn Hoàng, Đào Trọng Thường (1975), "Tính toán máy trục", NXB. Khoa học Kỹ thuật.
- [3]. Trần Hoàng Nam (2010), "Giải bài toán ngược động học, động lực học và điều khiển trượt robot dư dẫn động dựa trên kỹ thuật toàn hiệu chỉnh gia lượng véc tơ tọa độ suy rộng", Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật.
- [4]. Nguyễn Quang Hoàng, Thái Phương Thao (2012), "Giải bài toán động học ngược robot dư dẫn động bằng phương pháp chiếu tọa độ và chiếu vận tốc", Tạp chí Tin học và Điều khiển học, tr. 31-40.
- [5]. Phạm Thành Long (2009), "Nghiên cứu khảo sát các đặc tính làm việc của hệ thống chấp hành của robot công nghiệp", Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật.
- [6]. TS. Phạm Đăng Phước, "Robot công nghiệp".
- [7]. Nguyễn Quang Hoàng, Nguyễn Văn Khang (2007), "Về một thuật toán điều khiển trượt rô bốt công nghiệp", Tuyển tập Hội nghị Cơ học Toàn quốc lần thứ 8.
- [8]. Nguyễn Văn Khang (2009), "Cơ học kỹ thuật", NXB. Giáo dục.
- [9]. Nguyễn Văn Khang (2007), "Động lực học hệ nhiều vật", NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [10]. Waldron, Kenneth; Schmiedeler, James (2008), "Springer Handbook of Robotics".
- [11]. R. S. Hartenberg and J. Denavit (1964), "Kinematic synthesis of linkages".