

Thiết lập mô hình động lực học ngược cho máy CNC 4D dạng trục/bàn khổ lớn tự chế tạo tại Việt Nam

Building inverse dynamic models of the 4D CNC big size machines type shaft / table made by self-manufactured in Vietnam

Nguyễn Quốc Hưng, Vương Công Luận, Nguyễn Quang Thành*, Ngô Kiều Nhi

PTN Cơ học Ứng dụng, Đại học Bách khoa TP HCM

** Email: ngqthanh@hcmut.edu.vn*

Mobile: 0973 184 199

Tóm tắt

Từ khóa:

Máy CNC 4D, Động lực học, Động lực học ngược, Vận tốc, Gia tốc.

Ngành công nghiệp chế tạo và sử dụng máy CNC ngày càng phát triển, sự đa dạng và độ chính xác của sản phẩm ngày càng được nâng cao. Do đó, máy CNC vẫn sẽ phát triển và nâng cao vai trò của mình trong lĩnh vực sản xuất và giữ vững những vai trò cơ bản trong cuộc sống. Điều này đã đưa máy CNC trở thành một phần không thể thiếu trong sản xuất công nghiệp. Bài báo sẽ nghiên cứu việc thiết lập mô hình động lực học và động lực học ngược cho máy CNC 4D dạng trục/bàn. Nghiên cứu được thực hiện khi tự chủ động chế tạo máy hoàn toàn tại Việt Nam.

Abstract

Keywords:

4D CNC machine, Dynamic, Inverse dynamic, Velocity, Acceleration.

Industry in manufacturing and using CNC machines is increasingly development including the diversity and accuracy of the product. So, CNC machines will still grow and enhance the role in manufacturing sector and maintaining basic roles in life. This reason has made CNC machines an indispensable part of industrial production. The article will research in building inverse dynamic models of the 4D CNC big size machines type shaft / table made by self-manufactured in Vietnam.

Ngày nhận bài: 03/7/2018

Ngày nhận bài sửa: 10/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Sự xuất hiện của các máy CNC đã nhanh chóng thay đổi việc sản xuất công nghiệp. Các đường cong được thực hiện dễ dàng như đường thẳng, các cấu trúc phức tạp 3 chiều cũng dễ dàng thực hiện, và một lượng lớn các thao tác do con người thực hiện được giảm thiểu. Việc gia tăng tự động hóa trong quá trình sản xuất với máy CNC tạo nên sự phát triển đáng kể về chính xác và chất lượng. Kỹ thuật tự động của CNC giảm thiểu các sai sót và giúp người thao tác có thời gian cho các công việc khác. Ngoài ra còn cho phép linh hoạt trong thao tác các sản phẩm và thời gian cần thiết cho thay đổi máy móc để sản xuất các linh kiện khác. Máy CNC ngày nay được điều khiển trực tiếp từ các bản vẽ do phần mềm CAM, vì thế một bộ phận hay lắp ráp có thể trực tiếp từ thiết kế sang sản xuất mà không cần các bản vẽ in của từng chi tiết. Có thể nói

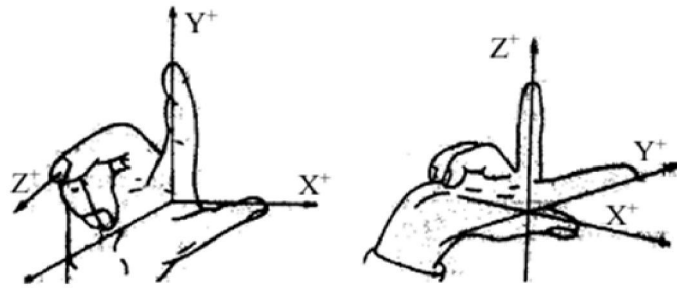
CNC là các phân đoạn của các hệ thống robot công nghiệp, tức là chúng được thiết kế để thực hiện nhiều thao tác sản xuất. Tại Việt Nam trước năm 1990, các khái niệm công nghệ NC, CNC rất xa lạ và ít người biết đến. Từ năm 1991, thông qua một số dự án chuyển giao công nghệ, hợp tác với nước ngoài, lúc đó các công nghệ CNC như [1-3]: máy phay CNC, máy tiện CNC, đo lường CNC,... lần đầu tiên được giới thiệu và đã thu hút sự quan tâm của nhiều nhà chuyên môn cũng như các doanh nghiệp trong nước và liên doanh với nước ngoài. Hiện nay các máy CNC 2, 3, đang được sử dụng rộng rãi ở nước ta để chế tạo ra các chi tiết cơ khí, đặc biệt là chế tạo các khuôn mẫu chính xác, các chi tiết phục vụ công nghiệp quốc phòng. Các thương hiệu máy CNC thường gặp trong sản xuất là Seimens, Index, Mazak, OKK. Sử dụng máy CNC cho phép giảm khối lượng gia công chi tiết, nâng cao độ chính xác gia công và hiệu quả kinh tế, đồng thời rút ngắn được chu kỳ sản xuất. Bên cạnh đó, nhiều nhà máy cơ khí trong nước đã và đang có những dự án đầu tư các dây chuyền sản xuất với phần lớn thiết bị trong dây chuyền là các máy CNC. Ngoài ra các máy công cụ điều khiển số CNC còn được dùng trong nghiên cứu khoa học và đào tạo ở các trường đại học và viện nghiên cứu. Từ năm 2010 trở lại đây trên thị trường bắt đầu xuất hiện máy CNC 4D gia công gỗ do Trung Quốc sản xuất. Mặc dù công nghệ CNC du nhập vào Việt Nam chậm hơn nhiều so với thế giới, nhưng trong một thời gian ngắn có thể nói công nghệ này đã có chỗ đứng tại Việt Nam và tin chắc trong những năm tới đây công nghệ này sẽ được dùng nhiều trong các xí nghiệp, phân xưởng, nhà máy, khu công nghiệp, khu công nghệ cao, các cơ sở tiểu thủ công nghiệp. Tuy nhiên, sự nghiên cứu chưa toàn diện và đồng bộ đã khiến cho quá trình chế tạo các máy CNC ở Việt Nam còn nhiều hạn chế đến thời điểm này [4-6]. Để điều khiển được máy CNC thì việc điều khiển là quan trọng nhất bởi kết quả điều khiển ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng gia công, chất lượng sản phẩm khi gia công. Do đó, bài toán động học ngược và động lực học ngược luôn là những bài toán thiết thực và cấp bách hiện nay. Bài báo đưa ra quy trình giải quyết bài toán động học ngược và động lực học ngược cho mô hình máy CNC 4D được chủ động chế tạo tại PTN Cơ học Ứng dụng - Trường Đại Học Bách khoa TP HCM. Kết quả của bài toán cho thấy nhiều nhận định khách quan về quá trình di chuyển (quỹ đạo, vận tốc, gia tốc) của mô hình máy phay CNC 4D cũng như quá trình điều khiển (lực tại các khớp, moment,...). Trong đó, các tác giả nhận định rằng khi điều khiển máy CNC lớn gặp nhiều khó khăn do sự ảnh hưởng rất lớn từ lực quán tính và hoàn toàn khác biệt so với việc điều khiển những máy nhỏ, máy mô hình. Những nghiên cứu tiếp theo được trình bày trong những nghiên cứu độc lập khác.

2. THIẾT LẬP MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC MÁY CNC 4D

2.1. Động học máy CNC 4D

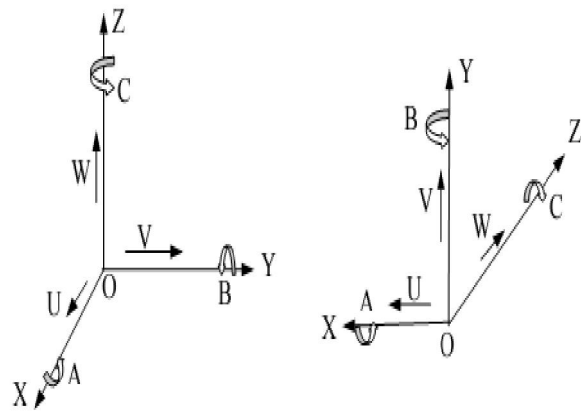
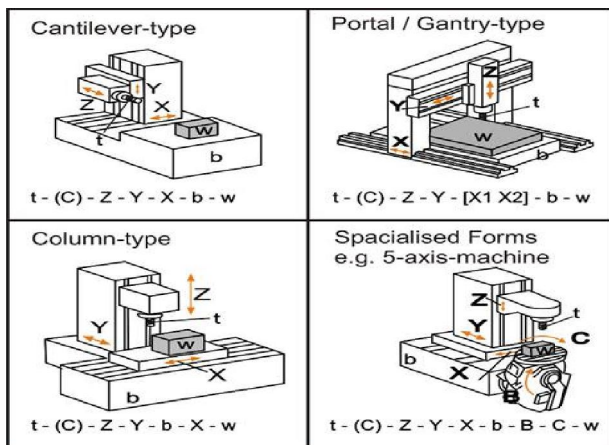
Ta thiết kế và khảo sát động học của máy 4D gồm: xác định vị trí mũi dao, vận tốc và gia tốc mũi dao từ dịch chuyển của các khâu. Chi tiết ta muốn gia công là các tấm gỗ hoặc nhôm mỏng có kích thước 300 x 800 mm, chi tiết dạng tròn xoay có đường kính lớn nhất 300 mm. Các trục tọa độ của máy CNC cho phép xác định chiều chuyển động của các cơ cấu máy và dụng cụ cắt. Chiều dương của các trục X , Y , Z được xác định theo quy tắc bàn tay phải (ngón tay cái chỉ chiều dương của trục X , ngón tay giữa chỉ chiều dương của trục Z , ngón tay trở chỉ chiều dương của trục Y). Quy tắc xác định các trục tọa độ trên máy thể hiện ở Hình 1.

- Trên các máy điều khiển theo chương trình số, chi tiết gia công được xem là luôn luôn cố định và luôn gắn với hệ thống tọa độ cố định nói trên, còn mọi chuyển động tạo hình và cắt gọt đều do dụng cụ thực hiện dưới sự điều khiển của hệ thống máy do người lập trình đề ra.



Hình 1. Hệ thống tọa độ theo quy tắc bàn tay phải

- Với quy ước:
- + Trục Z luôn trùng với trục chuyển động chính
- + Trục X nằm trong mặt phẳng định vị song song bàn máy
- + Trục Y còn lại nằm trong mặt phẳng định vị vuông góc bàn máy



Hình 2. Hệ thống tọa độ gắn trên các dạng máy CNC

- Như vậy, hệ thống tọa độ trên máy CNC 4D chữ H được thiết kế có bảng thông số động học của máy dạng như sau:

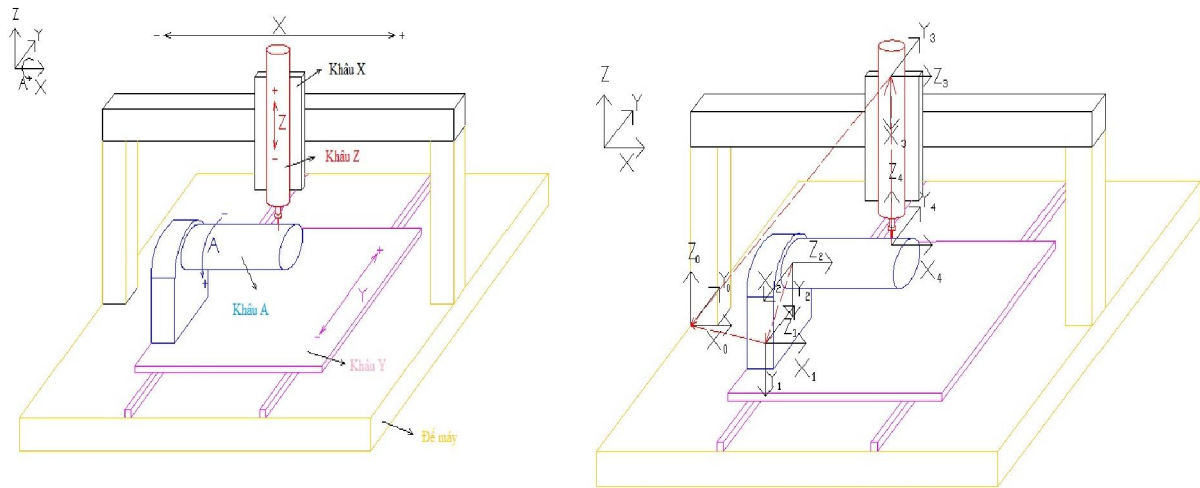
Bảng 1. Bảng thông số động học của máy

| Khâu | Θ | α_i | A_i (m) | D_i (m) |
|------------|------------|------------|-----------------|-----------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 so với 0 | 0 | 0 | $dy_{01} + u_1$ | $dx_{01}, dy_{01}, dz_{01}$ |
| 2 so với 1 | Θ_2 | 0 | - | $dx_{12}, dy_{12}, dz_{12}$ |
| 3 so với 0 | 0 | 0 | $dx_{03} + u_3$ | $dx_{03}, dy_{03}, dz_{03}$ |
| 4 so với 3 | 0 | 0 | $u_4 + dz_{34}$ | $dx_{34}, dy_{34}, dz_{34}$ |

Với:

$$d_{x01} = 0m, d_{y01} = 0m, d_{z01} = 0,2m, d_{x12} = 0m, d_{y12} = 0m, d_{z12} = 0,2m, d_{x03} = 0m, d_{y03} = 0m, d_{z03} = 0,9m, d_{x34} = 0m, d_{y34} = 0,16m, d_{z34} = 0,4m$$

Ta có sơ đồ động học cho máy CNC 4D:



Hình 3. Sơ đồ các khâu của máy

2.2. Các kết quả tính toán về sự dịch chuyển của tọa độ, vận tốc, gia tốc của mũi dao so với phôi

Bất kỳ một máy CNC nào cũng có thể coi là một tập hợp các khâu (links) gắn liền với các khớp (joints). Sử dụng các phép biến đổi thuận nhất có thể mô tả vị trí tương đối và hướng giữa các hệ tọa độ này. Denavit. J. đã gọi biến đổi thuận nhất mô tả quan hệ giữa một khâu và một khâu kế tiếp là một ma trận A . Nói đơn giản hơn, một ma trận A là một mô tả biến đổi thuận nhất bởi phép quay và phép tịnh tiến tương đối giữa hệ tọa độ của hai khâu liền nhau. A_1 mô tả vị trí và hướng của khâu đầu tiên; A_2 mô tả vị trí và hướng của khâu thứ hai so với khâu thứ nhất. Như vậy vị trí và hướng của khâu thứ hai so với hệ tọa độ gốc được biểu diễn bởi ma trận:

$$T_2 = A_1 A_2 \quad (1)$$

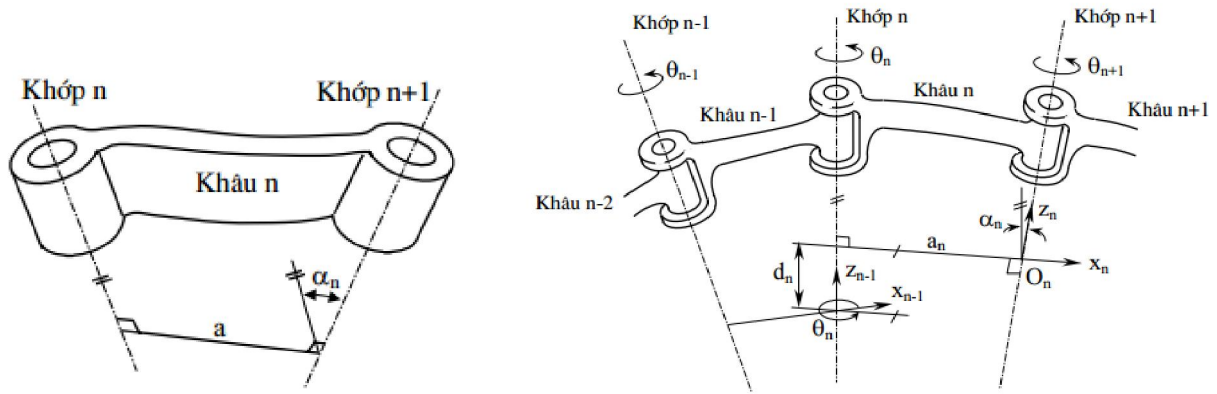
- Cũng như vậy, A_3 mô tả khâu thứ ba so với khâu thứ hai :

$$T_3 = A_1 A_2 A_3 \quad (2)$$

- Cũng theo Denavit, tích của các ma trận A được gọi ma trận T , thường có hai chỉ số: trên và dưới. Chỉ số trên chỉ hệ tọa độ tham chiếu, bỏ qua chỉ số đó bằng 0. Chỉ số dưới thường dùng để chỉ khâu chấp hành cuối. Nếu một máy CNC có n khâu ta có:

$$T_n = A_1^1 A_2^2 \dots A_n^n \quad (3)$$

- T_n mô tả mối quan hệ về hướng và vị trí của khâu chấp hành cuối đối với hệ tọa độ gốc. Một máy CNC có 4 khâu có thể có 4 bậc tự do và có thể xác định được vị trí và định hướng trong trường vận động của nó (range of motion). Hai bậc tự do được xác định vị trí thuần túy và hai bậc tự do khác xác định hướng mong muốn.



Hình 4. Chiều dài và góc xoắn của một khâu

Thông thường người ta gọi a_n là chiều dài và α_n là góc xoắn của khâu. Phổ biến là hai khâu liên kết với nhau ở chính trục của khớp. Nguyên tắc chung để gắn hệ tọa độ lên các khâu như sau:

- Góc hệ tọa độ gắn lên khâu thứ n đặt tại giao điểm của pháp tuyến a_n với trục khớp thứ $n+1$. Trường hợp hai trục khớp cắt nhau, góc tọa độ sẽ đặt tại chính điểm cắt đó. Nếu các trục khớp song song với nhau, góc tọa độ được chọn trên trục khớp của khâu kế tiếp, tại điểm thích hợp.

- Trục z của hệ tọa độ gắn lên khâu thứ n đặt dọc theo trục khớp thứ $n+1$.
- Trục x thường được đặt dọc theo pháp tuyến chung và hướng từ khớp n đến $n+1$.
- Trong trường hợp các trục khớp cắt nhau thì trục x chọn theo tích vectơ. Trường hợp khớp quay thì là các biến khớp, trong trường hợp khớp tịnh tiến thì d_n là biến khớp và bằng 0. Các thông số a_n , α_n , d_n và n được gọi là bộ thông số DH

2.3. Ma trận tọa độ mũi dao so với phôi

Sau khi xác định được các ma trận biến đổi. Đối với khâu 1 và khâu 2 (bậc tự do thuần túy) ta chọn 1 điểm trên phôi và xác định vị trí cuối của điểm đó trên phôi so với hệ tọa độ cố định sau khi thực hiện các thao tác di chuyển phôi dựa vào ma trận chuyển xác định vị trí (4). Hai khâu xác định hướng mong muốn được xác định theo (5).

$${}^0A_1 \cdot {}^1A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dx_{01} + u_1 \\ 0 & 1 & 0 & dy_{01} \\ 0 & 0 & 1 & dz_{01} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & 0 & \sin\theta_2 & dx_{12} \\ 0 & 1 & 0 & dy_{12} \\ -\sin\theta_2 & 0 & \cos\theta_2 & dz_{12} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & 0 & \sin\theta_2 & dx_{01} + u_1 + dx_{12} \\ 0 & 1 & 0 & dy_{01} + dy_{12} \\ -\sin\theta_2 & 0 & \cos\theta_2 & dz_{12} + dz_{01} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$${}^0A_3 \cdot {}^3A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dx_{03} \\ 0 & 1 & 0 & dy_{03} + u_3 \\ 0 & 0 & 1 & dz_{03} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dx_{34} \\ 0 & 1 & 0 & dy_{34} \\ 0 & 0 & 1 & -dz_{34} + u_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dx_{03} + dx_{34} \\ 0 & 1 & 0 & dy_{03} + u_3 + dy_{34} \\ 0 & 0 & 1 & -dz_{34} + dz_{03} + u_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Thông qua các biến đổi tọa độ và thiết lập mối quan hệ giữa các khâu của máy CNC, ta xây dựng được quan hệ vị trí mũi dao so với phôi khi đó tọa độ của mũi dao so với phôi:

$$\begin{Bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ 1 \end{Bmatrix} = {}^2DH_4 \begin{Bmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \\ 1 \end{Bmatrix} = {}^2DH_4 \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sin(\theta_2)(dz_{01} - dz_{03} + dz_{34} + dz_{12} - u_4) + \cos(\theta_2)(-dx_{01} + dx_{03} - dx_{12} + dx_{34} - u_1) \\ dy_{34} + dy_{03} - dy_{01} - dy_{12} + u_3 \\ \sin(\theta_2)(-dx_{01} + dx_{03} - dx_{12} + dx_{34} - u_1) - \cos(\theta_2)(dz_{01} - dz_{03} + dz_{34} + dz_{12} - u_4) \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

2.4. Ma trận vận tốc giữa mũi dao so với phôi

Vận tốc chính là đạo hàm bậc nhất của vec-tơ x . Ta đạo hàm hai vế của hệ thức $x = f(q)$ theo thời gian, từ đó ta có:

$$\dot{x} = \frac{\partial f}{\partial q} \cdot \dot{q} = J(q) \cdot \dot{q} \quad (7)$$

Trong đó:

$$J(q) = \frac{\partial f}{\partial q} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial q_1} & \frac{\partial f_1}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial q_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_m}{\partial q_1} & \frac{\partial f_m}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial q_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial q_1} & \frac{\partial x_1}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial x_1}{\partial q_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial x_m}{\partial q_1} & \frac{\partial x_m}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial x_m}{\partial q_n} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Như vậy ta tính toán ma trận Jacobi để tính toán vận tốc:

$$J = \begin{bmatrix} -\cos(\theta_2) & \cos(\theta_2)(dz_{01} - dz_{03} + dz_{34} + dz_{12} - u_4) - \sin(\theta_2)(-dx_{01} + dx_{03} - dx_{12} + dx_{34} - u_1) & 0 & -\sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta_2) & -\cos(\theta_2)(dx_{01} - dx_{03} + dx_{12} - dx_{34} + u_1) + \sin(\theta_2)(dz_{01} - dz_{03} + dz_{34} + dz_{12} - u_4) & 0 & \cos(\theta_2) \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

2.5. Ma trận gia tốc giữa mũi dao so với phôi

$$\ddot{x} = J(q) \cdot \ddot{q} + \dot{J}(q) \cdot \dot{q} \quad (10)$$

Ta cần tính thêm ma trận Jacobi đạo hàm

$$\dot{J} = \begin{bmatrix} 0 & -\sin(\theta_2)(dz_{01} - dz_{03} + dz_{34} + dz_{12} - u_4) - \cos(\theta_2)(-dx_{01} + dx_{03} - dx_{12} + dx_{34} - u_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_2)(dx_{01} - dx_{03} + dx_{12} - dx_{34} + u_1) - \sin(\theta_2)(-dx_{01} + dx_{03} - dx_{12} + dx_{34} - u_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

3. THIẾT LẬP MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC, ĐỘNG LỰC HỌC NGƯỢC MÁY CNC 4D

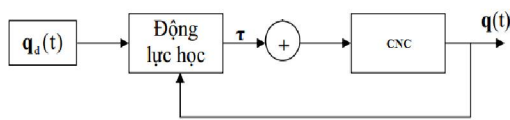
3.1. Bài toán động lực học

Dạng tổng quát của phương trình động lực học được hình thành từ phép lập Newton-Euler luôn luôn có thể biểu diễn như sau (ở dạng phương trình không gian trạng thái):

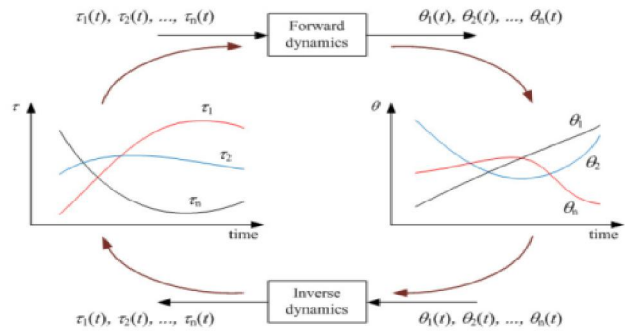
$$\tau = M(\theta) \ddot{\theta} + V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) \quad (12)$$

Với $M(\theta)$: Là ma trận khối lượng robot ($n \times n$); $V(\theta, \dot{\theta})$: Là một vecto ($n \times 1$) mô tả các thành phần ly tâm và Coriolis; $G(\theta)$: Là một vecto ($n \times 1$) mô tả thành phần trọng lượng, chỉ phụ thuộc vào thành phần vị trí; τ : Là các moment cần thiết, cung cấp cho các quá trình điều khiển để thực hiện chuyển động mong muốn.

Sơ đồ khối điều khiển CNC có dạng:



Hình 5. Sơ đồ khối điều khiển CNC



Hình 6. Sơ đồ bài toán động lực học thuận và ngược

Từ phương trình động lực học, chúng thường được chia làm 2 bài toán cơ bản

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta)$$

Bài toán động lực học thuận: Mô phỏng chuyển động của các robot khi biết các moment tạo ra từ các động cơ: $\tau \rightarrow (\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta})$, bài toán động lực học ngược: Tính toán các moment cần thiết cung cấp cho quá trình điều khiển để thực hiện chuyển động mong muốn: $(\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}) \rightarrow \tau$.

3.2. Tính toán động học cho máy CNC 4 trục

Ta có mối quan hệ của mũi dao so với phôi đã tính ở phần động học theo (6)

Giả sử mũi dao chuyển động đúng vòng quay của spindle theo các trục như sau:

$$x = 0,3 + 0,08 \cos(t), \quad y = 0,3 + 0,08 \sin(t), \quad z = 0,05 \cos(t) \quad (13)$$

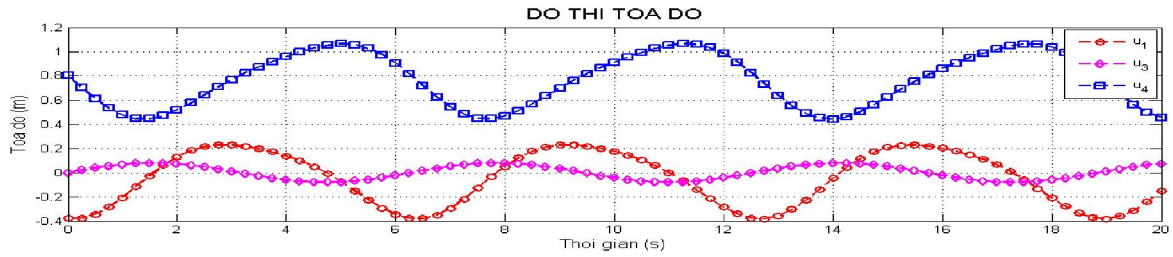
Khi ta giải bài toán động học ngược, tọa độ mũi dao thay đổi theo ba phương x, y và z , nhưng trong ma trận truyền có bốn tọa độ suy rộng cần tính là u_1, φ_2, u_3, u_4 . Như vậy, bài toán này được gọi là bài toán dư chuyển động. Để giải, ta đặt một tọa độ suy rộng có phương trình chuyển động cho trước, trong trường hợp này ta chọn tọa độ suy rộng φ_2 là hằng số, tức khâu 2 (phôi) quay đều:

$$\varphi_2 = t(\text{rad}), \quad \dot{\varphi}_2 = 1(\text{rad/s}), \quad \ddot{\varphi}_2 = 0(\text{rad/s}^2) \quad (14)$$

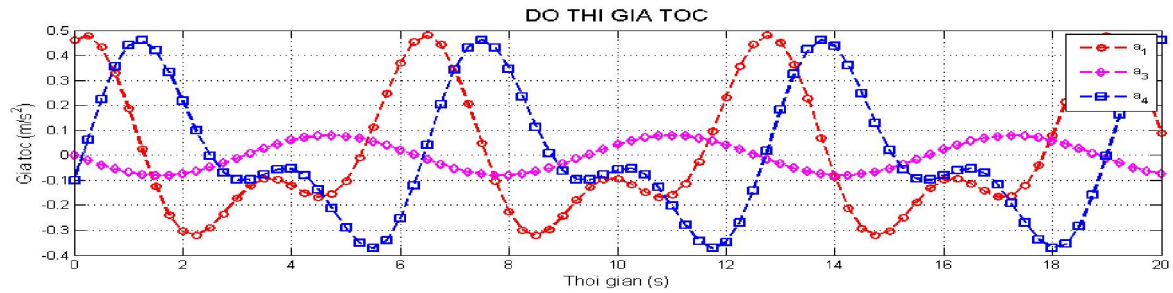
Thay φ_2 và các giá trị khoảng cách cố định vào ma trận quan hệ giữa mũi dao so với phôi, ta có:

$$\begin{bmatrix} 0,3 + 0,08 \cos(t) \\ 0,3 + 0,08 \sin(t) \\ 0,05 \cos(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,05 \cos(t) - 0,1 \sin(t) - \sin(t)u_4 - \cos(t)u_1 \\ -0,2 + u_3 \\ -0,05 \sin(t) - 0,1 \cos(t) - \cos(t)u_4 - \sin(t)u_1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

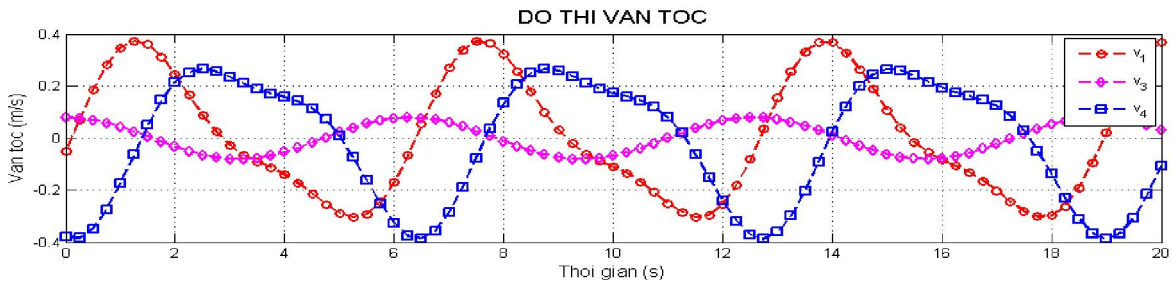
Như vậy, các giá trị suy rộng về vị trí của từng khâu giải được như sau:



Hình 7. Đồ thị biểu diễn các tọa độ suy rộng



Hình 8. Đồ thị kết quả vận tốc



Hình 9. Đồ thị kết quả gia tốc

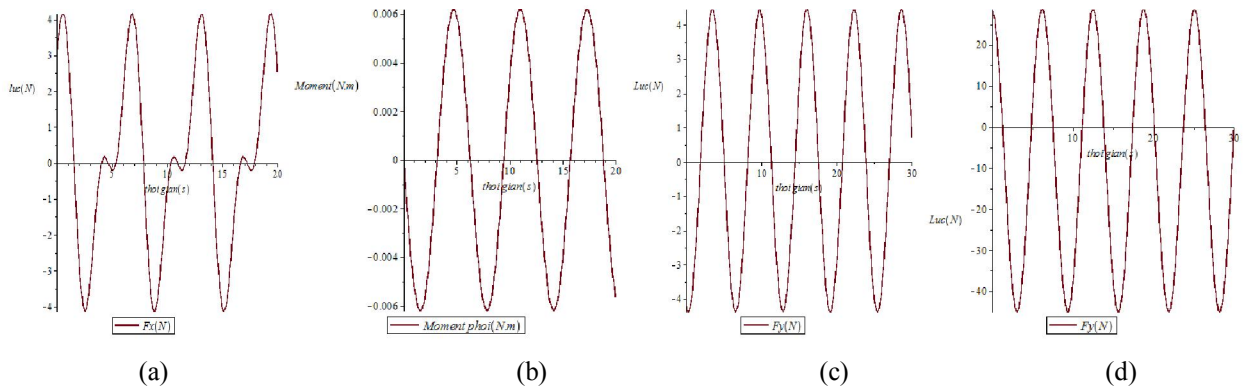
3.3. Tính toán động lực học ngược cho máy CNC 4 trục

Sử dụng phương trình Lagrange:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\delta L}{\delta \dot{\rho}} \right) - \frac{\delta L}{\delta \rho} = \tau \quad (16)$$

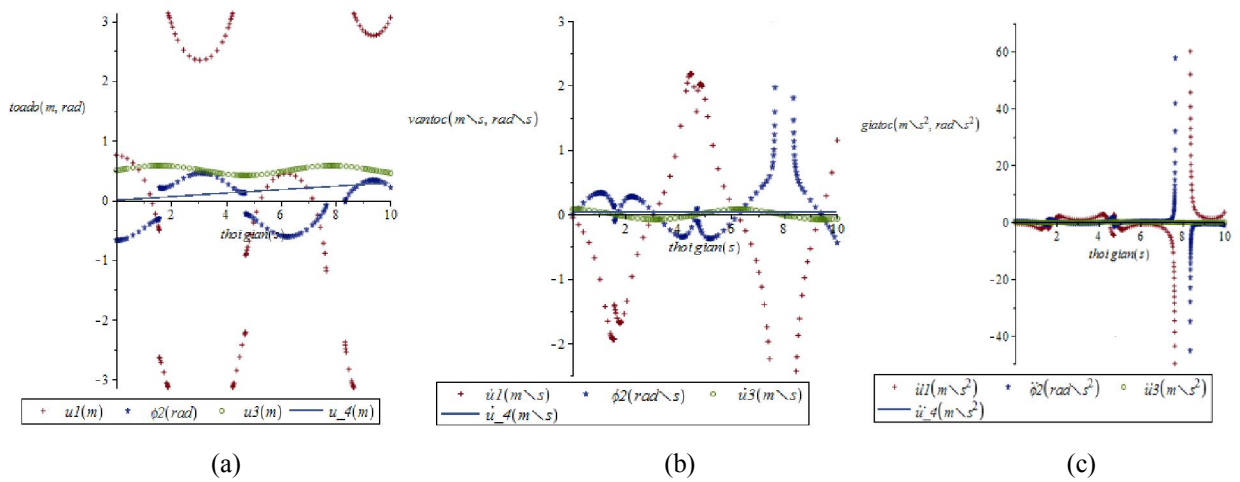
$$\begin{bmatrix} m_1 + m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 R^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 + m_4 & m_4 \\ 0 & 0 & m_4 & m_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\varphi} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ m_4 g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_x \\ \tau_\varphi \\ \tau_y \\ \tau_z \end{bmatrix} \quad (17)$$

Thay các đạo hàm cấp 2 vào ma trận đã tính từ phương trình Lagrange, ta tính được các moment/lực cần thiết cho điều khiển để các khâu thực hiện các chuyển động như mong muốn, và ta có kết quả như sau:



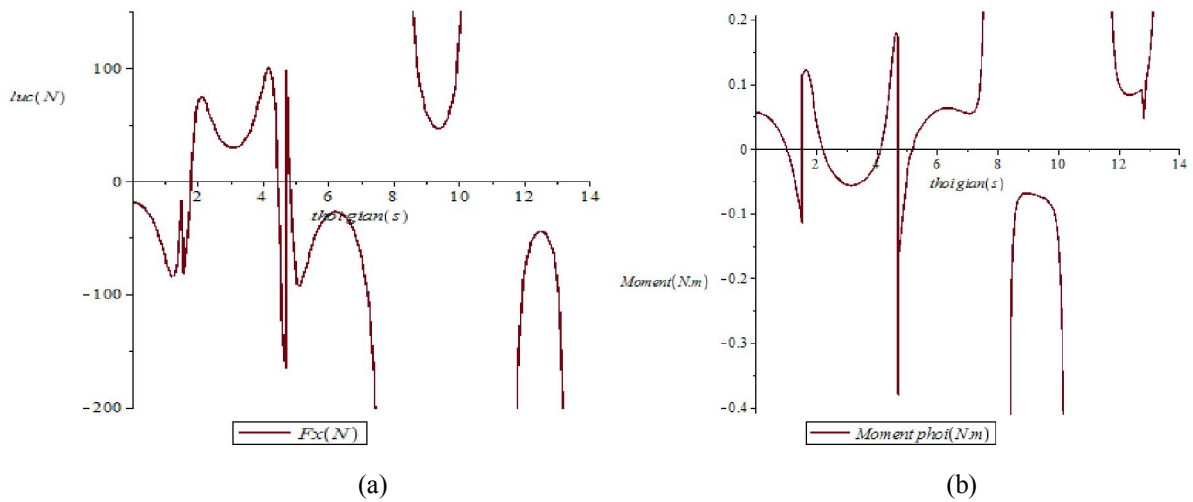
Hình 10. Đồ thị lực (moment) trên khâu bốn

Các kết quả về tọa độ, vận tốc, gia tốc từng khâu:



Hình 11. Tọa độ, vận tốc, gia tốc từng khâu

Lực điều khiển của các cụm khâu trên máy CNC 4D với 2 khâu độc lập và 2 khâu chỉ hướng:



Hình 12. Lực điều khiển của các cụm khâu

4. KẾT LUẬN

- Đối với khảo sát động học của mô hình máy CNC 4D
 - Mũi dao chuyển động theo hàm điều hòa nên các khâu cũng chuyển động cũng tuân theo hàm điều hòa, riêng khâu hai ta gán chuyển động quay đều, nên đồ thị tuyến tính.
 - Vận tốc các khâu một, hai, bốn thay đổi theo chu kì do vị trí cũng thay đổi theo chu kì $\sin(x)$, $\cos(x)$ và khâu hai chuyển động đều, nên đồ thị vận tốc là hằng số
 - Các khâu một, ba, bốn cũng thay đổi theo chu kì. Khâu hai chuyển động đều, vận tốc là hằng số, như vậy gia tốc bằng không
- Đối với khảo sát mô hình động lực học ngược của máy CNC 4D
 - Qua các ma trận tính lực và moment. Lực, moment chủ yếu phụ thuộc vào gia tốc và gia tốc góc, nên cũng sẽ thay đổi theo chu kì của gia tốc, gia tốc khâu một lớn nhất nên lực là lớn nhất, gia tốc khâu hai nhỏ nhất, nên lực nhỏ nhất
 - Khâu một và hai có vận tốc và gia tốc bị gián đoạn, đồ thị có tiệm cận, nên lực ở hai khâu này cũng sẽ bị gián đoạn quanh mốc thời gian 8s. Như vậy, kết quả tương tác giữa lực và gia tốc, vận tốc là hợp lý

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Ngọc Cẩn. *Máy cắt kim loại*. NXB ĐHQG Tp. Hồ Chí Minh, 2005.
- [2]. Trần Văn Địch. *Công nghệ CNC*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2004.
- [3]. Trần Hoàng Nam, *Giải bài toán ngược động học, động lực học và điều khiển trượt Rô - bốt dư dẫn động dựa trên thuật toán hiệu chỉnh gia lượng vết - tọa độ suy rộng*, 2010.
- [4]. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển. *Tính toán thiết kế hệ thống dẫn động cơ khí tập 1*. NXB Giáo dục.
- [5]. Nguyễn Đắc Lộc. *Sổ tay công nghệ chế tạo máy tập II*. NXB Khoa học Kỹ thuật, 2007.
- [6]. Nguyễn Văn Yên. *Chi tiết máy*. NXB Giao thông Vận tải. 2006.