

# THIẾT KẾ, CHẾ TẠO CỔ TAY ROBOT CẦU KIỂU TUẦN HOÀN CÔNG SUẤT

DESIGN AND FABRICATION OF A SPHERICAL ROBOTIC WRIST  
USING POWER CIRCULATION

Phạm Thành Long

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – Đại học Thái Nguyên

## TÓM TẮT

Truyền dẫn cơ khí cho robot công nghiệp theo hình thức tuần hoàn công suất thường được ứng dụng cho robot làm việc với tải trọng lớn, mô đun cổ tay robot có vùng làm việc mặt cầu gồm hai phần chính, phần trực tiếp tạo ra ba đường trục quay và phân dòng mạch của cấu trúc đó tạo thành ba mạch vòng khép kín độc lập. Tổng hợp cấu trúc động học là để được một hộp tốc độ truyền dẫn cơ khí, có kích thước phù hợp, có khả năng khử chuyển động theo của cơ cấu, và tạo ra một dòng năng lượng khép kín nhằm khử khe hở cho xích động học có yêu cầu đảo chiều thường xuyên. Phương pháp thiết kế ở đây đòi hỏi xây dựng một hệ thống mô hình toán học làm cơ sở nhận dạng sơ đồ động.

## ABSTRACT

Mechanical drive using power circulation is often applied to the manipulators that work with heavy loads, and have wrist modules with spherical workspace which includes two main parts, one directly forms three rotation axes and the other close the circuit of that structure forming three independent closed loops. The synthesis of kinematic structure makes a speed box which has suitable dimension, the ability of eliminating the translational motion of the mechanism, and forms a closed power which can eliminate the clearance of the kinematic chain with the permanent requirement of reverse. This design method requires the building of a mathematical model that will be used to identify the kinematic diagram.

## 1. GIỚI THIỆU

Trong kỹ thuật robot độ chính xác truyền động đóng một vai trò quan trọng và để đạt được điều này có nhiều phương án, nếu như ở các robot mang tải vừa và nhỏ các khe hở cơ khí được khử đi dưới tác dụng của các giải pháp điều khiển thì với các robot tải trọng lớn, tuần hoàn công suất để khử khe hở tỏ ra là một phương án hiệu quả. Trong bài báo này để cập đến truyền dẫn cơ khí

với kết cấu cho phép tuần hoàn công suất áp dụng cho khớp cổ tay robot, trong đó quan tâm đến hai vấn đề cơ bản là thiết kế các cơ cấu vi sai để khử chuyển động theo và phân chia cường bức truyền động ra hai hướng khác nhau của hai phần tử bố trí đồng trục nhằm khử hoàn toàn khe hở trong hệ thống xích truyền lực của cơ cấu. Bài báo cũng trình bày hệ thống mô hình toán học để nhận dạng liên kết trên sơ đồ động thực, dựa vào các quan hệ động học đặc trưng của cơ cấu vi sai.

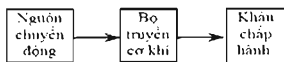
Kiểm nghiệm thực tế trên sản phẩm chế tạo ở trường ĐHKT Công Nghiệp được giới thiệu ở cuối bài báo cho thấy mối động cơ tác động đến một trục chấp hành tương ứng, không có chuyển động theo khi công suất tuần hoàn, điều này hoàn toàn phù hợp với yêu cầu đặt ra.

**2. TỔNG HỢP CẤU TRÚC TRUYỀN DẪN ĐỘNG HỌC KHỚP CỔ TAY**

**2.1 Mô tả nhiệm vụ thiết kế**

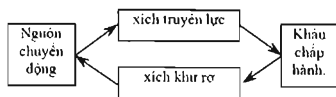
Giả sử cần tạo ra một robot cổ tay cấu với ba đường trục đôi một vuông góc, trong đó mỗi trục được trang bị một động cơ dẫn động riêng. Trong cấu trúc ban đầu giả sử rằng có tồn tại khe hở mặt bên giữa các bộ truyền cơ khí, yêu cầu đặt ra của thiết kế động học ở đây là các trục phải hoạt động độc lập và độ chính xác không bị ảnh hưởng bởi các khe hở của bộ truyền ngay cả ở trạng thái đảo chiều.

Mỗi một bậc tự do của robot thông thường có sơ đồ truyền dẫn dạng như sau:

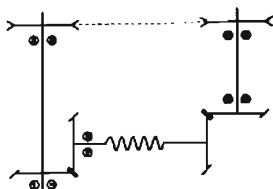


Hình 1: Truyền dẫn động học một bậc tự do kiểu không tuần hoàn công suất

Với ba bậc tự do của cổ tay cấu về cân bản sẽ gồm ba xích động học cùng cấu trúc như trên, để tối ưu về kích thước phần truyền động cơ khí được gộp chung thành một hộp tốc độ cơ khí, trong đó có các đoạn xích động học dùng chung giữa các trục chấp hành. Điều này dẫn đến khó khăn lớn khi liên kết các nhóm động học với nhau để đạt được đồng thời hai mục đích là khử khe hở cơ khí và khử chuyển động theo của khâu cuối.



H.2a



H.2b

Hình 2: Truyền dẫn động học kiểu tuần hoàn công suất cho một bậc tự do dưới dạng nguyên lý (a) và kết cấu (b)

Giả sử toàn bộ cổ tay robot cấu cần thiết kế chia ra hai phần là phần chấp hành gồm cổ tay cấu với ba bậc tự do quay và phần khớp kín mạch của nó kể cả nguồn chuyển động.



Hình 3: Truyền dẫn động học với ba bậc tự do có tuần hoàn công suất

Nhiệm vụ thiết kế đặt ra ở đây là nếu xem phần khớp mạch có chức năng động học như một tà, người thiết kế cần đưa ra các căn cứ để xây dựng được sơ đồ động cụ thể của nó.

**2.2 Phương pháp và mô hình thiết kế**

**Về phương pháp thiết kế**

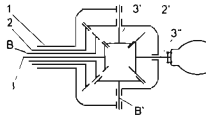
Các bộ truyền hoặc một tổ hợp các bộ truyền theo nguyên tắc nào đó đều có thể mô tả toán học đặc trưng của nó, trong trường hợp sơ đồ dẫn động có trước và mô hình toán căn cứ vào đó để xây dựng nên thì gọi đó là quan hệ thuận, nếu mô hình toán có trước và biết số lượng khâu cũng như tính chất chuyển động yêu cầu có thể để xuất các kết cấu hợp lý thì gọi là quan hệ ngược.

Trong bài toán với yêu cầu nêu ra ở mục 2.1 với các yêu cầu công tác của phần chấp hành

đã cho trước, nếu xem phần khớp mạch như một hộp đen, người thiết kế sẽ làm theo chiều ngược lại, tức là dựa vào các đặc trưng của bộ truyền để xác định ra số lượng và thứ tự tổ hợp của chúng với nhau, điều đó có nghĩa là cần có một hệ thống các mô hình toán học làm căn cứ và người thực hiện cần có hiểu biết sâu sắc về các quan hệ thuận và nghịch khi suy diễn.

**Vẽ mô hình thiết kế**

Trong truyền động cơ khí, để liên kết chuyển động quay của ba trục quay có đường tâm vuông góc với nhau sẽ sử dụng bánh răng nón, cụ thể xét sơ đồ sau đây:



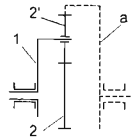
Hình 4: Cơ cấu cấu ba bậc tự do với bốn khâu nền

Sơ đồ này ứng với mô đun cố tay cấu ở hình 3, phần đóng mạch đối tiếp với nó chưa được nhận diện. Xét cơ cấu cố tay ba bậc tự do như trên hình 4, điều kiện phụ thuộc động học của chuyển động chấp hành vào chuyển động của ba động cơ dẫn động được biểu diễn như sau:

$$\begin{cases} \omega_{d1} = i_1 \cdot \omega_1 \\ \omega_{d2} = i_2 \cdot \omega_2 \\ \omega_{d3} = i_3 \cdot \omega_3 \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó  $i_2 = i_{2,2} \cdot i_2$ ;  $i_3 = i_{3,3} \cdot i_3$  - và  $i_1, i_2, i_3$  là các tỉ số truyền giữa trục động cơ và các khâu chủ yếu để tạo ra các bậc tự do chuyển động của cấu trúc.

Hệ phương trình trên thiết lập cho cơ cấu ba bậc tự do chuyển động, các quan hệ động học của nó được suy ra từ các mô hình có số bậc tự do bằng hai sau khi chia cắt thành các cấu trúc có hai bậc tự do như cấu trúc sau:

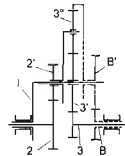


Hình 5: Cơ cấu vi sai hai bậc tự do phẳng

Hệ phương trình đặc trưng của cơ cấu này sau rút gọn có dạng

$$\begin{cases} i_{2,2} \cdot \omega_2 = \omega_2 - \omega_1 \\ i_{2,3} \cdot \omega_3 = \omega_3 - \omega_1 \\ i_2 \cdot \omega_2 = i_{2,a} (\omega_a - \omega_2) \frac{1}{1 - i_{2,a}} \end{cases} \quad (2)$$

Tỉ số truyền  $i_{2,2}$  và  $i_{2,3}$  là các tỉ số truyền liên kết khâu 2 và khâu a với khâu 2' khi cần vi sai 1 là đúng yên. Xét hệ vi sai phẳng có ba bậc tự do như hình vẽ:



Hình 6: Cơ cấu vi sai ba bậc tự do phẳng

Xem cơ cấu hai bậc tự do gồm các khâu nền là (2', 3', B') còn bánh vệ tinh là 3'', giống cơ cấu đã xét ở trên, phương trình liên kết động học với cơ cấu này tương tự như cơ cấu đã xét ở trên nên viết được:

$$\begin{cases} \omega_3 - \omega_2 = i_{3,B} (\omega_B - \omega_2) \\ i_{3,3'} \omega_3 = \omega_3 - \omega_2 \end{cases} \quad (3)$$

Do vậy, hệ phương trình mô tả động học của cơ cấu ba bậc tự do ở hình 4 là:

$$\begin{cases} (i_{1B}i_{1B} + i_{21}i_{1B} - i_{3B}i_{21} - i_{11}i_{1B})\omega_1 + (i_{11}i_{1B} - i_{3B}i_{1B})\omega_2 - i_{21}i_{1B}\omega_3 + i_{3B}i_{21}\omega_B = 0 \\ i_{21}i_{13}\omega_{13} = (i_{11} - i_{21})\omega_1 - i_{11}\omega_2 + i_{21}\omega_3 \\ i_{21}\omega_{23} = \omega_2 - \omega_1 \end{cases} \quad (4)$$

Từ các quan hệ động học của cơ tay hình 4 viết được:

$$i_{23} = i_{33} = -i_{B3} = -i_{1B} \quad \text{và} \quad i_{11} = i_{B3}$$

Thay vào (4) và tối giản hoá:

$$\begin{cases} 2(\omega_1 - \omega_2) = \omega_B - \omega_1 \\ \omega_{13} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{i_{13}} \\ \omega_{23} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{i_{21}} \end{cases} \quad (5)$$

Kể cả các quan hệ khử rơ của bản thân cấu trúc:

$$\omega_{3x} = -\omega_3; \omega_{Bx} = -\omega_B$$

Các quan hệ động học mà cơ cấu đối tiếp đóng mạch cần thoả mãn là:

$$\begin{cases} \omega_{d1} = i_1\omega_1 \\ \omega_{d2} = i_2(\omega_2 - \omega_1) \\ \omega_{d3} = -i_3(\omega_2 + \omega_{3x}) \\ 2\omega_1 - 2\omega_2 = \omega_{3x} - \omega_{Bx} \end{cases} \quad (6)$$

Do có ba bậc tự do ứng với ba khâu đầu ra, để khép kín mạch sử dụng bốn khâu nền, tổng số khâu của cấu trúc:

$$n_0 = 3 + 4 = 7 \quad (7)$$

Số bậc tự do của cơ cấu  $w = 3$ , nên số mạch vòng kín tương ứng  $p = 3$ . Như vậy số lượng cơ cấu vi sai tối thiểu của toàn bộ cấu trúc:

$$K_M = n_0 - w + \frac{p}{w} = 7 - 3 + 1 = 5 \quad (8)$$

Trong đó có một cơ cấu vi sai phần chấp

hành, vậy trong cấu trúc đóng mạch chỉ còn lại 4 cơ cấu, để thuận tiện cho liên kết kí hiệu các chân của cơ cấu vi sai:

$$A(3x, d3, 2); B(4, d1, d2); C(Bx, d3, 4); D(2, d1, d2)$$

Trong đó các chân kí hiệu d1, d2, d3 là các chân nối nguồn chuyển động, biến đổi tương đương có chú ý đến các quan hệ động học của truyền động bánh răng hành tinh, sau khi rút gọn hệ phương trình mà cơ cấu đóng mạch phải thoả mãn là:

$$\begin{cases} \omega_{d3} + \omega_5 = 2\omega_{3x} \\ \omega_5 + \omega_6 = 2\omega_{d1} \\ \omega_4 + \omega_8 = 2\omega_{Bx} \\ \omega_4 + \omega_{d2} = 2\omega_{d1} \\ \omega_7 = -2\omega_2 \\ \omega_6 = \omega_{22} \\ \omega_7 = -\omega_{d1} \\ \omega_9 = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Trong đó bốn phương trình đầu biểu diễn bốn cơ cấu vi sai, các chân cùng tên của các cơ cấu này được liên kết với nhau. Bốn phương trình kế tiếp biểu thị các trục trung gian đảo chiều chuyển động trong cấu trúc và vị trí liên kết nguồn chuyển động vào cấu trúc. Căn cứ vào hệ phương trình này phải xác định được sơ đồ liên kết các cơ cấu vi sai với nhau. Các chân cùng tên của các cơ cấu khác nhau thì liên kết với nhau để tạo thành vòng tuần hoàn công suất. Ba động cơ truyền dẫn nối giá cố định (hay nối với khâu có  $\omega_9 = 0$ ) bốn đầu chờ của cơ cấu chấp hành ba bậc tự do gồm:

Chân (1) liên kết với cơ cấu dẫn động ở phần khép mạch là d1 (theo quan hệ  $\omega_1 = -\omega_{d1}$ );

Chân (2) được nối với 5 theo quan hệ

$$\omega_5 = -2\omega_2 ;$$

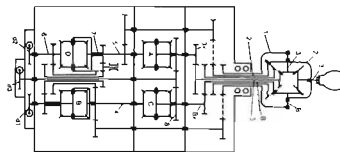
Chân (3) được nối với 3x theo quan hệ

$$\text{khử rơ } \omega_3 = -\omega_3 ;$$

Chân (B) được liên kết với Bx theo quan

$$\text{hệ khử rơ } \omega_B = -\omega_{Bx} ;$$

Sơ đồ động và sơ đồ nguyên lý liên kết như sau:



Hình 7: Sơ đồ liên kết các cơ cấu vi sai

Có thể kiểm tra được rằng các mạch vòng kín  $i=1$  tương ứng luôn xuất hiện khi kích hoạt các động cơ tương ứng.

### 3. CHẾ TẠO VÀ KIỂM TRA

Cổ tay robot cấu nối trên đã được chế tạo thành công tại trường ĐHKT Công nghiệp, ĐH Thái Nguyên, trên thực tế toàn bộ cấu trúc hoạt động bình thường, các thiết bị kiểm tra chuyên dụng xác nhận rằng:

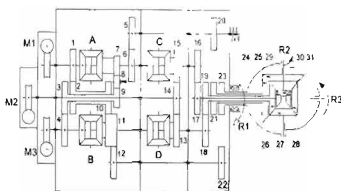
- Hoàn toàn không có chuyển động theo khi kích hoạt bất kì một trong ba động cơ Roll, pitch hoặc Yaw;

- Động cơ và trục bị dẫn tạo thành từng cặp như sau  $(M_1-R_1)$ ,  $(M_2-R_2)$ ,  $(M_3-R_3)$ ;

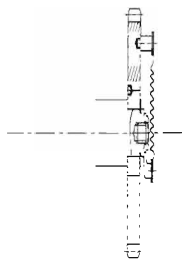
- Dù chỉ một trong ba động cơ hoạt động hoặc nhiều động cơ cùng hoạt động, bao giờ trục mang bánh răng Z5 và Z20 cũng quay vì trên trục này đặt lò xo tạo sức căng nhằm khử khe hở mặt bên, có thể thấy đó là đoạn đi chung của cả ba xích động học;

- Nếu tháo lò xo tạo tải đồng trục trên hình 8, có thể thấy ngay khe hở mặt bên ảnh hưởng trực tiếp đến độ rơ của khâu cuối một cách rõ ràng nếu cho bất cứ một động cơ nào hoạt động, nhất là ở thời điểm đảo chiều;

- Nếu trục  $R_1$  và  $R_3$  thẳng hàng khi  $R_2 = 0$ , kích hoạt các động cơ  $M_1$  và  $M_3$  sao cho  $R_1 = -R_3$  có thể thấy bàn kẹp giữ nguyên định hướng, điều này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết về cấu hình đặc biệt, hơn nữa có thể thấy cổ tay đã được điều chỉnh tốt nên hoàn toàn không có chuyển động  $R_2$  khi đảo chiều  $M_1$  và  $M_3$ .



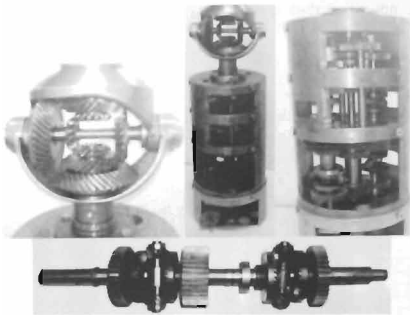
H.8(a)



H.8(a)

Hình 8: Sơ đồ động học hộp giảm tốc cổ tay hoàn chỉnh (a) và phương án tạo góc xoay đồng trục cho bánh răng Z20 (b)

Dưới đây là một số hình ảnh về kết cấu sau khi chế tạo hoàn chỉnh và các thông số chính của cổ tay nói trên.



Hình 9: Một số hình ảnh về mô đun cổ tay robot cấu

#### 4. KẾT LUẬN

Kiểu cổ tay robot đề cập trong bài báo này là một kết cấu đặc biệt, nó ứng dụng một nguyên lý cơ học độc đáo để đạt được hiệu quả công tác mà không cần trang bị các thành phần cơ điện tử. Đây là hướng ứng dụng vào các tay máy làm việc với tải trọng lớn hoặc những môi trường khó khăn trong việc bảo vệ các linh kiện điện tử.

Truyền động tuần hoàn công suất làm cho độ cứng xoắn cơ học tăng lên, kết cấu của cổ tay cho phép khử được khe hở cơ khí, chuyển động theo giữa các bậc tự do và cho phép truyền động xa tâm, tuy nhiên kết cấu phức tạp mang tính chuyên dụng làm giá thành tăng cao trong khi hiệu suất nhỏ vì xích động dài, đây là vấn đề cần cân nhắc khi ứng dụng. Kết quả thu được trên mô hình thực cũng cho thấy các liên kết động học trên sơ đồ theo phương pháp nhận dạng dựa vào mô hình toán là đúng đắn. ❖

Ngày nhận bài: 04/7/2012

Ngày phản biện: 12/7/2012

Người phản biện: PGS, TS. Trần Vệ Quốc

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Lorenzo Sciacivco, Bruno Siciliano; Modeling and Control of Robot manipulators; University of Naples, Naples, Italy, International Editions 1996.
- [2]. Vsevolod I. Krasnenkoe, Alexander D. Vashets. Thiết kế hệ bánh răng hành tinh cho các phương tiện giao thông, Nhà xuất bản chế tạo máy, Mátxcova 1986.
- [3]. Kudryavtsev V. N, Sổ tay bộ truyền bánh răng sóng và bánh răng hành tinh, Nhà xuất bản chế tạo máy, Mátxcova 1975.
- [4]. Я.А. ШИФРИНА(1982),ПРОМЫШЛЕННАЯ РОБОТО-ТЕХНИКА, МОСКВА "МАШИНОСТРОЕНИЕ"; 54-122С.