

**TRƯỜNG ĐH BÁCH KHOA HÀ NỘI**  
**VIỆN CƠ KHÍ**



**BÀI TIỂU LUẬN**

**Môn học : Tính toán thiết kế Robot**

**ĐỀ TÀI :**

*Tính toán thiết kế Robot hàn hồ quang*

**Giảng viên hướng dẫn : PGS.TS. PHAN BÙI KHÔI**

**Nhóm sinh viên thực hiện : Nhóm 1**

<b>NGUYỄN HUY HOÀNG</b>	<b>NGUYỄN VĂN THUẬN</b>
<b>PHẠM TIẾN LONG</b>	<b>ĐÀO VIỆT TÚ (NT)</b>
<b>LÊ ĐỨC NGUYỄN</b>	<b>LÊ CÔNG VINH</b>

*Hà nội, ngày 8/6/2015*



## Lời mở đầu

Có thể nói rằng Robot mang tới cho cuộc sống con người một cuộc sống mới, một cách trải nghiệm cuộc sống và đôi khi còn là người bạn. Những hãng Robot(RB) từ các nước nổi tiếng trên thế giới từ Đức, Nhật bản, Nga, Mỹ ngày một khẳng định sự hiện diện của RB là phần không thiếu trong cuộc sống hiện nay và tương lai của phía trước. Nó xuất hiện ở tất cả các lĩnh vực từ khoa học vĩ mô cho tới vi mô và ngày một đa dạng.

Trong khuôn khổ môn học **Tính toán thiết kế Robot** với đề tài tài **thiết kế Robot hàn đường cong trên mặt phẳng với kích thước cho trước**, nhóm tin tưởng rằng với những kết quả có được từ việc tìm hiểu và tính toán trong bài tiểu luận này sẽ là bước đệm quan trọng cho việc phát triển nhiều hơn nữa những ý tưởng trong tương lai về tính toán và thiết kế các loại Robot công nghiệp.

Với bố cục gồm hai phần chính :

### 1. Tổng quan về Robot

Phần này sẽ là cái nhìn sơ qua về Robot bao gồm lịch sử phát triển, phân loại và ứng dụng hiện nay giúp chúng ta hình dung tính quan trọng cũng như sự hữu dụng của nó tới cuộc sống.

### 2. Tính toán thiết kế Robot hàn hồ quang

Bao gồm các bước thiết kế cho đến việc mô phỏng để kiểm chứng tính đúng đắn của quá trình thiết kế sẽ cung cấp các quá trình cơ bản để có thể xác định cách có thể một sản phẩm Robot được đưa vào ứng dụng trong cuộc sống.

Nhóm xin gửi lời cảm ơn tới PGS. TS. Phan Bùi Khôi, cảm ơn Thầy vì những đóng góp qua những bài giảng và những hướng dẫn trong quá trình trao đổi ở các buổi học. Những góp ý, sửa chữa của thầy sẽ phần nào giúp nhóm tự tin hơn trong cách thức tiếp cận với nền công nghiệp hiện nay bởi mặc dù đã có những sự chuẩn bị của nhóm hoặc cũng có thể kiến thức nhóm mang đến trong bài tiểu luận này còn sai sót và chưa đúng. Nhóm rất mong có được sự bổ sung, sửa chữa đó, chúng em chân thành cảm ơn và chúc Thầy sức khoẻ !

*Nhóm sinh viên*



## MỤC LỤC

Lời mở đầu.....	2
MỤC LỤC.....	3
CHƯƠNG I. TỔNG QUAN VỀ ROBOT.....	6
1.1. Lịch sử hình thành và phát triển Robot .....	6
1.2. Một số định nghĩa và phân loại Robot công nghiệp.....	8
1.2.1. Định nghĩa Robot Công nghiệp.....	8
1.2.2. Bậc tự do của Robot .....	8
1.2.3. Hệ toạ độ (Coordinate frames) .....	9
1.2.4. Trường công tác của robot (Workspace or Range of motion).....	10
1.2.5. Cấu trúc cơ bản của Robot công nghiệp.....	10
1.2.6. Phân loại Robot công nghiệp.....	12
1.3. Các ứng dụng của Robot .....	12
CHƯƠNG II. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ ROBOT HÀN HỒ QUANG.....	13
2.1. Phân tích và lựa chọn cấu trúc.....	13
2.1.1. Số bậc tự do cần thiết ?.....	13
2.1.2. Các phương án thiết kế.....	15
2.1.3. Lựa chọn cấu trúc thiết kế .....	16
2.2. Bài toán động học .....	18
2.2.1 Tham số động học .....	18
2.2.2 Cơ sở lý thuyết.....	19
2.2.3 Giải bài toán cụ thể Sơ đồ động học: .....	23
2.3. Bài toán tĩnh học.....	32
2.3.1. Cơ sở lý thuyết.....	33
2.3.2. Giải bài toán cụ thể.....	34
2.4. Tính toán động lực học.....	36
2.4.1 Tham số động lực học Robot.....	36
2.4.2 Thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động của Robot dạng thức .....	37
2.4.3 Thiết lập phương trình Lagrange II dạng ma trận .....	38
2.5. Thiết kế hệ dẫn động Robot.....	41



❖ Giới thiệu một số hệ dẫn động hay dùng trong robot công nghiệp .....	41
2.5.1.Tính toán hệ dẫn động .....	43
2.5.2.Chọn động cơ.....	45
2.5.3.Thiết kế bộ truyền bánh răng cho khớp 1 .....	48
2.5.4 Tính toán thiết kế bộ truyền bánh răng.....	54
2.5.5 Kiểm nghiệm bộ truyền bánh răng .....	56
2.5.6 Tính toán thiết kế khớp nối.....	61
2.5.7 Tính toán thiết kế trục.....	64
2.5.8 Chọn ổ lăn.....	74
2.5.9. Kiểm nghiệm bền các khâu Robot.....	77
2.6. Thiết kế hệ thống điều khiển .....	80
2.6.1. Chọn luật điều khiển.....	80
2.6.2. Mô phỏng bằng Matlab Simulink - SimMechanics.....	90
CHƯƠNG III. KẾT LUẬN.....	95
✓ Những kết quả có được .....	95
✓ Định hướng phát triển tương lai.....	95
Tài liệu tham khảo .....	96



## Bảng phân công nhiệm vụ

STT	Tên	MSSV	Công việc	Hiệu suất
1	Đào Việt Tú <Nhóm trưởng>	20110732	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tính toán động lực học</li> <li>- Thiết kế và mô phỏng bộ điều khiển PD bù trọng lực với Simulink</li> <li>- Chuẩn bị bản vẽ, thuyết minh</li> </ul>	100%
7	Nguyễn Văn Thuận	20110841	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tính toán động học</li> <li>- Mô phỏng bài toán điều khiển bằng SimMechanics</li> <li>- Thiết kế bản vẽ, biên tập bản thuyết minh từ kết quả các thành viên.</li> </ul>	100%
3	Nguyễn Huy Hoàng	20110362	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phân tích và lựa chọn cấu trúc</li> <li>- Thiết kế hệ thống dẫn động</li> </ul>	100%
4	Nguyễn Đức Nguyên	20110568	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tính toán Động học</li> <li>- Tính toán Tĩnh học</li> <li>- Kiểm nghiệm bền các khâu</li> </ul>	100%
5	Phạm Tiến Long	20110483	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Giải bài toán Động học</li> </ul>	100%
6	Lê Công Vinh	20110985	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phân tích và lựa chọn cấu trúc</li> <li>- Thiết kế hệ thống dẫn động</li> </ul>	100%



## CHƯƠNG I. TỔNG QUAN VỀ ROBOT

### 1.1. Lịch sử hình thành và phát triển Robot

Thuật ngữ “Robot” xuất phát từ tiếng CH Séc (Czech) “Robota” có nghĩa là công việc tạp dịch trong vở kịch Rossum’s Universal Robots của Karel Capek, vào năm 1921. Trong vở kịch này, Rossum và con trai của ông ta đã chế tạo ra những chiếc máy gần giống với con người để phục vụ con người. Có lẽ đó là một gợi ý ban đầu cho các nhà sáng chế kỹ thuật về những cơ cấu, máy móc bắt chước các hoạt động cơ bắp của con người.

Đầu thập kỷ 60, công ty Mỹ AMF (American Machine and Foundry Company) quảng cáo một loại máy tự động vận năng và gọi là “Người máy công nghiệp” (Industrial Robot). Ngày nay người ta đặt tên người máy công nghiệp (hay robot công nghiệp) cho những loại thiết bị có dáng dấp và một vài chức năng như tay người được điều khiển tự động để thực hiện một số thao tác sản xuất.

Về mặt kỹ thuật, những robot công nghiệp ngày nay, có nguồn gốc từ hai lĩnh vực kỹ thuật ra đời sớm hơn đó là các cơ cấu điều khiển từ xa (Teleoperators) và các máy công cụ điều khiển số (NC - Numerically Controlled machine tool).

Các cơ cấu điều khiển từ xa (hay các thiết bị kiểu chủ-tớ) đã phát triển mạnh trong chiến tranh thế giới lần thứ hai nhằm nghiên cứu các vật liệu phóng xạ. Người thao tác được tách biệt khỏi khu vực phóng xạ bởi một bức tường có một hoặc vài cửa quan sát để có thể nhìn thấy được công việc bên trong. Các cơ cấu điều khiển từ xa thay thế cho cánh tay của người thao tác; nó gồm có một bộ kẹp ở bên trong (tớ) và hai tay cầm ở bên ngoài (chủ). Cả hai, tay cầm và bộ kẹp, được nối với nhau bằng một cơ cấu sáu bậc tự do để tạo ra các vị trí và hướng tùy ý của Tay cầm và bộ kẹp. Cơ cấu dùng để điều khiển bộ kẹp theo chuyển động của tay cầm.

Vào khoảng năm 1949, các máy công cụ điều khiển số ra đời, nhằm đáp ứng yêu cầu gia công các chi tiết trong ngành chế tạo máy bay. Những robot đầu tiên thực chất là sự nối kết giữa các khâu cơ khí của cơ cấu điều khiển từ xa với khả năng lập trình của máy công cụ điều khiển số.

Dưới đây chúng ta sẽ đi qua một số thời điểm lịch sử phát triển của người máy công nghiệp. Một trong những robot công nghiệp đầu tiên được chế tạo là robot Versatran của công ty AMF, Mỹ. Cũng vào khoảng thời gian này ở Mỹ xuất hiện loại robot Unimate ur1900 được dùng đầu tiên trong kỹ nghệ ô tô.

Tiếp theo Mỹ, các nước khác bắt đầu sản xuất robot công nghiệp: Anh 1967, Thụy Điển và Nhật 1968 theo bản quyền của Mỹ; CHLB Đức -1971; Pháp - 1972; ở Ý - 1973. . .



Tính năng làm việc của robot ngày càng được nâng cao, nhất là khả năng nhận biết và xử lý. Năm 1967 ở trường Đại học tổng hợp Stanford (Mỹ) đã chế tạo ra mẫu robot hoạt động theo mô hình “mắt-tay”, có khả năng nhận biết và định hướng bàn kẹp theo vị trí vật kẹp nhờ các cảm biến. Năm 1974 Công ty Mỹ Cincinnati đưa ra loại robot được điều khiển bằng máy vi tính, gọi là robot T3 (The Tomorrow Tool: Công cụ của tương lai). Robot này có thể nâng được vật có khối lượng đến 40 KG.

Có thể nói, Robot là sự tổ hợp khả năng hoạt động linh hoạt của các cơ cấu điều khiển từ xa với mức độ “tri thức” ngày càng phong phú của hệ thống điều khiển theo chương trình số cũng như kỹ thuật chế tạo các bộ cảm biến, công nghệ lập trình và các phát triển của trí khôn nhân tạo, hệ chuyên gia...

Trong những năm sau này, việc nâng cao tính năng hoạt động của robot không ngừng phát triển. Các robot được trang bị thêm các loại cảm biến khác nhau để nhận biết môi trường chung quanh, cùng với những thành tựu to lớn trong lĩnh vực Tin học - Điện tử đã tạo ra các thế hệ robot với nhiều tính năng đặc biệt, Số lượng robot ngày càng gia tăng, giá thành ngày càng giảm. Nhờ vậy, robot công nghiệp đã có vị trí quan trọng trong các dây chuyền sản xuất hiện đại.

Một vài số liệu về số lượng robot được sản xuất ở một vài nước công nghiệp phát triển như sau:

<b>Nước SX</b>	<b>Năm 1990</b>	<b>Năm 1994</b>	<b>Năm 1998</b>
Nhật	66.118	29.756	67000
Mỹ	4.237	7.634	11000
Đức	5.845	5.125	8.600
Ý	2.500	2.408	4000
Pháp	1.448	1.197	2000
Anh	510	1086	1500
Hàn Quốc	1000	1200	

Mỹ là nước đầu tiên phát minh ra Robot nhưng nước phát triển cao nhất trong lĩnh vực nghiên cứu chế tạo sử dụng lại là Nhật Bản



## 1.2. Một số định nghĩa và phân loại Robot công nghiệp

### 1.2.1. Định nghĩa Robot Công nghiệp

Định nghĩa theo tiêu chuẩn AFNOR (Pháp): Robot công nghiệp là một cơ cấu chuyển động tự động có thể lập trình, lặp lại các chương trình, tổng hợp các chương trình đặt ra trên các trục tọa độ; có khả năng định vị, định hướng, di chuyển các đối tượng vật chất: chi tiết, dao cụ, gá lắp . . . theo những hành trình thay đổi đã chương trình hoá nhằm thực hiện các nhiệm vụ công nghệ khác nhau.

Định nghĩa theo RIA (Robot institute of America): Robot là một tay máy vạn năng có thể lập lại các chương trình được thiết kế để di chuyển vật liệu, chi tiết, dụng cụ hoặc các thiết bị chuyên dùng thông qua các chương trình chuyển động có thể thay đổi để hoàn thành các nhiệm vụ khác nhau.

Định nghĩa theo GOCT 25686-85 (Nga): Robot công nghiệp là một máy tự động, được đặt cố định hoặc di động được, liên kết giữa một tay máy và một hệ thống điều khiển theo chương trình, có thể lập trình lại để hoàn thành các chức năng vận động và điều khiển trong quá trình sản xuất.

Có thể nói Robot công nghiệp là một máy tự động linh hoạt thay thế từng phần hoặc toàn bộ các hoạt động cơ bắp và hoạt động trí tuệ của con người trong nhiều khả năng thích nghi khác nhau.

Robot công nghiệp có khả năng chương trình hoá linh hoạt trên nhiều trục chuyển động, biểu thị cho số bậc tự do của chúng. Robot công nghiệp được trang bị những bàn tay máy hoặc các cơ cấu chấp hành, giải quyết những nhiệm vụ xác định trong các quá trình công nghệ : hoặc trực tiếp tham gia thực hiện các nguyên công (sơn, hàn, phun phủ, rót kim loại vào khuôn đúc, lắp ráp máy . . .) hoặc phục vụ các quá trình công nghệ (tháo lắp chi tiết gia công, dao cụ, đồ gá . . .) với những thao tác cầm nắm, vận chuyển và trao đổi các đối tượng với các trạm công nghệ, trong một hệ thống máy tự động linh hoạt, được gọi là “Hệ thống tự động linh hoạt robot hoá” cho phép thích ứng nhanh và thao tác đơn giản khi nhiệm vụ sản xuất thay đổi.

### 1.2.2. Bậc tự do của Robot

Bậc tự do là số khả năng chuyển động của một cơ cấu (chuyển động quay hoặc tịnh tiến). Để dịch chuyển được một vật thể trong không gian, cơ cấu chấp hành của robot phải đạt được một số bậc tự do. Nói chung cơ hệ của robot là một cơ cấu hở, do đó bậc tự do của nó có thể tính theo công thức:

$$w = 6n - \sum_{i=1}^5 ip_i$$

Ở đây: n - Số khâu động;

$p_i$  - Số khớp loại i ( $i = 1, 2, \dots, 5$  : Số bậc tự do bị hạn chế).

Đối với các cơ cấu có các khâu được nối với nhau bằng khớp quay hoặc tịnh

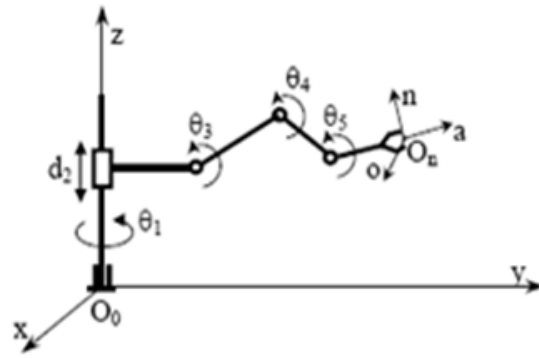


tiến (khớp động loại 5) thì số bậc tự do bằng với số khâu động... Đối với cơ cấu hờ, số bậc tự do bằng tổng số bậc tự do của các khớp động.

Để định vị và định hướng khâu chấp hành cuối một cách tùy ý trong không gian 3 chiều robot cần có 6 bậc tự do, trong đó 3 bậc tự do để định vị và 3 bậc tự do để định hướng. Một số công việc đơn giản nâng hạ, sắp xếp... có thể yêu cầu số bậc tự do ít hơn. Các robot hàn, sơn... thường yêu cầu 6 bậc tự do. Trong một số trường hợp cần sự khéo léo, linh hoạt hoặc khi cần phải tối ưu hoá quỹ đạo... người ta dùng robot với số bậc tự do lớn hơn 6.

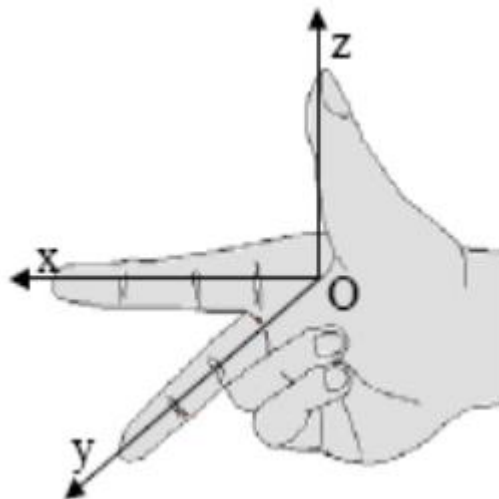
### 1.2.3. Hệ tọa độ (Coordinate frames)

Mỗi robot thường bao gồm nhiều khâu (links) liên kết với nhau qua các khớp (joints), tạo thành một xích động học xuất phát từ một khâu cơ bản (base) đứng yên. Hệ tọa độ gắn với khâu cơ bản gọi là hệ tọa độ cơ bản (hay hệ tọa độ chuẩn). Các hệ tọa độ trung gian khác gắn với các khâu động gọi là hệ tọa độ suy rộng. Trong từng thời điểm hoạt động, các tọa độ suy rộng xác định cấu hình của robot bằng các chuyển dịch dài hoặc các chuyển dịch góc của các khớp tịnh tiến hoặc khớp quay. Các tọa độ suy rộng còn được gọi là biến khớp



Hình 1.1. Hệ tọa độ suy rộng của Robot

Các hệ tọa độ gắn trên các khâu của robot phải tuân theo qui tắc bàn tay phải: Dùng tay phải, nắm hai ngón tay út và áp út vào lòng bàn tay, xoay 3 ngón : cái, trỏ và giữa theo 3 phương vuông góc nhau, nếu chọn ngón cái là phương và chiều của trục z, thì ngón trỏ chỉ phương, chiều của trục x và ngón giữa sẽ biểu thị phương, chiều của trục y.

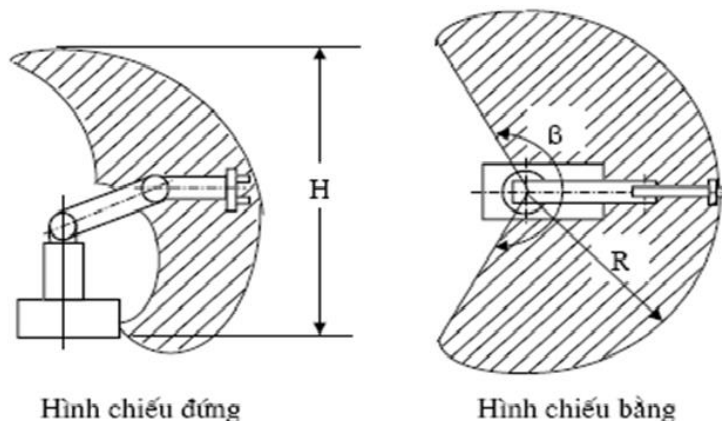


Hình 1.2. Quy tắc bàn tay phải

Trong robot ta thường dùng chữ O và chỉ số n để chỉ hệ tọa độ gắn trên khâu thứ n. Như vậy hệ tọa độ cơ bản (Hệ tọa độ gắn với khâu cố định) sẽ được ký hiệu là  $O_0$ ; hệ tọa độ gắn trên các khâu trung gian tương ứng sẽ là  $O_1, O_2, \dots, O_{n-1}$ , Hệ tọa độ gắn trên khâu chấp hành cuối ký hiệu là  $O_n$ .

#### 1.2.4. Trường công tác của robot (Workspace or Range of motion)

Trường công tác (hay vùng làm việc, không gian công tác) của robot là toàn bộ thể tích được quét bởi khâu chấp hành cuối khi robot thực hiện tất cả các chuyển động có thể. Trường công tác bị ràng buộc bởi các thông số hình học của robot cũng như các ràng buộc cơ học của các khớp; ví dụ, một khớp quay có chuyển động nhỏ hơn một góc  $360^\circ$ . Người ta thường dùng hai hình chiếu để mô tả trường công tác của một robot (hình 1.3).



Hình 1.3. Biểu diễn không gian thao tác của Robot

#### 1.2.5. Cấu trúc cơ bản của Robot công nghiệp

##### 1.2.5.1. Các thành phần chính của Robot công nghiệp

Một robot công nghiệp thường bao gồm các thành phần chính như : cánh tay robot,

nguồn động lực, dụng cụ gắn lên khâu chấp hành cuối, các cảm biến, bộ điều khiển, thiết bị dạy học, máy tính ... các phần mềm lập trình cũng nên được coi là một thành phần của hệ thống robot.

Cánh tay robot (tay máy) là kết cấu cơ khí gồm các khâu liên kết với nhau bằng các khớp động để có thể tạo nên những chuyển động cơ bản của robot.

Nguồn động lực là các động cơ điện (một chiều hoặc động cơ bước), các hệ thống xy lanh khí nén, thủy lực để tạo động lực cho tay máy hoạt động.

Dụng cụ thao tác được gắn trên khâu cuối của robot, dụng cụ của robot có thể có nhiều kiểu khác nhau như: dạng bàn tay để nắm bắt đối tượng hoặc các công cụ làm việc như mỏ hàn, đá mài, đầu phun sơn...

Thiết bị dạy-học (Teach-Pendant) dùng để dạy cho robot các thao tác cần thiết theo yêu cầu của quá trình làm việc, sau đó robot tự lặp lại các động tác đã được dạy để làm việc (phương pháp lập trình kiểu dạy học).

Các phần mềm để lập trình và các chương trình điều khiển robot được cài đặt trên máy tính, dùng điều khiển robot thông qua bộ điều khiển (Controller). Bộ điều khiển còn được gọi là Modul điều khiển (hay Unit, Driver), nó thường được kết nối với máy tính. Một modul điều khiển có thể còn có các cổng Vào - Ra (I/O port) để làm việc với nhiều thiết bị khác nhau như các cảm biến giúp robot nhận biết trạng thái của bản thân, xác định vị trí của đối tượng làm việc hoặc các dò tìm khác; điều khiển các băng tải hoặc cơ cấu cấp phối hoạt động phối hợp với robot...



### 1.2.5.2. Kết cấu của tay máy

Như đã nói trên, tay máy là thành phần quan trọng, nó quyết định khả năng làm việc của robot. Các kết cấu của nhiều tay máy được phỏng theo cấu tạo và chức năng của tay người; tuy nhiên ngày nay, tay máy được thiết kế rất đa dạng, nhiều cánh tay robot có hình dáng rất khác xa cánh tay người. Trong thiết kế và sử dụng tay máy, chúng ta cần quan tâm đến các thông số hình - động học, là những thông số liên quan đến khả năng làm việc của robot như: tầm với (hay trường công tác), số bậc tự do (thể



hiện sự khéo léo linh hoạt của robot), độ cứng vững, tải trọng vật nâng, lực kẹp . . .

Các khâu của robot thường thực hiện hai chuyển động cơ bản:

- Chuyển động tịnh tiến theo hướng x, y, z trong không gian Descartes, thông thường tạo nên các hình khối
- Chuyển động xoay theo các trục x, y, z trong không gian.
- Các chuyển động này thường ký hiệu là T (Translation) hoặc P (Prismatic).

### 1.2.6. Phân loại Robot công nghiệp

Robot công nghiệp rất phong phú đa dạng, có thể được phân loại theo các cách sau:

#### 1.2.6.1. Phân loại theo kết cấu

Theo kết cấu của tay máy người ta phân thành robot kiểu tọa độ Đề các, Kiểu tọa độ trụ, kiểu tọa độ cầu, kiểu tọa độ góc, robot kiểu SCARA như đã trình bày ở trên.

#### 1.2.6.2. Phân loại theo hệ thống truyền động

Có các dạng truyền động phổ biến là:

- Hệ truyền động điện: Thường dùng các động cơ điện 1 chiều (DC: Direct Current) hoặc các động cơ bước (step motor). Loại truyền động này dễ điều khiển, kết cấu gọn.
- Hệ truyền động thủy lực: có thể đạt được công suất cao, đáp ứng những điều kiện làm việc nặng. Tuy nhiên hệ thống thủy lực thường có kết cấu cồng kềnh, tồn tại độ phi tuyến lớn khó xử lý khi điều khiển.
- Hệ truyền động khí nén: có kết cấu gọn nhẹ hơn do không cần dẫn ngược nhưng lại phải gắn liền với trung tâm tạo ra khí nén. Hệ này làm việc với công suất trung bình và nhỏ, kém chính xác, thường chỉ thích hợp với các robot hoạt động theo chương trình định sẵn với các thao tác đơn giản “nhấc lên - đặt xuống” (Pick and Place or PTP: Point To Point).

#### 1.2.6.3. Phân loại theo ứng dụng

Dựa vào ứng dụng của robot trong sản xuất có Robot sơn, robot hàn, robot lắp ráp, robot chuyển phôi .v.v...

#### 1.2.6.4. Phân loại theo cách thức và đặc trưng của phương pháp điều khiển

Robot điều khiển kín (hay điều khiển servo): sử dụng cảm biến, mạch phản hồi để tăng độ chính xác và mức độ linh hoạt khi điều khiển.

## 1.3. Các ứng dụng của Robot

Từ khi mới ra đời robot công nghiệp được áp dụng trong nhiều lĩnh vực dưới góc độ thay thế sức người. Nhờ vậy các dây chuyền sản xuất được tổ chức lại, năng suất và hiệu quả sản xuất tăng lên rõ rệt.

Mục tiêu ứng dụng robot công nghiệp nhằm góp phần nâng cao năng suất dây chuyền công nghệ, giảm giá thành, nâng cao chất lượng và khả năng cạnh tranh của sản phẩm đồng thời cải thiện điều kiện lao động. Đạt được các mục tiêu trên là nhờ



vào những khả năng to lớn của robot như : làm việc không biết mệt mỏi, rất dễ dàng chuyển nghề một cách thành thạo, chịu được phóng xạ và các môi trường làm việc độc hại, nhiệt độ cao, “cảm thấy” được cả từ trường và “nghe” được cả siêu âm ... Robot được dùng thay thế con người trong các trường hợp trên hoặc thực hiện các công việc tuy không nặng nhọc nhưng đơn điệu, dễ gây mệt mỏi, nhầm lẫn.

Trong ngành cơ khí, robot được sử dụng nhiều trong công nghệ đúc, công nghệ hàn, cắt kim loại, sơn, phun phủ kim loại, tháo lắp vận chuyển phôi, lắp ráp sản phẩm .

..

Ngày nay đã xuất hiện nhiều dây chuyền sản xuất tự động gồm các máy CNC với Robot công nghiệp, các dây chuyền đó đạt mức tự động hoá cao, mức độ linh hoạt cao ... ở đây các máy và robot được điều khiển bằng cùng một hệ thống chương trình.

Ngoài các phân xưởng, nhà máy, kỹ thuật robot cũng được sử dụng trong việc khai thác thêm lục địa và đại dương, trong y học, sử dụng trong quốc phòng, trong chinh phục vũ trụ, trong công nghiệp nguyên tử, trong các lĩnh vực xã hội . . .

Rõ ràng là khả năng làm việc của robot trong một số điều kiện vượt hơn khả năng của con người; do đó nó là phương tiện hữu hiệu để tự động hoá, nâng cao năng suất lao động, giảm nhẹ cho con người những công việc nặng nhọc và độc hại. Nhược điểm lớn nhất của robot là chưa linh hoạt như con người, trong dây chuyền tự động, nếu có một robot bị hỏng có thể làm ngừng hoạt động của cả dây chuyền, cho nên robot vẫn luôn hoạt động dưới sự giám sát của con người

## CHƯƠNG II. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ ROBOT HÀN HỒ QUANG

### 2.1. Phân tích và lựa chọn cấu trúc

#### 2.1.1. Số bậc tự do cần thiết ?

Đề bài yêu cầu tính toán thiết kế Robot hàn hồ quang đảm bảo thực hiện môi hàn có dạng đường cong trên mặt phẳng thẳng đứng với kích thước môi hàn : dài\*cao = 40cm\*30cm .

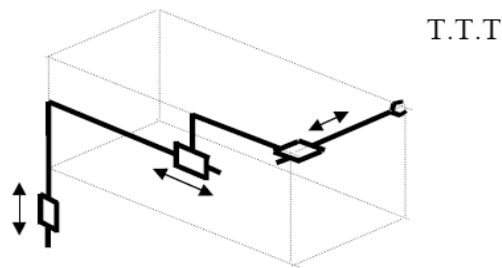
Ta có thể lập luận rằng :

Để khâu thao tác có thể di chuyển được trên mặt phẳng thẳng đứng kia yêu cầu ít nhất sẽ phải có 2 bậc tự do cho việc di chuyển. Tuy nhiên nếu chỉ với hai bậc tự do kia thì đối tượng sẽ phải di chuyển tới robot đến vị trí thích hợp mới có thể đảm bảo thực hiện được môi hàn, như vậy yêu cầu tính linh hoạt của robot trong việc tiếp cận (việc vào/ ra mặt phẳng làm việc) thì yêu cầu thêm 1 bậc tự do nữa.

✓ phải có ít nhất 3 bậc tự do cho mô hình thiết kế

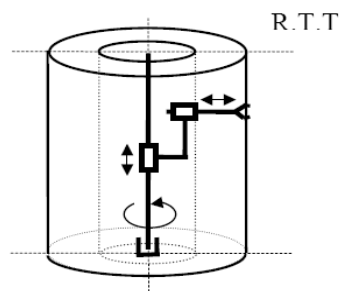
Dưới đây là một số cơ cấu có thể dùng để xác định các vị trí trong mặt phẳng làm việc.

**Cơ cấu robot tọa độ Decac:** Là tay máy có 3 chuyển động cơ bản tịnh tiến theo phương của các trục hệ tọa độ gốc (cấu hình TTT). Không gian làm việc của bàn tay có dạng khối chữ nhật.



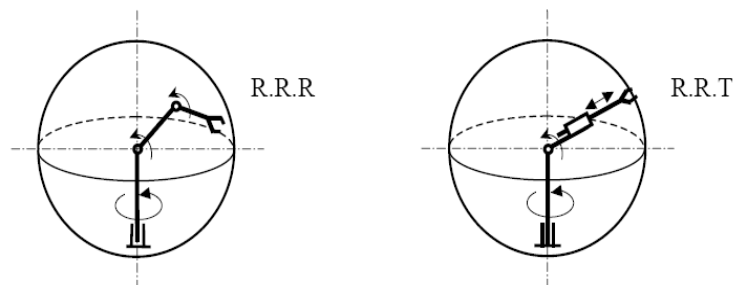
Hình 2.1 Cơ cấu tọa độ Decac

**Cơ cấu robot tọa độ trụ:** Không gian làm việc của robot có dạng hình trụ rỗng. Thường khớp thứ nhất là chuyển động quay.



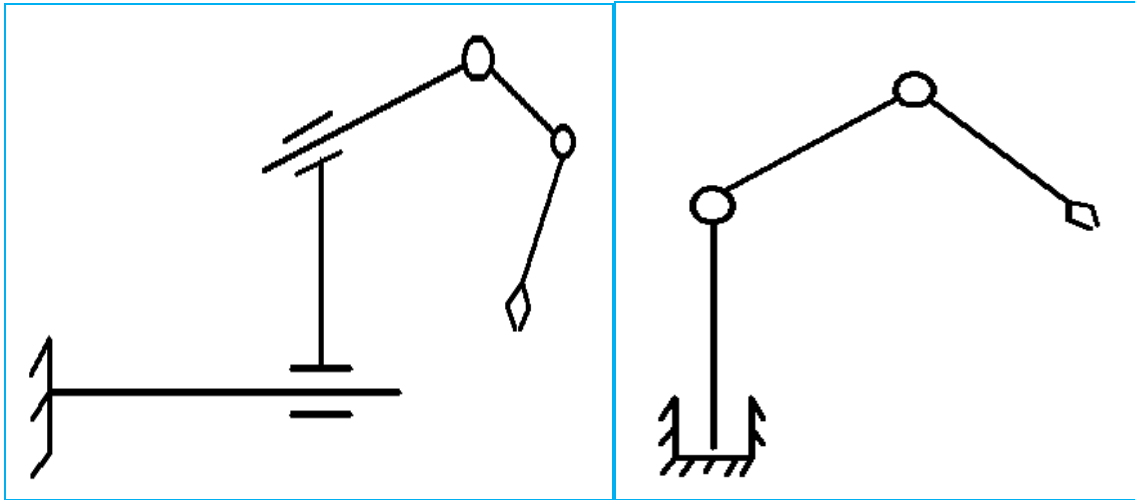
Hình 2.2 Cơ cấu tọa độ trụ

**Cơ cấu robot tọa độ cầu:** Không gian làm việc của robot có dạng hình cầu.



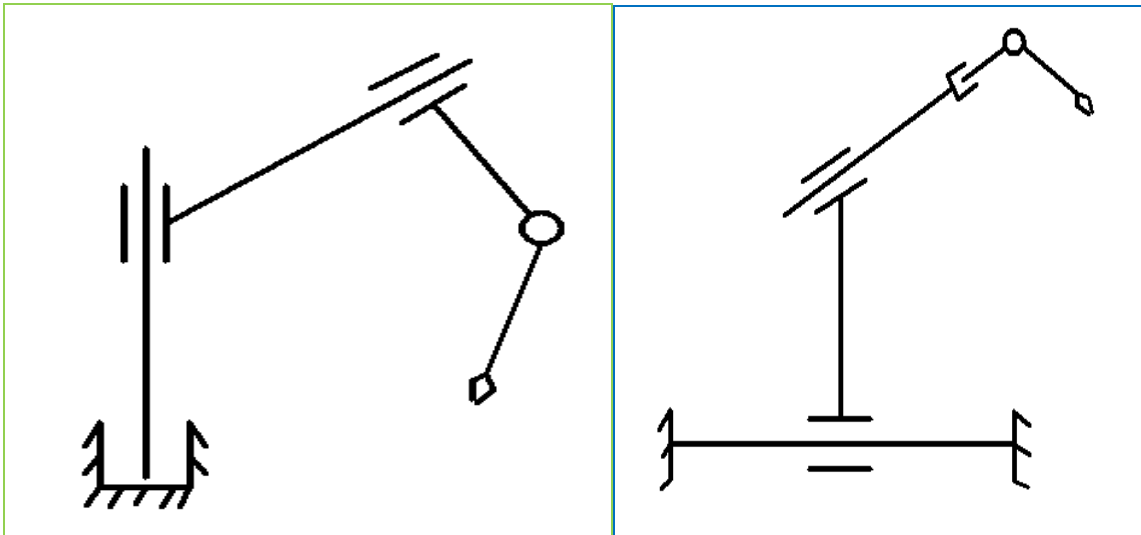
Hình 2.3: Cơ cấu tọa độ cầu

2.1.2. Các phương án thiết kế



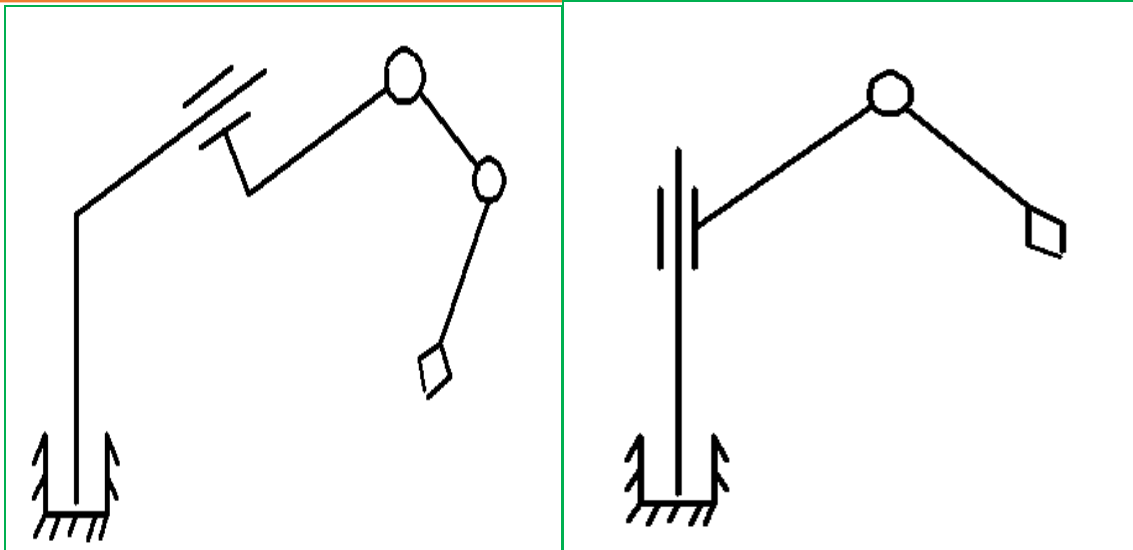
Phương án 1: Robot 4DOF TTRR

Phương án 2 : Robot 3DOF RRR



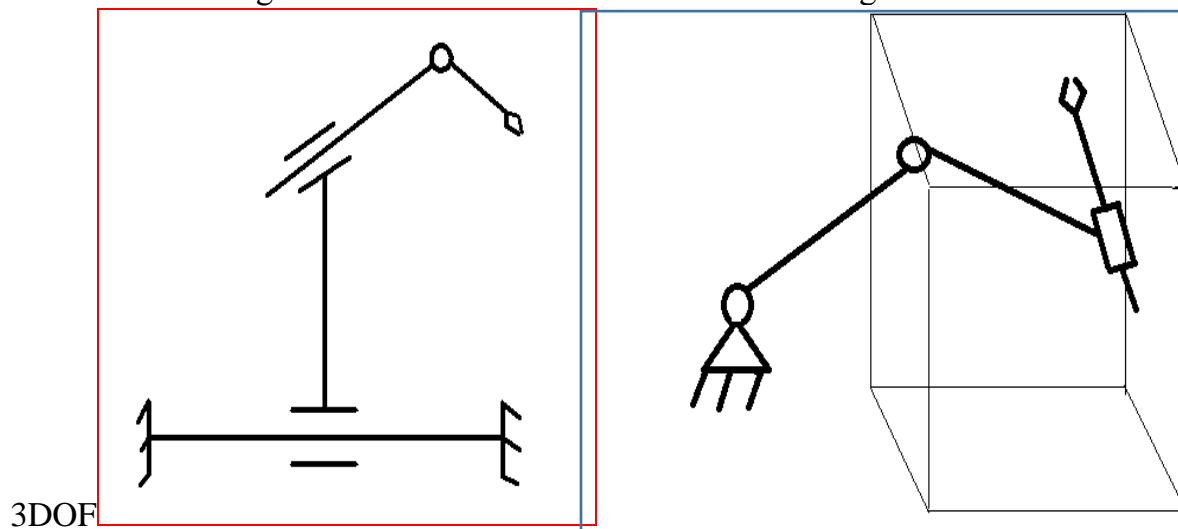
Phương án 3: Robot 3DOF RRT

Phương án 4: Robot 4DOF TTRR



Phương án 5: Robot 4DOF RTRR

Phương án 6: Robot



3DOF

Phương án 7 : Robot 3DOF TTR

Phương án 8 : Robot 3DOF RRT

### 2.1.3. Lựa chọn cấu trúc thiết kế

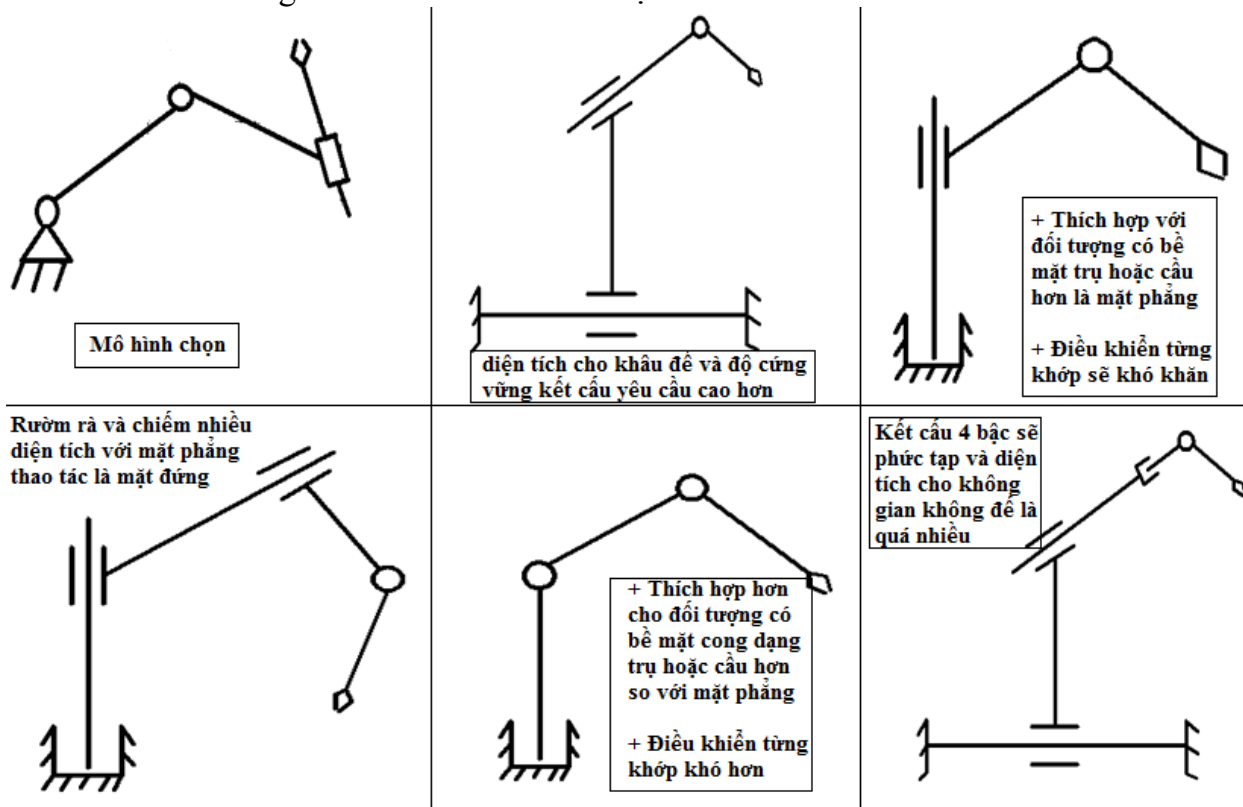
Với kết cấu 4, 5, 6 bậc tự do, Robot sẽ trở nên linh hoạt hơn tuy nhiên việc tính toán thiết kế và chế tạo cũng phức tạp hơn. Một phần nhu cầu bài toán đặt ra không cần góc nghiêng của mỏ hàn tới đối tượng do đó các phương án trên sẽ làm phức tạp thêm nhiều tổn kém.

Để tiết kiệm về mặt kinh tế nhưng vẫn đảm bảo được các yêu cầu của bài toán đặt ra, ta lựa chọn phương án thiết kế Robot 3 bậc tự do ( phương án số 8 ) có 2 khâu quay xác định vị trí và bao quát các điểm trên mặt phẳng, một khâu cuối chuyển động tịnh tiến để xác định tọa độ theo chiều cao mỗi hàn hay điều chỉnh sự vào ra linh hoạt của mỏ hàn tránh và chạm trong môi trường làm việc. Do đó việc lựa án này hoàn toàn chọn phương toàn



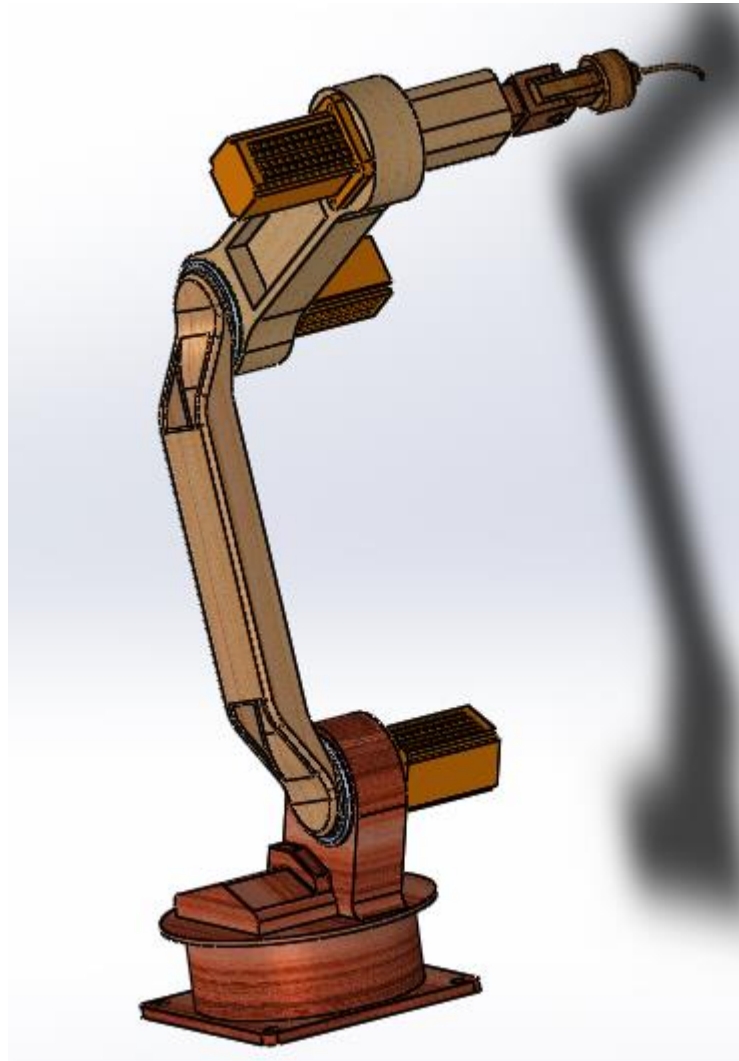
thỏa mãn yêu cầu bài toán khi cần thao tác trên mặt phẳng với hướng mỗi hàn có dạng đường cong trên mặt phẳng thẳng đứng

- ✓ Ưu điểm của phương án so với các phương án khác
- Với phương án thiết kế này sẽ rất tối ưu với
  - Diện tích cho khâu để thực sự tiết kiệm
  - Dễ dàng thực hiện với đối tượng nằm trên mặt phẳng đứng
  - Xây dựng hệ thống điều khiển các khớp dễ dàng thuận tiện và gần như có thể độc lập
  - Kết cấu đơn giản đảm bảo tính linh hoạt



Hình 2.4. Ưu điểm của phương án thiết kế so với các phương án khác

Mô hình 3D sơ bộ của Robot được thiết kế như sau



Hình 2.5. Mô hình 3D sơ bộ của Robot được thiết kế như sau

## 2.2. Bài toán động học

### 2.2.1 Tham số động học

Cho :

- $a_1 = 0.42(\text{m})$
- $a_2 = 0.32(\text{m})$
- $d_1 = 0 (\text{m})$
- $d_2 = 0 (\text{m})$



## 2.2.2 Cơ sở lý thuyết

### 3.2.2.1 Bài toán động học thuận

Với bài toán động học thuận thì các biến khớp đã biết, yêu cầu tìm vị trí của khâu thao tác

#### Các bước giải bài toán :

- Thiết lập ma trận trạng thái khâu thao tác theo cấu trúc động học:

Từ hệ tọa độ Denavit-Hartenberg và các tham số động học ta thiết lập được ma trận biến đổi tọa độ thuần nhất  ${}^0A_n$  biểu diễn trạng thái khâu cuối E

$${}^0A_n = \begin{bmatrix} c_{11}(q) & c_{12}(q) & c_{13}(q) & x(q) \\ c_{21}(q) & c_{22}(q) & c_{23}(q) & y(q) \\ c_{31}(q) & c_{32}(q) & c_{33}(q) & z(q) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Thiết lập ma trận trạng thái khâu thao tác theo tọa độ khâu thao tác

Thiết lập ma trận trạng thái khâu thao tác dựa trên:

- Tọa độ của khâu thao tác:  
 ${}^0\mathbf{r}_E = [x_E, y_E, z_E]^T$
- Hướng của khâu thao tác: ta sử dụng các góc Cardan

$${}^0\mathbf{R}_n = \begin{bmatrix} c_{11}(\alpha, \beta, \eta) & c_{12}(\alpha, \beta, \eta) & c_{13}(\alpha, \beta, \eta) \\ c_{21}(\alpha, \beta, \eta) & c_{22}(\alpha, \beta, \eta) & c_{23}(\alpha, \beta, \eta) \\ c_{31}(\alpha, \beta, \eta) & c_{32}(\alpha, \beta, \eta) & c_{33}(\alpha, \beta, \eta) \end{bmatrix}$$

$$\rightarrow \text{Ma trận : } {}^0A_n(x_E, y_E, z_E, \alpha, \beta, \eta) = \begin{bmatrix} c_{11}(\alpha, \beta, \eta) & c_{12}(\alpha, \beta, \eta) & c_{13}(\alpha, \beta, \eta) & x_E \\ c_{21}(\alpha, \beta, \eta) & c_{22}(\alpha, \beta, \eta) & c_{23}(\alpha, \beta, \eta) & y_E \\ c_{31}(\alpha, \beta, \eta) & c_{32}(\alpha, \beta, \eta) & c_{33}(\alpha, \beta, \eta) & z_E \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Phương trình động học Robot

$${}^0A_n(t) = {}^0A_n(q)$$

$$\begin{bmatrix} c_{11}(\alpha, \beta, \eta) & c_{12}(\alpha, \beta, \eta) & c_{13}(\alpha, \beta, \eta) & x_E \\ c_{21}(\alpha, \beta, \eta) & c_{22}(\alpha, \beta, \eta) & c_{23}(\alpha, \beta, \eta) & y_E \\ c_{31}(\alpha, \beta, \eta) & c_{32}(\alpha, \beta, \eta) & c_{33}(\alpha, \beta, \eta) & z_E \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11}(q) & c_{12}(q) & c_{13}(q) & x(q) \\ c_{21}(q) & c_{22}(q) & c_{23}(q) & y(q) \\ c_{31}(q) & c_{32}(q) & c_{33}(q) & z(q) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

➤ Từ đó ta có vị trí điểm tác động cuối và hướng của khâu cuối



Vị trí điểm tác động cuối:

$$\begin{cases} x_E = x(q) \\ y_E = y(q) \\ z_E = z(q) \end{cases}$$

Hướng của khâu cuối:

- Được xác định từ việc so sánh hai ma trận

$$\begin{bmatrix} c_{11}(\alpha, \beta, \eta) & c_{12}(\alpha, \beta, \eta) & c_{13}(\alpha, \beta, \eta) \\ c_{21}(\alpha, \beta, \eta) & c_{22}(\alpha, \beta, \eta) & c_{23}(\alpha, \beta, \eta) \\ c_{31}(\alpha, \beta, \eta) & c_{32}(\alpha, \beta, \eta) & c_{33}(\alpha, \beta, \eta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11}(q) & c_{12}(q) & c_{13}(q) \\ c_{21}(q) & c_{22}(q) & c_{23}(q) \\ c_{31}(q) & c_{32}(q) & c_{33}(q) \end{bmatrix}$$

➤ Vận tốc và vận tốc góc điểm tác động cuối



Vận tốc

$$\text{Ta có: } \mathbf{r}_E = \begin{bmatrix} x_E \\ y_E \\ z_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(q) \\ y(q) \\ z(q) \end{bmatrix}$$

Từ đó ta có vận tốc điểm tác động cuối E:

$$\mathbf{v}_E = \dot{\mathbf{r}}_E = \begin{bmatrix} \dot{x}_E \\ \dot{y}_E \\ \dot{z}_E \end{bmatrix} = \mathbf{J}_{TE} \cdot \dot{\mathbf{q}}$$



Vận tốc góc:



$$\text{Ta có : } R = \begin{bmatrix} c_{11}(q) & c_{12}(q) & c_{13}(q) \\ c_{21}(q) & c_{22}(q) & c_{23}(q) \\ c_{31}(q) & c_{32}(q) & c_{33}(q) \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \omega = \dot{R} \cdot R^T = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \omega = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = J_R \cdot \dot{q}$$

### 2.2.2.2 Bài toán động học ngược

Với bài toán động học ngược thì vị trí của khâu thao tác xem như đã biết, yêu cầu tìm giá trị của các biến khớp

#### Các bước giải bài toán:

- Thiết lập ma trận trạng thái khâu thao tác theo cấu trúc động học: (tương tự bài toán động học thuận)
- Thiết lập ma trận trạng thái khâu thao tác theo tọa độ khâu thao tác: (tương tự bài toán động học thuận)
- Phương trình động học Robot (tương tự bài toán động học thuận)

$${}^0A_n(q) = {}^0A_n(t)$$

$$\begin{bmatrix} c_{11}(q) & c_{12}(q) & c_{13}(q) & x(q) \\ c_{21}(q) & c_{22}(q) & c_{23}(q) & y(q) \\ c_{31}(q) & c_{32}(q) & c_{33}(q) & z(q) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11}(\alpha, \beta, \eta) & c_{12}(\alpha, \beta, \eta) & c_{13}(\alpha, \beta, \eta) & x_E \\ c_{21}(\alpha, \beta, \eta) & c_{22}(\alpha, \beta, \eta) & c_{23}(\alpha, \beta, \eta) & y_E \\ c_{31}(\alpha, \beta, \eta) & c_{32}(\alpha, \beta, \eta) & c_{33}(\alpha, \beta, \eta) & z_E \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Từ đó ta có phương trình xác định về vị trí và phương trình xác định về hướng

❖ Phương trình xác định về vị trí

$$\begin{cases} x(q) = x_E \\ y(q) = y_E \\ z(q) = z_E \end{cases}$$

❖ Phương trình xác định về hướng

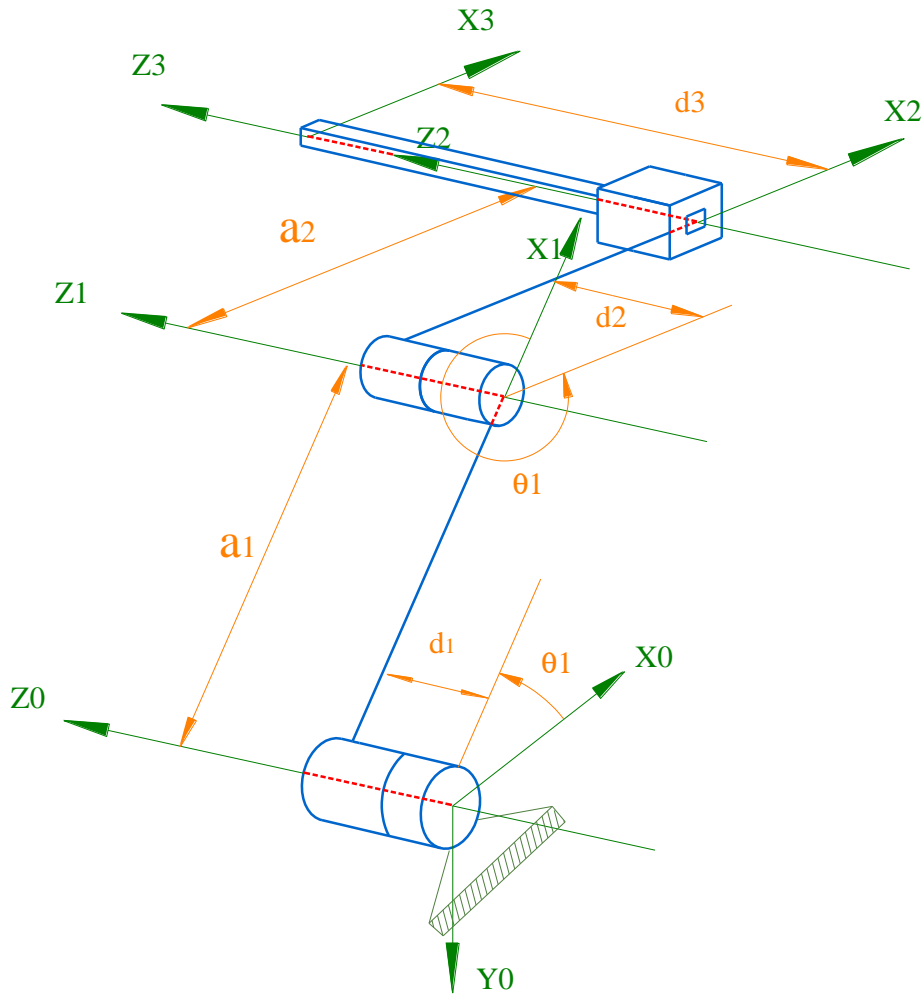
$$\begin{bmatrix} c_{11}(q) & c_{12}(q) & c_{13}(q) \\ c_{21}(q) & c_{22}(q) & c_{23}(q) \\ c_{31}(q) & c_{32}(q) & c_{33}(q) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11}(\alpha, \beta, \eta) & c_{12}(\alpha, \beta, \eta) & c_{13}(\alpha, \beta, \eta) \\ c_{21}(\alpha, \beta, \eta) & c_{22}(\alpha, \beta, \eta) & c_{23}(\alpha, \beta, \eta) \\ c_{31}(\alpha, \beta, \eta) & c_{32}(\alpha, \beta, \eta) & c_{33}(\alpha, \beta, \eta) \end{bmatrix}$$

- Giải các phương trình trên ta tìm được các biến khớp:

$$q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix}$$

### 2.2.3 Giải bài toán cụ thể

Sơ đồ động học:



#### 2.2.3.1 Bài toán động học thuận

Gồm:

- Bước 1: xây dựng quy luật chuyển động của các khâu của robot
- Bước 2: tính tọa độ, vận tốc, vận tốc góc của điểm tác động cuối của khâu thao tác
- Bước 3: tính toán và vẽ quỹ đạo chuyển động của điểm cuối E ( đầu mũi hàn của Robot)

#### a) **Xây dựng quy luật chuyển động của các khâu**

Quy luật chuyển động của các khâu:

$$\theta_1 = 0,1t$$

$$\theta_2 = 0,2t$$

$$d_3 = 0,1$$



b)

tác động cuối

Tính toán tọa độ, vận tốc, vận tốc góc của điểm



Tọa độ điểm tác động cuối E

Ta có ma trận biến đổi tọa độ thuần nhất :

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 & a_1 \cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) & 0 & a_1 \sin(\theta_1) \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & a_2 \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & a_2 \sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0A_3 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2) & -\sin(\theta_1 + \theta_2) & 0 & a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + a_1 \cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) & \cos(\theta_1 + \theta_2) & 0 & a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + a_1 \sin(\theta_1) \\ 0 & 0 & 1 & d_3 + d_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Từ phương trình động học Robot:



$${}^0\mathbf{A}_n(\mathbf{t}) = {}^0\mathbf{A}_n(\mathbf{q})$$

$$\begin{bmatrix} c_{11}(\alpha, \beta, \eta) & c_{12}(\alpha, \beta, \eta) & c_{13}(\alpha, \beta, \eta) & x_E \\ c_{21}(\alpha, \beta, \eta) & c_{22}(\alpha, \beta, \eta) & c_{23}(\alpha, \beta, \eta) & y_E \\ c_{31}(\alpha, \beta, \eta) & c_{32}(\alpha, \beta, \eta) & c_{33}(\alpha, \beta, \eta) & z_E \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11}(q) & c_{12}(q) & c_{13}(q) & x(q) \\ c_{21}(q) & c_{22}(q) & c_{23}(q) & y(q) \\ c_{31}(q) & c_{32}(q) & c_{33}(q) & z(q) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ta có tọa độ điểm tác động cuối E và ma trận quay:

•

*Tọa độ điểm E*

$$r_E = \begin{bmatrix} x_E \\ y_E \\ z_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.32 \cos(0.3 t) + 0.42 \cos(0.1 t) \\ 0.32 \sin(0.3 t) + 0.42 \sin(0.1 t) \\ 0.1 \end{bmatrix}$$

•

*Ma trận quay R*

$${}^0\mathbf{R}_3 = \begin{bmatrix} \cos(0.3 t) & -\sin(0.3 t) & 0 \\ \sin(0.3 t) & \cos(0.3 t) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

❖

**Vận tốc điểm tác động cuối**

$$v_E = \dot{r}_E = \begin{bmatrix} \dot{x}_E \\ \dot{y}_E \\ \dot{z}_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{Ex} \\ v_{Ey} \\ v_{Ez} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0.096 \sin(0.3 t) - 0.042 \sin(0.1 t) \\ 0.096 \cos(0.3 t) + 0.042 \cos(0.1 t) \\ 0 \end{bmatrix}$$

❖

**Gia tốc điểm tác động cuối**



$$a_E = \ddot{r}_E = \begin{bmatrix} a_{Ex} \\ a_{Ey} \\ a_{Ez} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0.0288 \cos(0.3 t) - 0.0042 \cos(0.1 t) \\ -0.0288 \sin(0.3 t) - 0.0042 \sin(0.1 t) \\ 0 \end{bmatrix}$$

❖ **Vận tốc góc điểm tác động cuối E**

➤ *Ma trận quay R:*

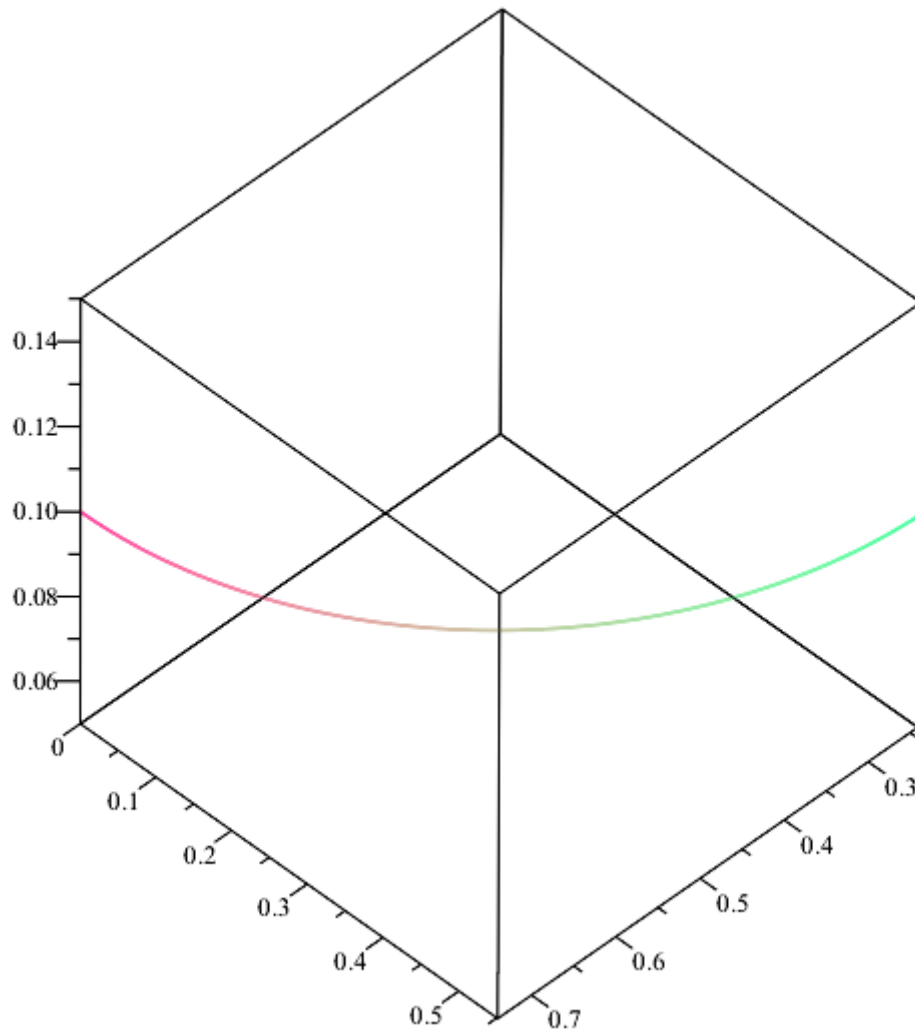
$${}^0R_3 = \begin{bmatrix} \cos(0.3 t) & -\sin(0.3 t) & 0 \\ \sin(0.3 t) & \cos(0.3 t) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \omega = {}^0\dot{R}_3 \cdot {}^0R_3^T = \begin{bmatrix} 0. & -0.3000000000 & -0. \\ 0.3000000000 & 0. & 0. \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

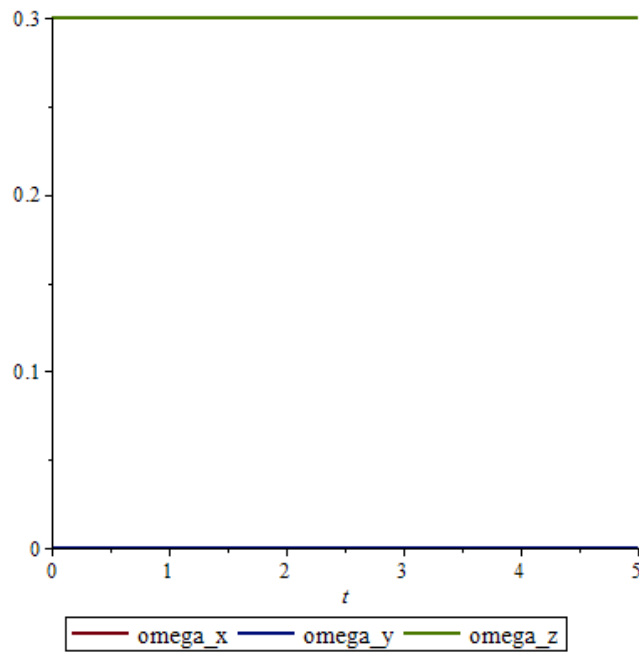
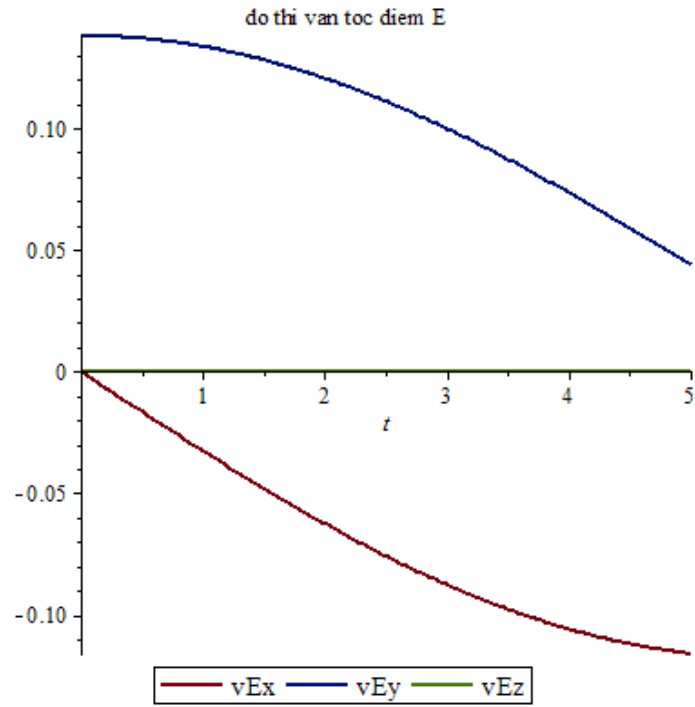
$$\Rightarrow \omega = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -0. \\ 0.3000000000 \end{bmatrix}$$

c) **Tính toán, vẽ quỹ đạo của điểm E, vận tốc  $V_E$ , vận tốc góc  $\omega_E$ , gia tốc  $a_E$**

➤ *Quỹ đạo của điểm E*

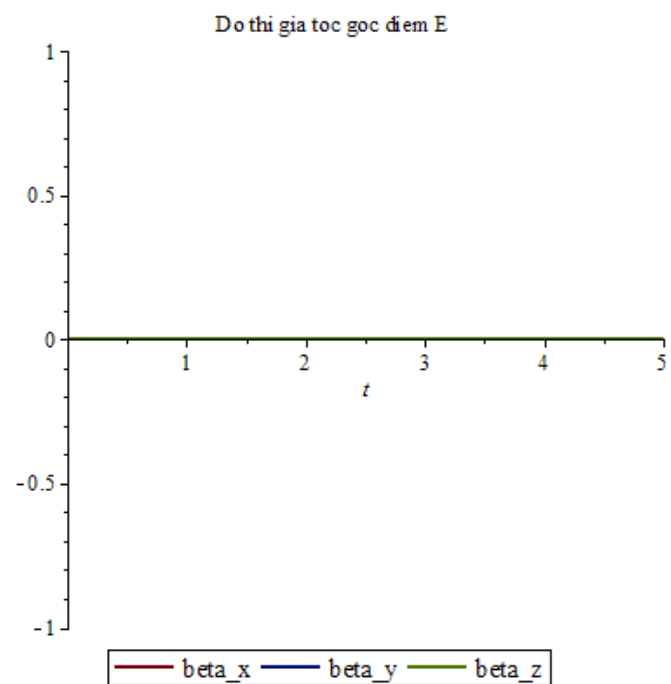
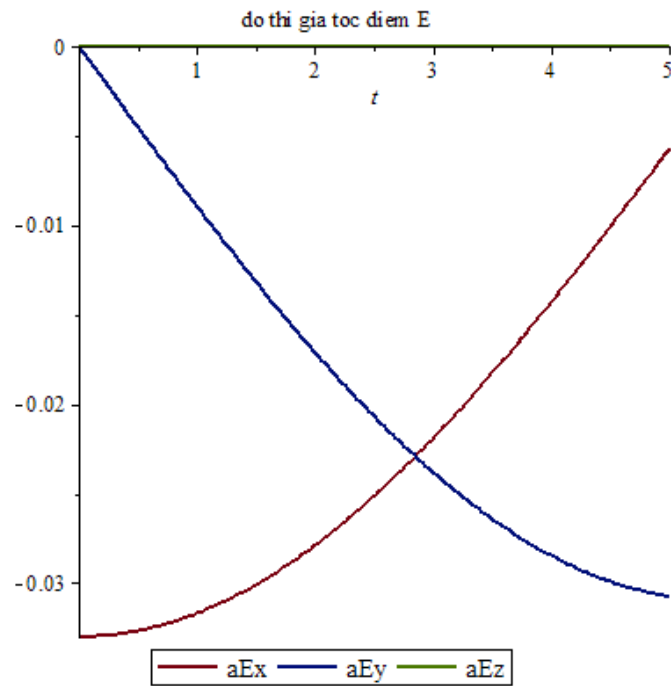


➤ *Vận tốc dài và vận tốc góc điểm E*





### Gia tốc điểm E



#### 2.2.3.2 Bài toán động học ngược

Gồm:

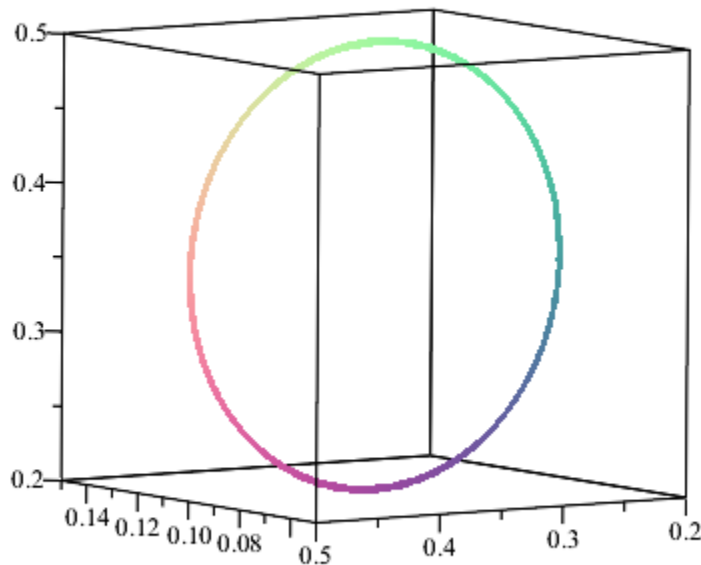
- Bước 1: cho quy luật chuyển động của điểm tác động cuối E ( mũi hàn của Robot )
- Bước 2: xác định quy luật chuyển động của các khâu

➤ Bước 3: vẽ đồ thị biểu diễn quy luật chuyển động của các khâu

**a) Cho quy luật chuyển động của điểm tác động cuối**

Cho Robot thực hiện vẽ đường tròn:

$$r_E = \begin{bmatrix} x_E \\ y_E \\ z_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.35 + 0.15 \sin(2t) \\ 0.35 + 0.15 \cos(2t) \\ 0.1 \end{bmatrix}$$



**b) Xác định quy luật chuyển động của các khâu**

**Thiết lập phương trình động học**

- Phương trình động học robot

$${}^0A_3(q) = {}^0A_3(t)$$

$$\begin{bmatrix} c_{11}(q) & c_{12}(q) & c_{13}(q) & x(q) \\ c_{21}(q) & c_{22}(q) & c_{23}(q) & y(q) \\ c_{31}(q) & c_{32}(q) & c_{33}(q) & z(q) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11}(\alpha, \beta, \eta) & c_{12}(\alpha, \beta, \eta) & c_{13}(\alpha, \beta, \eta) & x_E \\ c_{21}(\alpha, \beta, \eta) & c_{22}(\alpha, \beta, \eta) & c_{23}(\alpha, \beta, \eta) & y_E \\ c_{31}(\alpha, \beta, \eta) & c_{32}(\alpha, \beta, \eta) & c_{33}(\alpha, \beta, \eta) & z_E \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

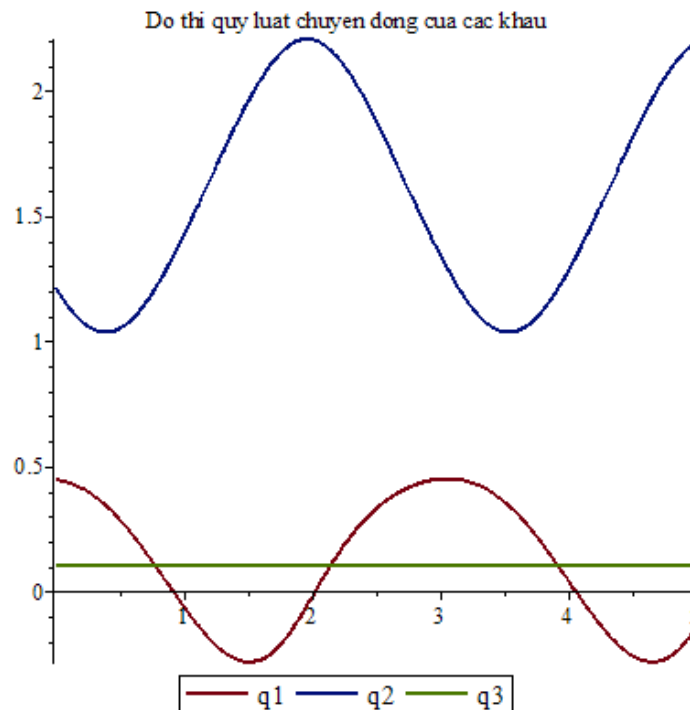
- Phương trình xác định vị trí, hướng

- Phương trình xác định vị trí

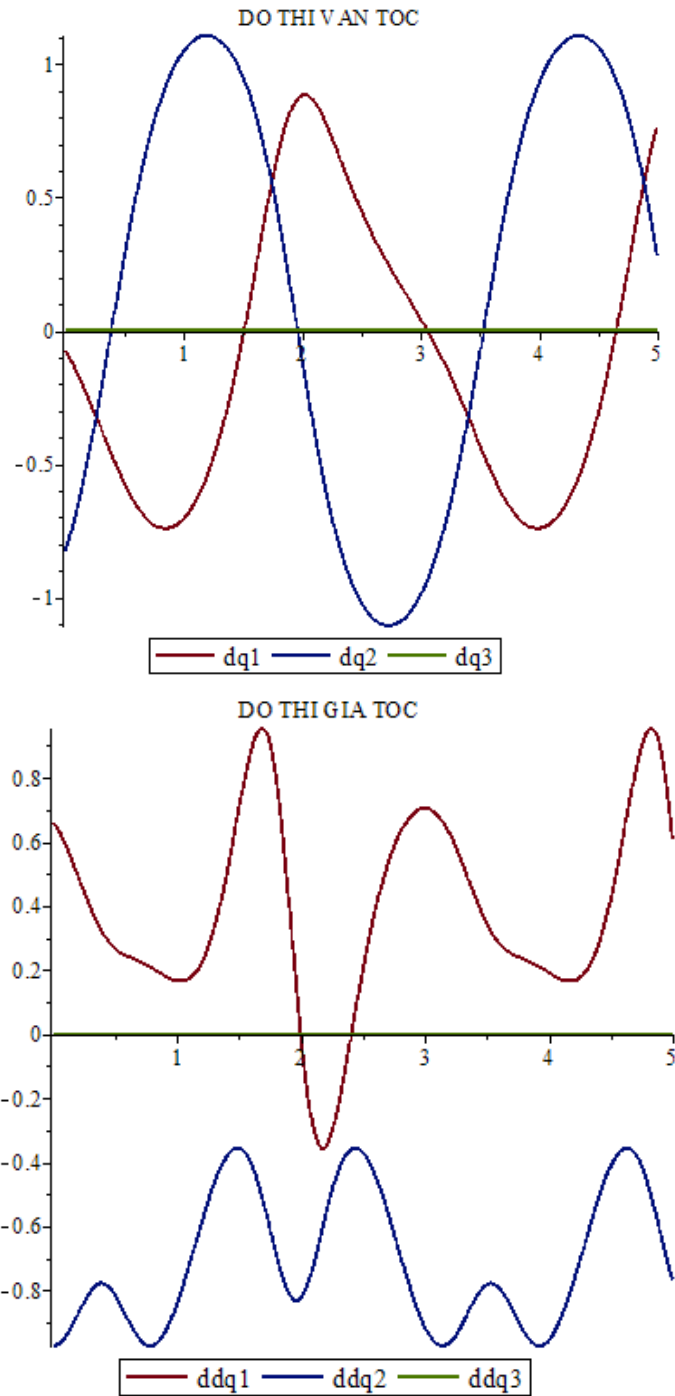
$$\begin{cases} x(q) = x_E \\ y(q) = y_E \\ z(q) = z_E \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 0,32\cos(q_1+q_2) + 0,42\cos(q_1) - 0,35 - 0,15\sin(2t) = 0 \\ 0,32\sin(q_1+q_2) + 0,42\sin(q_1) - 0,35 - 0,15\cos(2t) = 0 \\ q_3 - 0,1 = 0 \end{cases}$$

- c) Giải phương trình động học ta được quy luật chuyển động của các khâu như sau:



- d) Đồ thị vận tốc và gia tốc của các khâu



### 2.3. Bài toán tĩnh học

*Dữ kiện đầu bài*

Thông số	Giá trị
m1 (Kg)	10
m2 (Kg)	11





m3 (Kg)	1
F <sub>x</sub> (N)	0
F <sub>y</sub> (N)	0
F <sub>z</sub> (N)	0
M <sub>z</sub> (Nm)	0
M <sub>y</sub> (Nm)	0
M <sub>x</sub> (Nm)	0

### 2.3.1. Cơ sở lý thuyết

- Phương pháp khảo sát

$$\begin{cases} \vec{R}_{oi} = 0 \\ \vec{M}_{oi} = 0 \end{cases}$$

- khai triển ta có

$$\begin{cases} \vec{R}_{oi} = \vec{F}_{i,i-1} - \vec{F}_{i+1,i} + \vec{P}_i = 0 \\ \vec{M}_{oi} = \vec{M}_{i,i-1} - \vec{M}_{i+1,i} - \vec{r}_i \times \vec{F}_{i,i-1} + \vec{r}_{ci} \times \vec{P}_i = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \vec{F}_{i,i-1} = \vec{F}_{i+1,i} - \vec{P}_i \\ \vec{M}_{i,i-1} = \vec{M}_{i+1,i} + \vec{r}_i \times \vec{F}_{i,i-1} - \vec{r}_{ci} \times \vec{P}_i \end{cases}$$

Ma trận khảo sát trong hệ tọa độ khâu  $i$

$$\Rightarrow \begin{cases} {}^i F_{i,i-1} = {}^i F_{i+1,i} - {}^i P_i \\ {}^i M_{i,i-1} = {}^i M_{i+1,i} + {}^i r_i \cdot {}^i F_{i,i-1} - {}^i \tilde{r}_{ci} \cdot {}^i P_i \end{cases}$$

Trong đó các ma trận sóng  ${}^i \tilde{r}_i, {}^i \tilde{r}_{ci}$  được xác định từ các vector  $\vec{r}_i, \vec{r}_{ci}$

$$\Rightarrow \begin{cases} {}^0 F_{i,i-1} = {}^0 F_{i+1,i} - {}^0 P_i \\ {}^0 M_{i,i-1} = {}^0 M_{i+1,i} + {}^0 r_i \cdot {}^0 F_{i,i-1} - {}^0 \tilde{r}_{ci} \cdot {}^0 P_i \end{cases}$$

Trong đó các ma trận sóng  ${}^0 \tilde{r}_i, {}^0 \tilde{r}_{ci}$  được xác định từ các vector  ${}^i r_i, {}^i r_{ci}$ :

$${}^0 r_i = {}^0 R_i \cdot {}^i r_i$$

$${}^0 r_{ci} = {}^0 R_i \cdot {}^i r_{ci}$$

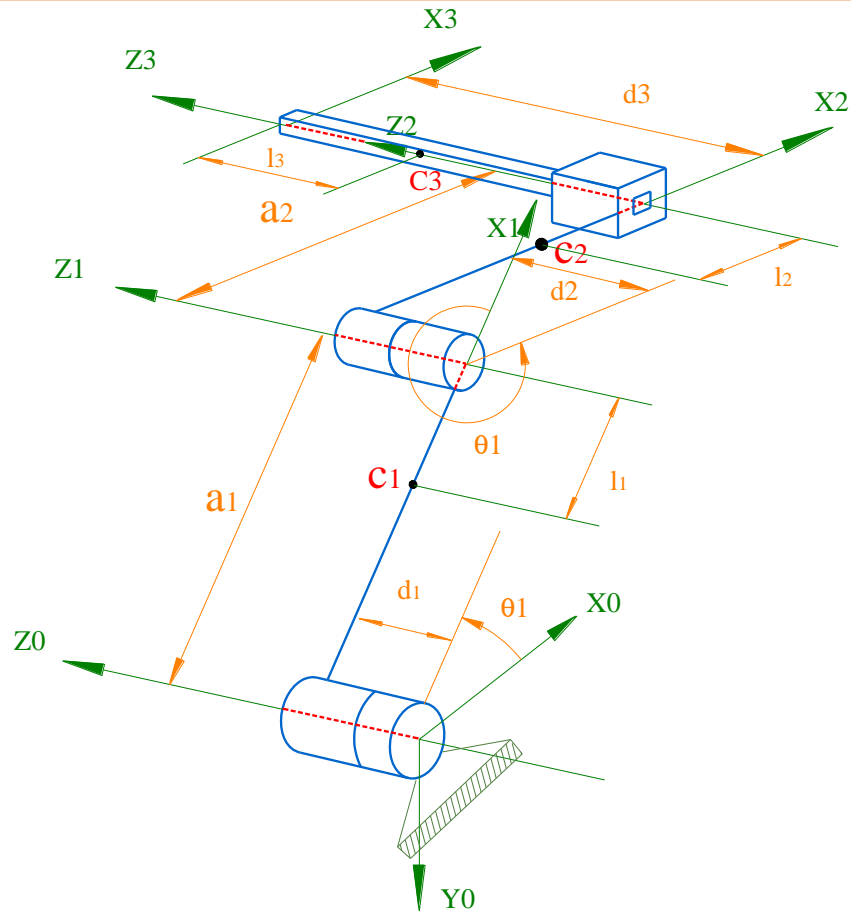


### 2.3.2. Giải bài toán cụ thể

Coi các khâu là thanh đồng chất, tiết diện ngang không đáng kể, khối lượng các khâu là  $m_1, m_2, m_3$ . Cho lực và momen tác dụng vào khâu thao tác E là  ${}^0\mathbf{F}=[F_x, F_y, F_z]^T$  và  ${}^0\mathbf{M}=[M_x, M_y, M_z]^T$

Thông số	Giá trị
$m_1$ (Kg)	10
$m_2$ (Kg)	11
$m_3$ (Kg)	1
$F_x$ (N)	0
$F_y$ (N)	0
$F_z$ (N)	0
$M_z$ (Nm)	0
$M_y$ (Nm)	0
$M_x$ (Nm)	0

Sơ đồ động học



- ứng dụng phần mềm Maple để tính toán ta thu được lực và momen tác dụng lên các khâu như sau:

▪ *Khâu thứ nhất*

$$F_{10} = \begin{bmatrix} 0 \\ 220 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$M_{10} = \begin{bmatrix} -0.720 \\ 0 \\ 27.400 \cos(q_1 + q_2) + 71.400 \cos(q_1) \end{bmatrix}$$

▪ *Khâu thứ hai*

$$F_{21} = \begin{bmatrix} 0 \\ 120 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$M_{21} = \begin{bmatrix} -0.720 \\ 0 \\ 27.400 \cos(q_1 + q_2) \end{bmatrix}$$

- *Khâu thứ ba*

$$F_{32} = \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$M_{32} = \begin{bmatrix} -0.720 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

- ứng dụng phần mềm Maple ta xác định được lực và momen lớn nhất tác dụng lên các khâu là:

$$F_y = 220 \text{ (N)}$$

$$M_y = 98.8 \text{ (Nm)}$$

## 2.4. Tính toán động lực học

### 2.4.1 Tham số động lực học Robot

#### **Bảng tham số động lực học Robot:**



Joint	Vị trí trọng tâm			Khối lượng	Ma trận momen quán tính					
	x <sub>C</sub>	y <sub>C</sub>	z <sub>C</sub>		I <sub>xx</sub>	I <sub>yy</sub>	I <sub>zz</sub>	I <sub>xy</sub>	I <sub>yz</sub>	I <sub>zx</sub>
1	-(a1-lc1)	0	0	m1	I <sub>1xx</sub>	I <sub>1yy</sub>	I <sub>1zz</sub>	0	0	0
2	-(a2-lc2)	0	0	m2	I <sub>2xx</sub>	I <sub>2yy</sub>	I <sub>2zz</sub>	0	0	0
3	0	0	lc3	m3	I <sub>3xx</sub>	I <sub>3yy</sub>	I <sub>3zz</sub>	0	0	0

#### 2.4.2 Thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động của Robot dạng thức

Ta có dạng phương trình Lagrange II:  $\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} + \frac{\partial \Pi}{\partial q} = Q_q^*$

Dạng ma trận  $\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\underline{q}}} \right)^T - \left( \frac{\partial T}{\partial \underline{q}} \right)^T + \left( \frac{\partial \Pi}{\partial \underline{q}} \right)^T = \underline{Q}_q^*$

$$T = \frac{1}{2} \dot{\underline{q}}^T M(\underline{q}) \dot{\underline{q}}$$

Với

$$M(\underline{q}) = \sum_{i=1}^n (m_i J_{Ti}^T J_{Ti} + J_{Ri}^T R_i^i \theta_i R_i^T J_{Ri})$$

$M(\underline{q})$ : Ma trận khối lượng

$R_i$  : Là ma trận cosin chỉ hướng của khâu thứ i so với hệ cơ sở

$J_{Ti}, J_{Ri}$  : lần lượt là các ma trận Jacobian tịnh tiến và Jacobian quay được tính bằng công thức:

$$J_t = \frac{\partial \underline{r}C^{(0)}}{\partial \underline{q}} ; J_r = \frac{\partial \underline{\omega}^{(0)}}{\partial \underline{q}}$$

Và phương trình Lagrange dẫn dắt đưa về dạng:

$$M(\underline{q}) \ddot{\underline{q}} + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}}) \dot{\underline{q}} + G(\underline{q}) = \underline{\tau}$$



Trong đó việc tính toán ma trận C: Ma trận ảnh hưởng lực quán tính ly tâm và

$$C(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) = \left[ c_j(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) \underline{\dot{q}} \right]_{n \times 1}$$

quán tính Coriollis

$$c_j(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) \underline{\dot{q}} = \sum_{k,l=1}^n (k,l;j) \dot{q}_k \dot{q}_l$$

Với ký hiệu:  $(k,l;j) = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial m_{kj}}{\partial q_l} + \frac{\partial m_{lj}}{\partial q_k} - \frac{\partial m_{kl}}{\partial q_j} \right)$  là chỉ số Christoffel ba chỉ số loại một

Cách tính C còn cách nữa đó là sử dụng tích Kronecker của GS. Nguyễn Văn Khang tương đối dễ lập trình tính toán

$$C(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) = \frac{\partial M(\underline{q})}{\partial \underline{q}} (\mathbf{I}_n \otimes \underline{\dot{q}}) - \frac{1}{2} \left( \frac{\partial M(\underline{q})}{\partial \underline{q}} (\underline{\dot{q}} \otimes \mathbf{I}_n) \right)$$

Vector  $G(\underline{q})$  được suy ra từ thế năng:

$$G(\underline{q}) = \frac{\partial \Pi^T}{\partial \underline{q}}$$

### 2.4.3 Thiết lập phương trình Lagrange II dạng ma trận

Từ đây ta tiến hành tính toán các đại lượng để thiết lập phương trình

- Các ma trận Jacobian tịnh tiến:

$$J_{t_1} := \begin{bmatrix} -\sin(q_1) lc_1 & 0 & 0 \\ \cos(q_1) lc_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$J_{t_2} := \begin{bmatrix} -\sin(q_1 + q_2) lc_2 - a_1 \sin(q_1) & -\sin(q_1 + q_2) lc_2 & 0 \\ \cos(q_1 + q_2) lc_2 + a_1 \cos(q_1) & \cos(q_1 + q_2) lc_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$J_{t_3} := \begin{bmatrix} -a_2 \sin(q_1 + q_2) - a_1 \sin(q_1) & -a_2 \sin(q_1 + q_2) & 0 \\ a_2 \cos(q_1 + q_2) + a_1 \cos(q_1) & a_2 \cos(q_1 + q_2) & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

- Các ma trận Jacobian quay:

$$J_{r_1} := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



$$Jr_2 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Jr_3 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

- Các ma trận Tensor quán tính đối với hệ động của khâu được cho như sau:

$$Inertia_1 := \begin{bmatrix} I1xx & 0 & 0 \\ 0 & I1yy & 0 \\ 0 & 0 & I1zz \end{bmatrix}$$

$$Inertia_2 := \begin{bmatrix} I2xx & 0 & 0 \\ 0 & I2yy & 0 \\ 0 & 0 & I2zz \end{bmatrix}$$

$$Inertia_3 := \begin{bmatrix} I3xx & 0 & 0 \\ 0 & I3yy & 0 \\ 0 & 0 & I3zz \end{bmatrix}$$

- Ma trận khối lượng  $M(q)$ :

Vì ma trận khối lượng có tính chất đối xứng nên ta sẽ chỉ ra một nửa trên của ma trận  $M$

>  $M[1, 1]$

$$m_1 lc l^2 + I1zz + 2 \cos(q_2) a_1 lc_2 m_2 + a_1^2 m_2 + m_2 lc^2 + I2zz + 2 \cos(q_2) a_1 a_2 m_3 + a_1^2 m_3 + m_3 a_2^2 + I3zz$$

>  $M[1, 2]$

$$\cos(q_2) a_1 lc_2 m_2 + m_2 lc^2 + I2zz + \cos(q_2) a_1 a_2 m_3 + m_3 a_2^2 + I3zz$$

>  $M[1, 3]$

$$0$$

>  $M[2, 2]$

$$a_2^2 m_3 + lc^2 m_2 + I2zz + I3zz$$

>  $M[2, 3]$

$$0$$

>  $M[3, 3]$

$$m_3$$



$$\begin{aligned}
 "M" = & \left[ \left[ m_1 lc_1^2 + I_{1zz} + 2 \cos(q_2) a_1 lc_2 m_2 + a_1^2 m_2 + m_2 lc_2^2 + I_{2zz} \right. \right. \\
 & \left. \left. + 2 \cos(q_2) a_1 a_2 m_3 + a_1^2 m_3 + m_3 a_2^2 + I_{3zz}, \cos(q_2) a_1 lc_2 m_2 + m_2 lc_2^2 + I_{2zz} \right. \right. \\
 & \left. \left. + \cos(q_2) a_1 a_2 m_3 + m_3 a_2^2 + I_{3zz}, 0 \right], \right. \\
 & \left[ \cos(q_2) a_1 lc_2 m_2 + m_2 lc_2^2 + I_{2zz} + \cos(q_2) a_1 a_2 m_3 + m_3 a_2^2 + I_{3zz}, a_2^2 m_3 \right. \\
 & \left. + lc_2^2 m_2 + I_{2zz} + I_{3zz}, 0 \right], \\
 & \left. \left[ 0, 0, m_3 \right] \right]
 \end{aligned}$$

- Ma trận ảnh hưởng của lực quán tính Coriolis- C

$$\begin{aligned}
 > C[1, 1] & \quad (-\sin(q_2) a_1 lc_2 m_2 - \sin(q_2) a_1 a_2 m_3) q_2 d \\
 > C[1, 2] & \quad (-\sin(q_2) a_1 lc_2 m_2 - \sin(q_2) a_1 a_2 m_3) q_1 d + (-\sin(q_2) a_1 lc_2 m_2 - \sin(q_2) a_1 a_2 m_3) q_2 a \\
 > C[1, 3] & \quad 0 \\
 > C[2, 1] & \quad (\sin(q_2) a_1 lc_2 m_2 + \sin(q_2) a_1 a_2 m_3) q_1 d \\
 > C[2, 2] & \quad 0 \\
 > C[2, 3] & \quad 0 \\
 > C[3, 1] & \quad 0 \\
 > C[3, 2] & \quad 0 \\
 > C[3, 3] & \quad 0 \\
 > C & \quad \left[ \left[ (-\sin(q_2) a_1 lc_2 m_2 - \sin(q_2) a_1 a_2 m_3) q_2 d, (-\sin(q_2) a_1 lc_2 m_2 - \sin(q_2) a_1 a_2 m_3) q_1 d \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + (-\sin(q_2) a_1 lc_2 m_2 - \sin(q_2) a_1 a_2 m_3) q_2 d, 0 \right], \right. \\
 & \quad \left[ (\sin(q_2) a_1 lc_2 m_2 + \sin(q_2) a_1 a_2 m_3) q_1 d, 0, 0 \right], \\
 & \quad \left. \left[ 0, 0, 0 \right] \right]
 \end{aligned}$$

- Vector G(q):

$$> G^+$$





$$\begin{aligned} & [[m_1 g \cos(q1) lc1 + m_2 g (\cos(q1 + q2) lc2 + a1 \cos(q1)) + m_3 g (a2 \cos(q1 + q2) \\ & \quad + a1 \cos(q1))], \\ & [m_2 g \cos(q1 + q2) lc2 + m_3 g a2 \cos(q1 + q2)], \\ & [0]] \end{aligned}$$

- Vector lực dẫn động :  $\underline{\tau}$

$$\tau := \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix}$$

- Phương trình Động Lực Học robot:  
+ Phương trình 1:

$$\begin{aligned} & (m_1 lc1^2 + I1zz + 2 \cos(q2) a1 lc2 m_2 + a1^2 m_2 + m_2 lc2^2 + I2zz + 2 \cos(q2) a1 a2 m_3 \\ & \quad + a1^2 m_3 + m_3 a2^2 + I3zz) q1dd + (\cos(q2) a1 lc2 m_2 + m_2 lc2^2 + I2zz \\ & \quad + \cos(q2) a1 a2 m_3 + m_3 a2^2 + I3zz) q2dd - 2 \sin(q2) a1 a2 q1d q2d m_3 \\ & \quad - \sin(q2) a1 a2 q2d^2 m_3 - 2 \sin(q2) a1 lc2 q1d q2d m_2 - \sin(q2) a1 lc2 q2d^2 m_2 \\ & \quad + m_3 g a2 \cos(q1 + q2) + m_2 g \cos(q1 + q2) lc2 + \cos(q1) a1 g m_2 + \cos(q1) a1 g m_3 \\ & \quad + m_1 g \cos(q1) lc1 - \tau_1 \end{aligned}$$

+ Phương trình 2:

$$\begin{aligned} & (\cos(q2) a1 lc2 m_2 + m_2 lc2^2 + I2zz + \cos(q2) a1 a2 m_3 + m_3 a2^2 + I3zz) q1dd + (a2^2 m_3 \\ & \quad + lc2^2 m_2 + I2zz + I3zz) q2dd + \sin(q2) a1 a2 q1d^2 m_3 + \sin(q2) a1 lc2 q1d^2 m_2 \\ & \quad + m_3 g a2 \cos(q1 + q2) + m_2 g \cos(q1 + q2) lc2 - \tau_2 \end{aligned}$$

+ Phương trình 3:

$$q3dd m_3 - \tau_3$$

## 2.5. Thiết kế hệ dẫn động Robot

❖ *Giới thiệu một số hệ dẫn động hay dùng trong robot công nghiệp*

Có rất nhiều loại hộp giảm tốc được sử dụng trong thiết kế robot công nghiệp, phụ thuộc vào yêu cầu kỹ thuật, mục đích ứng dụng của robot ta có thể chọn được một hộp giảm tốc phù hợp. dưới đây là các hộp giảm tốc thông dụng trong thiết kế robot và đặc điểm ứng dụng cơ bản của chúng

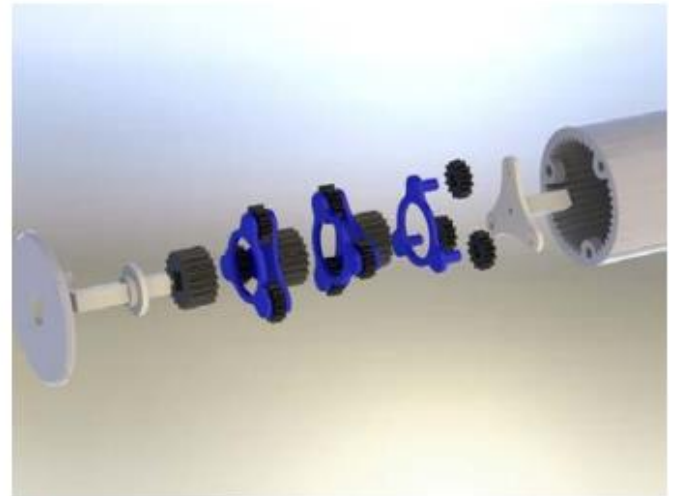
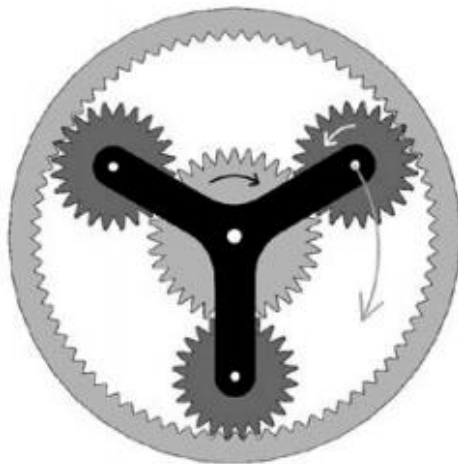
a) Hộp giảm tốc bánh răng trụ



*Hình 2.6 Bộ truyền bánh răng trụ*

Hộp giảm tốc bánh răng trụ có hiệu suất truyền không cao, có tỉ số kích thước trên tỉ số truyền lớn, độ chính xác không cao, tỉ số truyền thấp, trong các robot có yêu cầu kết cấu nhỏ, độ chính xác cao thường không sử dụng. Tuy nhiên với ưu điểm kết cấu cơ khí đơn giản, giá thành rẻ và phổ biến trên thị trường có khả năng làm việc với phạm vi vận tốc và tải trọng rộng nên bộ truyền bánh răng trụ vẫn được dùng phổ biến cho các tay máy công nghiệp.

b) Hộp giảm tốc bánh răng hành tinh

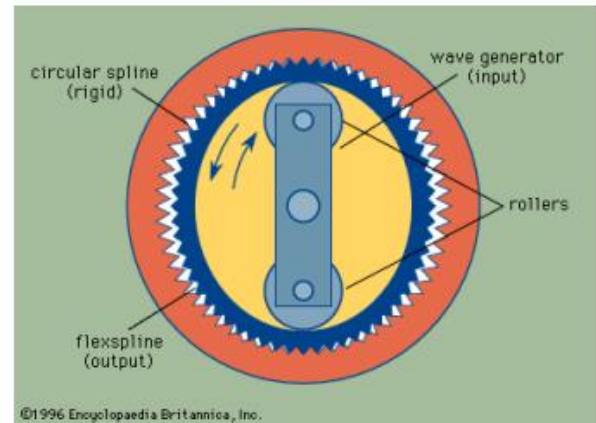
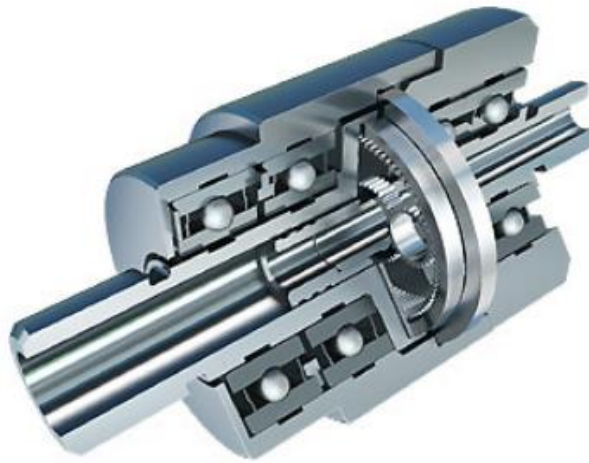


*Hình 2.7. Bộ truyền hành tinh*

Bộ truyền hành tinh bao gồm các bánh răng trung tâm, cần mang trục, các bánh vệ tinh. Bộ truyền hành tinh có nhiều ưu điểm như kết cấu đơn giản, nhỏ gọn, độ chính xác

cao, hiệu suất cao, quán tính nhỏ, tùy vào kết cấu mà có dải tỷ số truyền từ một tới hàng trăm lần

c) Bộ truyền bánh răng song



Hình 2.8. Bộ truyền bánh răng song

Bộ truyền bánh răng song có nhiều ưu điểm như độ chính xác cơ khí lặp lại cao momen xoắn truyền lớn, hệ số giảm tốc cao từ 50 : 1 cho tới 320 : 1, kết cấu đồng trục. Loại bộ truyền này có kết cấu phức tạp, khó chế tạo nên giá thành cao tuy nhiên vẫn được ứng dụng rộng rãi cho robot.

### 2.5.1. Tính toán hệ dẫn động

Trong bài tập lớn này chúng em lựa chọn loại hộp giảm tốc bánh răng trụ răng thẳng cho tất cả các khớp.

Hệ dẫn động thiết kế gồm 1 động cơ AC nối với hộp giảm tốc cấp bánh răng trụ răng thẳng qua 1 khớp nối hộp giảm tốc nối với trục của khớp qua khớp nối

Ở tất cả các hệ dẫn động của các khớp ta đều chọn tỉ số chuyển là 4 ta có

$$u_{sb} = u_{br} = 4$$

Hiệu suất của hệ dẫn động là:

$$\eta = \eta_{br} \cdot \eta_{ol}^2 \cdot \eta_{kn}$$

trong đó:

hiệu suất bộ truyền bánh răng trụ răng thẳng 1 cấp là:  $\eta_{br} = 0,95$

hiệu suất ổ lăn :  $\eta_{ol} = 0,99$

hiệu suất khớp nối:  $\eta_{kn}=1$

$$\Rightarrow \eta = \eta_{br} \cdot \eta_{ol}^2 \cdot \eta_{kn} = 0,95 \cdot 0,99^2 \cdot 1 = 0,93$$

### 2.5.1.1 Tính chọn động cơ cho khớp 1

#### a. Công suất làm việc

Từ phương trình mômen theo thời gian đã xác lập phần tĩnh học ta tìm được mômen lớn nhất

$$P_{lv1} = \frac{M1 \cdot \omega 1}{1000} = \frac{M1 \cdot n1 \cdot 2\pi}{60 \cdot 1000} = \frac{78,4 \cdot 30 \cdot 2\pi}{60 \cdot 1000} = 0,25 \text{ kw}$$

#### b. Công suất cần thiết trên trục động cơ

$$P_{yc1} = \frac{P_{lv1}}{\eta} = \frac{0,25}{0,93} = 0,27 \text{ kw}$$

#### c. Số vòng quay trên trục công tác

Chọn số vòng quay lớn nhất của khớp 1 là  $30 \text{ vòng/phút}$

#### d. Số vòng quay trên trục động cơ

$$n_{sb1} = n_{lv1} \cdot u_{sb1} = 30 \cdot 4 = 120 \text{ vòng/phút}$$

#### e. Chọn động cơ :

Chọn động cơ phải thỏa mãn điều kiện:

$$n_{dc1} \sim n_{sb1} = 120 \text{ vòng/phút}$$

$$P_{dc1} \geq P_{ct1} = 0,27 \text{ kw}$$

### 2.5.1.2. Tính chọn động cơ cho khớp 2

#### a. Công suất làm việc

Từ phương trình mômen theo thời gian đã xác lập phần tĩnh học ta tìm được mômen lớn nhất

$$P_{lv2} = \frac{M2 \cdot \omega 2}{1000} = \frac{M2 \cdot n2 \cdot 2\pi}{60 \cdot 1000} = \frac{7,21 \cdot 30 \cdot 2\pi}{60 \cdot 1000} = 0,023 \text{ kw}$$

#### b. Công suất cần thiết trên trục động cơ

$$P_{yc2} = \frac{P_{lv2}}{\eta} = \frac{0,023}{0,93} = 0,025 \text{ kw}$$



### c. Vòng quay trên trục công tác

Chọn số vòng quay lớn nhất của khớp 2 là  $30 \text{ vòng/phút}$

### d. Số vòng quay trên trục động cơ

$$n_{sb2} = n_{lv2} \cdot u_{sb2} = 30 \cdot 4 = 120 \text{ vòng/phút}$$

### e. Chọn động cơ

Chọn động cơ phải thỏa mãn điều kiện:

$$n_{dc2} \sim n_{sb2} = 120 \text{ vòng/phút}$$

$$P_{dc2} \geq P_{ct2} = 0,025 \text{ kw}$$

## 2.5.1.3. Tính chọn động cơ cho khớp 3

### a. Công suất làm việc

Từ phương trình mômen theo thời gian đã xác lập phần tĩnh học ta tìm được mômen lớn nhất

$$P_{lv3} = \frac{M3 \cdot \omega3}{1000} = \frac{M3 \cdot n3 \cdot 2\pi}{60 \cdot 1000} = \frac{6 \cdot 20 \cdot 2\pi}{60 \cdot 1000} = 0,013 \text{ kw}$$

### b. Công suất cần thiết trên trục động cơ

$$P_{yc3} = \frac{P_{lv3}}{\eta} = \frac{0,013}{0,93} = 0,014 \text{ kw}$$

### b. Số vòng quay trên trục công tác

Chọn số vòng quay lớn nhất của khớp 5 là  $20 \text{ vòng/phút}$

### d. Số vòng quay trên trục động cơ

$$n_{sb3} = n_{lv3} \cdot u_{sb3} = 20 \cdot 4 = 80 \text{ vòng/phút}$$

### e. Chọn động cơ



Chọn động cơ phải thỏa mãn điều kiện:

$$n_{dc3} \sim n_{sb3} = 80 \text{ vòng/phút}$$

$$P_{dc3} \geq P_{ct3} = 0,014 \text{ kw}$$

## 2.5.2. Chọn động cơ

Theo catalog của hãng Samsung ta thống kê được một số loại động cơ thông dụng của hãng :

Motor series		Rated output	Rated/ Maximum speed [r/min]	Type
RSMZ		30W ~ 600W	3000/5000	Cylinder
		750W	3000/4500	
		950W	3000/3500	
RSMQ		100W ~ 400W	3000/5000	Pan Cake

RSM D		0.75kW ~ 5kW	2000/3000	Cylinder
RSM H		0.5kW ~ 5kW	2000/3000	Cylinder
RSM S		1.0kW ~ 3.5kW	3000/5000	Cylinder
		4.0kW ~ 5.0kW	3000/4500	
RSM F		0.4kW ~ 4.5kW	2000/3000	Pan Cake
RSM K		0.3kW ~ 6.0kW	1000/2000	Cylinder
RSM L		0.3kW ~ 6.0kW	1000/2000	Cylinder
CSMT		30W ~ 1kW	3000/5000	Cylinder
CSMR		100W ~ 400W	3000/5000	Pan Cake

Từ bảng thông kê ta chọn được motor RSMK đáp ứng được đầy đủ yêu cầu cho 3 khớp

RSMK		0.3kW ~ 6.0kW	1000/2000	Cylinder
------	---	---------------	-----------	----------

Ta có thông số kỹ thuật của một số động cơ thuộc dòng RSMK của Samsung là:

Item	Unit	RSMK-							
		03B	06B	09B	12B	20B	30B	45B	60B
Flange Size	mm	130	130	130	180	180	180	180	180
Rated output	kW	0.3	0.6	0.9	1.2	2.0	3.0	4.5	6.0
Rating	%	100							
Rated rotation speed	r/min	1000							
Max rotation speed	r/min	2000							
Rated torque	N · m	2.84	5.7	8.62	11.5	19.1	28.4	42.9	57.2
	kgf · cm	29	58.2	88	117	198	290	437	583
Max instantaneous torque	N · m	6.3	14.4	19.3	28	44	63.7	107	129
	kgf · cm	64.3	146.9	197	286	449	650	1091	1315
Rated current	A <sub>(rms)</sub>	3.5	6.2	7.6	11.6	18.5	24.0	33.0	47.0
Rotator inertia	× 10 <sup>-4</sup> kg · m <sup>2</sup>	2.64	4.9	7.0	30.4	35.5	55.7	80.9	99
	gf · cm · sec <sup>2</sup>	2.7	5.0	7.1	31.0	36.2	56.8	82.6	101
Rotator inertia (Brake)	× 10 <sup>-4</sup> kg · m <sup>2</sup>	3.84	6.2	8.3	36.2	41.4	61.7	86.9	108
	gf · cm · sec <sup>2</sup>	3.92	6.3	8.5	36.9	42.2	63.0	88.7	110
Electrical constant	ms	12.7	21	24	31	31	34.48	42	45
Mechanical constant	ms	1.25	0.65	0.53	0.94	0.85	0.78	0.71	0.63
	ms(Brake)	1.81	0.82	0.63	1.12	1.0	0.86	0.77	0.68
Power rating	kW/s	31.2	67	108	44	104	148	232	337
	kW/s(Brake)	21.4	53	91	37	89	133	216	309
Max instantaneous current	A <sub>(I-P)</sub>	11	22	24	40.0	60	80.0	118	155
Insulation class		F							
Vibration class		V-15							
Paint color		Black							
Mass	kg	4.8	6.2	8.6	15.5	17.5	25	34	41
	kg(Brake)	6.3	8	10.1	19.0	21.0	29	39.5	47
Driving power supply voltage	V <sub>AC</sub>	200/220							

Theo bảng thống số kỹ thuật ta chọn motor cho các khớp lần lượt như sau:

Khớp 1: RSMK-03B

Khớp 2: RSMK-03B

Khớp 3: RSMK-03B

### 2.5.3. Thiết kế bộ truyền bánh răng cho khớp 1

Ta có:

$$P_{lv1} = \frac{M1 \cdot \omega_1}{1000} = \frac{M1 \cdot n_1 \cdot 2\pi}{60 \cdot 1000} = \frac{78,4 \cdot 30 \cdot 2\pi}{60 \cdot 1000} = 0,25 \text{ kw}$$

$$P_{yc2} = \frac{P_{lv1}}{\eta} = \frac{0,25}{0,93} = 0,27 \text{ kw}$$

Chọn số vòng quay lớn nhất của khớp 2 là 30 <sup>vòng</sup>/phút





$$n_{sb1} = n_{lv1} \cdot u_{sb1} = 30 \cdot 4 = 120 \text{ vòng/phút}$$

Chọn động cơ phải thỏa mãn điều kiện:

$$n_{dc1} \sim n_{sb1} = 120 \text{ vòng/phút}$$

$$P_{dc2} \geq P_{ct2} = 0,27 \text{ kw}$$

### Công suất trên các trục

Công suất trên trục công tác  $P_{ra} = 0,023 \text{ (kw)}$

Công suất trên trục II  $P_{II} = \frac{P_{ra}}{\eta_{ol}} = \frac{0,023}{0,99} = 0,0232 \text{ (kw)}$

Công suất trên trục I  $P_I = \frac{P_{II}}{\eta_{ol} \cdot \eta_{br}} = \frac{0,0232}{0,99 \cdot 0,95} = 0,025 \text{ (kw)}$

### Tốc độ quay trên các trục

Tốc độ quay trên trục động cơ  $n_{dc} = 120 \text{ (vg / ph)}$

Tốc độ quay trên trục I  $n_I = n_{dc} = 120 \text{ (vg / ph)}$

Tốc độ quay trên trục II  $n_{II} = \frac{n_I}{u} = 30 \text{ (vg / ph)}$

### Mô men trên các trục

Trên trục động cơ  $T_{dc} = 9,55 \cdot 10^6 \frac{0,3}{120} = 23875 \text{ Nmm}$

Trên trục I  $T_I = 9,55 \cdot 10^6 \frac{0,025}{120} = 1990 \text{ Nmm}$

Trên trục II  $T_{II} = 9,55 \cdot 10^6 \frac{0,0232}{30} = 7385 \text{ Nmm}$

Trên trục công tác  $T_{ct} = 9,55 \cdot 10^6 \frac{0,023}{30} = 7322 \text{ Nmm}$

### Bảng tổng kết phần chọn động học



	Động cơ	Trục I	Trục II	Công tác
Tỷ số truyền	$u_{kn} = 1$		$u_{br} = 4$	$u_{ct} = 1$
Công suất (KW)	0,3	0,025	0,0232	0,023
Số vòng quay (v/ph)	120	120	30	30
Momen xoắn (Nmm)	23875	1990	7385	7322

### 2.5.3.1 Chọn vật liệu

Vì hộp giảm tốc chịu công suất trung bình nên ta chỉ cần chọn vật liệu nhóm I ( $HB \leq 350$ ). Để tăng khả năng chạy mòn ta nên chọn vật liệu bánh nhỏ có độ rắn lớn hơn bánh lớn từ 10-15HB:  $H1 \geq H2 + (10 \dots 15)HB$ .

Tra  $\frac{9.1}{92} [1]$  chọn:

Thông số	Bánh nhỏ ( Bánh chủ động )	Bánh lớn ( Bánh bị động )
Nhãn hiệu	Thép 45	Thép 45
Chế độ nhiệt luyện	Tôi cải thiện	Tôi cải thiện
Độ rắn	Độ rắn: $HB_1 = 180$	Độ rắn: $HB_2 = 170$
Giới hạn bền	$\sigma_{b1} = 850$	$\sigma_{b2} = 750$
Giới hạn chảy	$\sigma_{ch1} = 580$	$\sigma_{ch2} = 450$

### 2.5.3.2 Xác định ứng suất cho phép

Ta xét độ bền tiếp xúc của mặt răng làm việc và độ bền uốn chân răng thông qua ứng suất.

Ứng suất cho phép được xác định theo công thức:



$$\begin{cases} [\sigma_H] = \frac{\sigma_{H\lim}^0}{S_H} Z_R \cdot Z_v \cdot K_{xH} \cdot K_{HL} \\ [\sigma_F] = \frac{\sigma_{F\lim}^0}{S_F} Y_R \cdot Y_S \cdot K_{xF} \cdot K_{FL} \cdot K_{FC} \end{cases}$$

Trong đó:

$[\sigma_H]$  - Ứng suất tiếp xúc cho phép

$Z_R$  - Hệ số xét đến ảnh hưởng của độ nhám bề mặt răng

$Z_v$  - Hệ số xét đến ảnh hưởng của vận tốc vòng,  $Z_v = 0,85 v^{0,1}$  (với  $HB \leq 350$ )

$K_{xH}$  - Hệ số xét đến ảnh hưởng của kích thước bánh răng

$K_{HL}$  - Hệ số tuổi thọ

$[\sigma_F]$  - Ứng suất uốn cho phép

$Y_R$  - Hệ số xét đến ảnh hưởng của độ nhám mặt lượn chân răng

$Y_S$  - Hệ số xét đến ảnh hưởng của độ nhạy vật liệu với tập trung ứng suất

$K_{xF}$  - Hệ số xét đến ảnh hưởng của kích thước bánh răng

$K_{FL}$  - Hệ số tuổi thọ

$K_{FC}$  - Hệ số xét đến ảnh hưởng đặt tải

a. Chọn sơ bộ  $\begin{cases} Z_R \cdot Z_v \cdot K_{xH} = 1 \\ Y_R \cdot Y_S \cdot K_{xF} = 1 \end{cases}$

b.  $S_H, S_F$  hệ số an toàn khi tính về ứng suất tiếp xúc và ứng suất uốn

Tra  $\frac{6.2}{94}$  [1] ta được:

Bánh răng chủ động:  $S_{H1} = 1,1; S_{F1} = 1,75$

Bánh răng bị động:  $S_{H2} = 1,1; S_{F2} = 1,75$

c.  $\sigma_{H\lim}^0, \sigma_{F\lim}^0$  ứng suất tiếp xúc và uốn cho phép ứng với số chu kì cơ sở:

$$\begin{cases} \sigma_{H\lim}^0 = 2HB + 70 \\ \sigma_{F\lim}^0 = 1,8HB \end{cases}$$

Bánh chủ động  $\begin{cases} \sigma_{H\lim1}^0 = 2HB_1 + 70 = 2.180 + 70 = 430 \\ \sigma_{F\lim1}^0 = 1,8HB_1 = 1,8.180 = 324 \end{cases}$

Bánh bị động  $\begin{cases} \sigma_{H\lim2}^0 = 2HB_2 + 70 = 2.170 + 70 = 410 \\ \sigma_{F\lim2}^0 = 1,8HB_2 = 1,8.170 = 306 \end{cases}$

d.  $K_{HL}, K_{FL}$  hệ số tuổi thọ xét đến ảnh hưởng của thời gian phục vụ và chế độ tải trọng của bộ truyền:

$$\begin{cases} K_{HL} = m_H \sqrt{\frac{N_{H0}}{N_{HE}}} \\ K_{FL} = m_F \sqrt{\frac{N_{F0}}{N_{FE}}} \end{cases}$$

Trong đó

$m_H, m_F$  - là bậc của đường cong mỏi khi thử về ứng suất tiếp xúc. Do bánh răng có  $HB < 350 \Rightarrow m_H = 6$  và  $m_F = 6$

$N_{H0}, N_{F0}$  - số chu kỳ thay đổi ứng suất khi thử về ứng suất tiếp xúc và ứng suất uốn:

$$\begin{cases} N_{H0} = 30.H_{HB1}^{2,4} \\ N_{F0} = 4.10^6 \end{cases} \text{ đối với tất cả các loại thép thì } N_{F0} = 4.10^6$$

$$\rightarrow \begin{cases} N_{H01} = 30.H_{HB1}^{2,4} = 30.180^{2,4} = 7,76.10^6 \\ N_{H02} = 30.H_{HB2}^{2,4} = 30.170^{2,4} = 6,76.10^6 \\ N_{F01} = N_{F02} = 4.10^6 \end{cases}$$

$N_{HE}, N_{FE}$  - số chu kỳ thay đổi ứng suất tương đương:

$$\text{Do bộ truyền chịu tải trọng tĩnh } \Rightarrow N_{HE} = N_{FE} = 60.c.n.\sum t$$

Với :

$c$  số lần ăn khớp trong một vòng quay:  $c = 1$

$n$  vận tốc vòng của bánh răng:

$\sum t$  tổng số giờ làm việc của bánh răng:

$$6 \text{ năm} \times 365 \text{ ngày} \times 8 \text{ h} = 17520(\text{h}), \sum t = L_h = 17520(\text{h})$$



Vậy:

$$\begin{cases} N_{HE1} = N_{FE1} = 60cn_1L_k = 60.1.120.17520 = 126,15.10^6 \\ N_{HE2} = N_{FE2} = 60c\frac{n_1}{u}L_k = 60.1.\frac{120}{4}.17520 = 31,54.10^6 \end{cases}$$

Nhận thấy

$$N_{HE1} > N_{H01} \rightarrow K_{HL1} = 1$$

$$N_{HE2} > N_{H02} \rightarrow K_{HL2} = 1$$

$$N_{FE1} > N_{F01} \rightarrow K_{FL1} = 1$$

$$N_{FE2} > N_{F02} \rightarrow K_{FL2} = 1$$

Vậy ta có

a. Ứng suất tiếp xúc cho phép

$$\begin{cases} [\sigma_{H1}] = \frac{\sigma_{H\lim1}^0}{S_{H1}} Z_R \cdot Z_v \cdot K_{xH} \cdot K_{HL} = \frac{430}{1,1} \cdot 1,1 = 391(MPa) \\ [\sigma_{H2}] = \frac{\sigma_{H\lim2}^0}{S_{H1}} Z_R \cdot Z_v \cdot K_{xH} \cdot K_{HL} = \frac{410}{1,1} \cdot 1,1 = 373(MPa) \end{cases}$$

Vì sử dụng bánh răng thẳng nên  $[\sigma_H] = \min(\sigma_{H1}, \sigma_{H2}) = 373(MPa)$

b. Ứng suất uốn cho phép

Cánh tay robot quay 2 chiều nên tải trọng đặt 2 chiều  $\rightarrow K_{FC} = 0,7-0,8$

HB<350 nên chọn  $K_{FC} = 0,7$

$$\begin{cases} [\sigma_{F1}] = \frac{\sigma_{F\lim1}^0}{S_F} Y_R \cdot Y_S \cdot K_{xF} \cdot K_{FL1} \cdot K_{FC} = \frac{391}{1,75} \cdot 1.1.0,7 = 156,4(MPa) \\ [\sigma_{F2}] = \frac{\sigma_{F\lim2}^0}{S_F} Y_R \cdot Y_S \cdot K_{xF} \cdot K_{FL2} \cdot K_{FC} = \frac{373}{1,75} \cdot 1.1.0,7 = 149,2(MPa) \end{cases}$$

c. Ứng suất cho phép khi quá tải

Bánh răng tôi cải thiện nên:

$$[\sigma_H]_{\max} \leq 2,8 \cdot \min\{\sigma_{ch1}, \sigma_{ch2}\} = 2,8 \cdot 450 = 1260(Mpa)$$

Vì HB≤350 nên  $[\sigma_F]_{\max} \leq 0,8 \cdot \sigma_{ch}$ :

$$[\sigma_{F1}]_{\max} \leq 0,8 \cdot \sigma_{ch1} = 0,8 \cdot 580 = 464(Mpa)$$

$$[\sigma_{F2}]_{\max} \leq 0,8 \cdot \sigma_{ch2} = 0,8 \cdot 450 = 360(Mpa)$$

### 2.5.4 Tính toán thiết kế bộ truyền bánh răng

Thông số yêu cầu:

Trên trục chủ động: Công suất  $P_1 = 0,025\text{kW}$

Momen xoắn  $T_1 = 1990\text{ Nmm}$

Tốc độ trục quay  $n_1 = 120\text{ (vg/ph)}$

Tỉ số truyền  $u = 4$

#### 2.5.4.1 Xác định khoảng cách trục

Công thức xác định sơ bộ khoảng cách trục  $a_w = K_a(u+1) \sqrt[3]{\frac{T_1 K_{H\beta}}{[\sigma_H]^2 \cdot u \cdot \psi_{ba}}}$

$K_a$  - hệ số phụ thuộc vật liệu của cặp bánh răng. Tra  $\frac{6.5}{96}[1]$  với răng trụ răng thẳng

có  $K_a = 15,5\text{ MPa}^{\frac{1}{3}}$

$T_1$  - momen xoắn trên trục chủ động:  $T_1 = 1990\text{ Nmm}$

$[\sigma_H]$  - ứng suất tiếp xúc cho phép:  $[\sigma_H] = 373\text{ (MPa)}$ .

$u$  - tỷ số truyền:  $u = 4$

$\psi_{ba}, \psi_{bd}$  - hệ số chiều rộng vành răng. Tra  $\frac{6.6}{97}[1]$  với bộ truyền không đối xứng HB <350, chọn được:

$$\psi_{ba} = 0,16 \text{ và } \psi_{bd} = 0,53 \cdot \psi_{ba} (u + 1) = 0,53 \cdot 0,16 (4 + 1) = 0,424$$

$K_{H\beta}, K_{F\beta}$  - hệ số kể đến sự phân bố không đều tải trọng trên chiều rộng vành răng khi tính về ứng suất tiếp xúc và uốn. Tra  $\frac{6.7}{98}[1]$  với  $\psi_{bd} = 0,4$  và sơ đồ bố trí là sơ đồ

$$5 \text{ ta được } \begin{cases} K_{H\beta} = 1,03 \\ K_{F\beta} = 1,05 \end{cases}$$

$$\text{Do vậy } a_w = K_a(u+1) \sqrt[3]{\frac{T_1 K_{H\beta}}{[\sigma_H]^2 \cdot u \cdot \psi_{ba}}} = 15,5(4+1) \sqrt[3]{\frac{1990 \cdot 1,02}{373^2 \cdot 4 \cdot 0,16}} = 21,97\text{ mm}$$

Chọn theo dãy 1 tiêu chuẩn SEV229-75:  $a_w = 25\text{mm}$

#### 2.5.4.2 Xác định thông số ăn khớp

Mô đun:  $m = (0,01 \dots 0,02)a_w = (1 \dots 2)$

Tra theo dãy 1 bảng  $\frac{6.8}{99}[1]$   $m = 1\text{ (mm)}$



$$\text{Xác định số răng: } Z_1 = \frac{2 \cdot a_w}{m(u+1)} = \frac{2 \cdot 25}{1(4+1)} = 10$$

$$Z_2 = u \cdot Z_1 = 4 \cdot 10 = 40$$

$$\Rightarrow \text{Chọn } \begin{cases} Z_1 = 11 \\ Z_2 = 42 \end{cases}$$

$$\text{Tỷ số truyền thực tế: } u_t = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{42}{11} = 3,82$$

Sai lệch tỉ số truyền:

$$\Delta u = \left| \frac{u_t - u}{u} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{3,82 - 4}{4} \right| \cdot 100\% = 4,5\% < 5\% \text{ (thỏa mãn điều kiện)}$$

- Xác định lại khoảng cách trục chia:

$$a_w^* = m \left( \frac{Z_1 + Z_2}{2} \right) = 1 \cdot \left( \frac{11 + 42}{2} \right) = 26,5 \text{ mm}$$

- Xác định hệ số dịch chỉnh:

Vì  $a_w^* \neq a_w$ , ta cần sử dụng các bánh răng dịch chỉnh để tăng khoảng cách trục

Hệ số dịch tâm:

$$y = \frac{a_w}{m} - \frac{Z_1 + Z_2}{2} = \frac{25}{1} - \frac{11 + 42}{2} = -1,5$$

$$\text{Hệ số } k_y = \frac{1000y}{Z_1 + Z_2} = \frac{1000 \cdot 1,5}{11 + 42} = 28,3$$

Tra bảng  $\frac{6 \cdot 10a}{101}$  [1], với  $k_y = 28,3$  ta được  $k_x = 0,696$

$$\text{Hệ số giảm đỉnh răng: } \Delta y = \frac{k_x(Z_1 + Z_2)}{1000} = \frac{0,696(11 + 42)}{1000} = 0,037$$

Tổng hệ số dịch chỉnh:  $x_t = y + \Delta y = -1,5 + 0,037 = -1,463$

Hệ số dịch chỉnh bánh răng chủ động:

$$x_1 = \frac{1}{2} \left[ x_t - \frac{(Z_2 - Z_1)y}{Z_1 + Z_2} \right] = \frac{1}{2} \left[ -1,463 - \frac{(66 - 17)1,5}{17 + 66} \right] = -2,35$$

Hệ số dịch chỉnh bánh răng bị động:  $x_2 = x_t - x_1 = -1,463 - (-2,35) = 0,887$

- Xác định góc ăn khớp  $\alpha_{tw}$ :

$$\cos \alpha_w = \frac{(Z_1 + Z_2)m \cos \alpha}{2a_w} = \frac{(11+42) \cdot 1 \cdot \cos 20}{2 \cdot 25} = 0.996$$

$$a_w = 5,13^\circ$$

### 2.5.5 Kiểm nghiệm bộ truyền bánh răng

#### 2.5.5.1 Kiểm nghiệm độ bền tiếp xúc

$$\text{Kiểm nghiệm về ứng suất tiếp xúc: } \sigma_H = Z_M Z_H Z_\varepsilon \sqrt{\frac{2T_1 K_H (u_t + 1)}{b_w u_t d_{w1}^2}} \leq [\sigma_H]$$

Trong đó :

$Z_M$  - hệ số kể đến cơ tính vật liệu của các bánh răng ăn khớp:

$$\text{Tra } \frac{6,5}{96} [1] \rightarrow Z_M = 47,5 (MPa^{\frac{1}{3}})$$

$Z_H$  - hệ số kể đến hình dạng của bề mặt tiếp xúc:

$$Z_H = \sqrt[2]{\frac{2}{\sin 2\alpha_w}} = \sqrt[2]{\frac{2}{\sin 2 \cdot 5,13}} = 3,35$$

$Z_\varepsilon$  - hệ số sự trùng khớp của răng:  $Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}}$

$$\varepsilon_\alpha = 1,88 - 3,2 \left( \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) = 1,88 - 3,2 \left( \frac{1}{11} + \frac{1}{42} \right) = 1,513$$

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,513}{3}} = 0,91$$

$K_H$  - hệ số tải trọng khi tính về tiếp xúc:  $K_H = K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{H\nu}$

Trong đó:

$K_{H\alpha}$  là hệ số phân bố không đều tải trọng trên các đôi răng khi tính về ứng suất tiếp

xúc được chọn thông qua vận tốc vòng  $v = \frac{\pi \cdot d_{w1} \cdot n_1}{60000}$

Đường kính vòng lăn bánh nhỏ  $d_{w1} = \frac{2 \cdot a_w}{(u+1)} = \frac{2 \cdot 25}{(4+1)} = 10$

$$v = \frac{\pi \cdot 10 \cdot 120}{60000} = 0,063 \text{ (m/s)}$$

Tra  $\frac{6,13}{106} [1]$  vì  $0,063 < 2 \text{ (m/s)}$  nên sử dụng cấp chính xác 9.

Tra  $\frac{6,14}{107} [1]$  với cấp chính xác 9 và  $0,063 < 2,5 \text{ (m/s)}$   $\rightarrow K_{H\alpha} = 1,13$



$K_{H\beta}$  hệ số kể đến sự phân bố không đều tải trọng trên chiều rộng vành răng khi tính về ứng suất tiếp xúc:  $K_{H\beta} = 1,07$

$K_{Hv}$  hệ số tải trọng động trong vùng ăn khớp khi tính về ứng suất tiếp xúc được tính theo công thức  $K_{Hv} = 1 + \frac{v_H b_w d_{w1}}{2T_1 K_{H\beta} K_{H\alpha}}$

Trong đó:

$$v_H = \delta_H g_0 v \sqrt{a_w / u}$$

$\delta_H$  - hệ số kể đến ảnh hưởng của các sai số ăn khớp. Tra  $\frac{6.15}{107}$  [1] có  $\delta_H = 0,006$  với răng thẳng.

$g_0$  - hệ số kể đến ảnh hưởng của sai lệch các bước răng bánh 1 và 2. Tra  $\frac{6.16}{107}$  [1] có  $g_0 = 73$  theo cấp chính xác 9.

$v$  - vận tốc vòng  $v = 0,063 \text{ m/s}$

$$\text{Vậy } v_H = \delta_H g_0 v \sqrt{\frac{a_w}{u}} = 0,006 \cdot 73 \cdot 0,063 \cdot \sqrt{\frac{25}{4}} = 0,069$$

$b_w$  - Chiều rộng vành răng:

$$b_w = \psi_{ba} \cdot a_w = 0,16 \cdot 25 = 4 \text{ (mm)} \rightarrow \text{Chọn } b_w = 10$$

$$K_{Hv} = 1 + \frac{v_H b_w d_{w1}}{2T_1 K_{H\beta} K_{H\alpha}} = 1 + \frac{0,069 \cdot 10 \cdot 10}{2 \cdot 1990 \cdot 1,07 \cdot 1,13} \approx 1$$

Vậy  $K_H = K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{Hv} = 1,13 \cdot 1,07 \cdot 1 = 1,21$

Thay vào ta được ứng suất tiếp xúc:

$$\sigma_H = Z_M Z_H Z_Z \sqrt{\frac{2T_1 K_H (u+1)}{b_w u a_w^2}} = 47,5 \cdot 2,15 \cdot 0,89 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1990 \cdot 1,21 \cdot (4+1)}{10 \cdot 4 \cdot 10^2}} = 223 \text{ (MPa)}$$

Xác định chính xác ứng suất tiếp xúc cho phép:



Với  $v=0,063 \leq 5(m/s) \rightarrow Z_v=1$ ; với cấp chính xác động học là 9, chọn cấp chính xác về mức tiếp xúc là 8, khi đó cần gia công độ đạt độ nhám  $R_a=2,5 \dots 1,25 \mu m$ , do đó  $Z_R=0,95$ ; với  $d_a < 700mm \rightarrow K_{xH}=1$ . Vậy ứng suất tiếp xúc cho phép chính xác là:

$$[\sigma_H]_{cx} = [\sigma_H] \cdot Z_v \cdot Z_R \cdot Z_{xH} = 373 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1 = 354 (MPa)$$

Kiểm nghiệm:  $\sigma_H = 223 (MPa) < [\sigma_H]_{max} = 354 (MPa)$

$$\text{Lượng bền thừa là: } \frac{[\sigma_H]_{\alpha} - \sigma_H}{[\sigma_H]_{\alpha}} \cdot 100\% = \frac{354 - 223}{354} \cdot 100\% = 37\%$$

→ thỏa mãn điều kiện ứng suất tiếp xúc.

### 2.5.5.2 Kiểm nghiệm đô bền uốn

Công thức kiểm nghiệm:

$$\begin{cases} \sigma_{F1} = \frac{2T_1 \cdot K_F \cdot Y_{\varepsilon} \cdot Y_{\beta} \cdot Y_{F1}}{b_{w1} \cdot d_{w1} \cdot m} \leq [\sigma_{F1}] \\ \sigma_{F2} = \frac{\sigma_{F1} \cdot Y_{F2}}{Y_{F1}} \leq [\sigma_{F2}] \end{cases}$$

Trong đó:

$K_F$  - hệ số tải trọng khi tính về uốn:  $K_F = K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv}$

Với  $K_{F\alpha}$  hệ số phân bố không đều tải trọng trên các đôi răng khi tính về ứng suất uốn.

Tra  $\frac{6.14}{107} [1]$  với vận tốc  $v < 2,5 (m/s)$  và cấp chính xác 9 →  $K_{F\alpha} = 1,37$

$K_{F\beta}$  - hệ số kể đến sự phân bố không đều tải trọng trên chiều rộng vành răng khi tính về ứng suất uốn, tra bảng  $\frac{6.7}{98} [1]$  với  $\Psi_{bd} = 1,2$ , sơ đồ 5 →  $K_{F\beta} = 1,22$

$K_{Fv}$  hệ số tải trọng động trong vùng ăn khớp khi tính về ứng suất tiếp xúc, uốn được tính theo công thức  $K_{Fv} = 1 + \frac{v_F b_w d_{w1}}{2T_1 K_{F\beta} K_{F\alpha}}$

$$v_F = \delta_F g_0 v \sqrt{a_w / u}$$

Tra  $\frac{6.15}{107} [1]$  với răng nghiêng có  $\delta_F = 0,011$

$g_0 = 73$  theo cấp chính xác 9

$$v = \frac{\pi \cdot d_{w1} \cdot n_1}{60000} = \frac{\quad}{60000} = \mathbf{0,063}$$

$$\Rightarrow v_H = \delta_F g_0 v \sqrt{\frac{a_w}{u}} = 0,011.73.0,1. \sqrt{\frac{25}{4}} = 0,2$$

Chiều rộng vành răng  $b_w=8$

$$K_{Fv} = 1 + \frac{v_H b_w d_{w1}}{2T_1 K_{H\beta} K_{H\alpha}} = 1 + \frac{0,2.10.10}{2.1990.1,07.1,13} \approx 1$$

Vậy  $K_F = K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv} = 1,37.1,22.1 = 1,67$

$Y_\epsilon$  - hệ số kể đến sự trùng khớp của răng:  $Y_\epsilon = \frac{1}{\epsilon_\alpha} = \frac{1}{1,513} = 0,66$

$Y_\beta$  - hệ số kể đến độ nghiêng của răng, vì răng thẳng  $\beta = 0^\circ \rightarrow Y_\beta = 1$

$Y_{F1}, Y_{F2}$  - hệ số dạng răng phụ thuộc số răng tương đương, vì răng thẳng nên

$$Z_{v1} = Z_1 = 11 \quad ; \quad Z_{v2} = Z_2 = 42$$

Tra  $\frac{6.18}{109}$  [1] được  $Y_{F1} = 3,07$ ;  $Y_{F2} = 3,27$

Thay vào có

$$\begin{cases} \sigma_{F1} = \frac{2T_1 K_F Y_\epsilon Y_\beta Y_{F1}}{b_w d_{w1} m} = \frac{2.1990.1,513.0,66.1,3.07}{10.10.1} = 93(\text{MPa}) \\ \sigma_{F2} = \frac{\sigma_{F1} Y_{F2}}{Y_{F1}} = 99(\text{MPa}) \end{cases}$$

Xác định chính xác độ bền uốn cho phép:

Trong tính toán sơ bộ, ta chọn  $Y_R \cdot Y_S \cdot K_{xF} = 1$ , bây giờ ta xác định chính xác ứng suất uốn cho phép thông qua chọn lại chính xác các hệ số  $Y_R, Y_S, K_{xF}$

Chọn  $K_{xF} = 1$  (vì đường kính các bánh răng  $d_a \leq 400 \text{ mm}$ )

$Y_R = 1$  (bánh răng phay)

$Y_S = 1,08 - 0,0695 \cdot \ln(m) = 1,08 - 0,0695 \cdot \ln(1) = 1,08$

$$\rightarrow \begin{cases} [\sigma_{F1}]_{cx} = [\sigma_{F1}] Y_R Y_S K_{xF} = 324.1.1,08.1 = 350(\text{Mpa}) \\ [\sigma_{F2}]_{cx} = [\sigma_{F2}] Y_R Y_S K_{xF} = 306.1.1,08.1 = 330(\text{Mpa}) \end{cases}$$

Nhận thấy:



$$\begin{cases} \sigma_{F1} = 93(MPa) < [\sigma_{F1}] = 350(MPa) \\ \sigma_{F2} = 99(MPa) < [\sigma_{F2}] = 330(MPa) \end{cases}$$

Thỏa mãn độ bền uốn.

### 2.5.5.3 Kiểm nghiệm về quá tải

Công thức kiểm nghiệm:

$$\begin{cases} \sigma_{H \max} = \sigma_H \sqrt{K_{qt}} \leq [\sigma_H]_{\max} \\ \sigma_{F \max 1} = K_{qt} \sigma_{F1} \leq [\sigma_{F1}]_{\max} \\ \sigma_{F \max 2} = K_{qt} \sigma_{F2} \leq [\sigma_{F2}]_{\max} \end{cases}$$

$$K_{qt} = \frac{T_{\max}}{T} = 1,15$$

$$\text{Do vậy } \begin{cases} \sigma_{H \max} = \sigma_H \sqrt{K_{qt}} = 373 \cdot \sqrt{1,15} = 400 \leq [\sigma_H]_{\max} = 1260(MPa) \\ \sigma_{F \max 1} = K_{qt} \sigma_{F1} = 1,15 \cdot 324 = 372,6 \leq [\sigma_{F1}]_{\max} = 464(MPa) \\ \sigma_{F \max 2} = K_{qt} \sigma_{F2} = 1,15 \cdot 306 = 352 \leq [\sigma_{F2}]_{\max} = 360(MPa) \end{cases}$$

Thỏa mãn điều kiện về quá tải.

### 2.5.5.4 Tổng kết các thông số cơ bản của bộ truyền

$$\text{Đường kính vòng chia: } \begin{cases} d_1 = m \cdot Z_1 = 1.11 = 11(mm) \\ d_2 = m \cdot Z_2 = 1.42 = 42(mm) \end{cases}$$

$$\text{Đường kính vòng lăn: } \begin{cases} d_{w1} = \frac{2 \cdot a_w}{u+1} = \frac{2 \cdot 25}{5} = 10(mm) \\ d_{w2} = u \cdot d_{w1} = 4 \cdot 10 = 40(mm) \end{cases}$$

Đường kính đỉnh răng

$$\begin{cases} d_{a1} = d_1 + 2 \cdot (1 + x_1 + \Delta_y) \cdot m = 11 + 2 \cdot (1 + (-2,35) - 0,037) \cdot 1 = 8,226(mm) \\ d_{a2} = d_2 + 2 \cdot (1 + x_2 + \Delta_y) \cdot m = 42 + 2 \cdot (1 + 0,887 - 0,037) \cdot 1 = 45,7(mm) \end{cases}$$

$$\text{Đường kính chân răng: } \begin{cases} d_{f1} = d_1 - 2,5m = 11 - 2,5 \cdot 1 = 8,5(mm) \\ d_{f2} = d_2 - 2,5m = 42 - 2,5 \cdot 1 = 39,5(mm) \end{cases}$$

### Bảng tổng kết

Khoảng cách trục	$a_w = 40mm$
Modun	$m = 1$
Chiều rộng vành răng	$b_w = 10$



Tỉ số truyền	$u = 4$
Số răng bánh răng	$Z_1=11, Z_2=42$
Hệ số dịch chỉnh	$x_1 = -2,35 ; x_2 = 0,887$
Góc ăn khớp	$\alpha_{wt}=5,13^\circ$
Đường kính vòng lăn $d_w$	$d_{w1}=10(\text{mm})$ $d_{w2}=40(\text{mm})$
Đường kính vòng chia $d$	$d_1=11(\text{mm})$ $d_2=42(\text{mm})$
Đường kính đỉnh răng $d_a$	$d_{a1}=8,226(\text{mm})$ $d_{a2}=45,7(\text{mm})$
Đường kính chân răng $d_f$	$d_{f1}=8,5(\text{mm})$ $d_{f2}=39,5(\text{mm})$

### 2.5.6 Tính toán thiết kế khớp nối

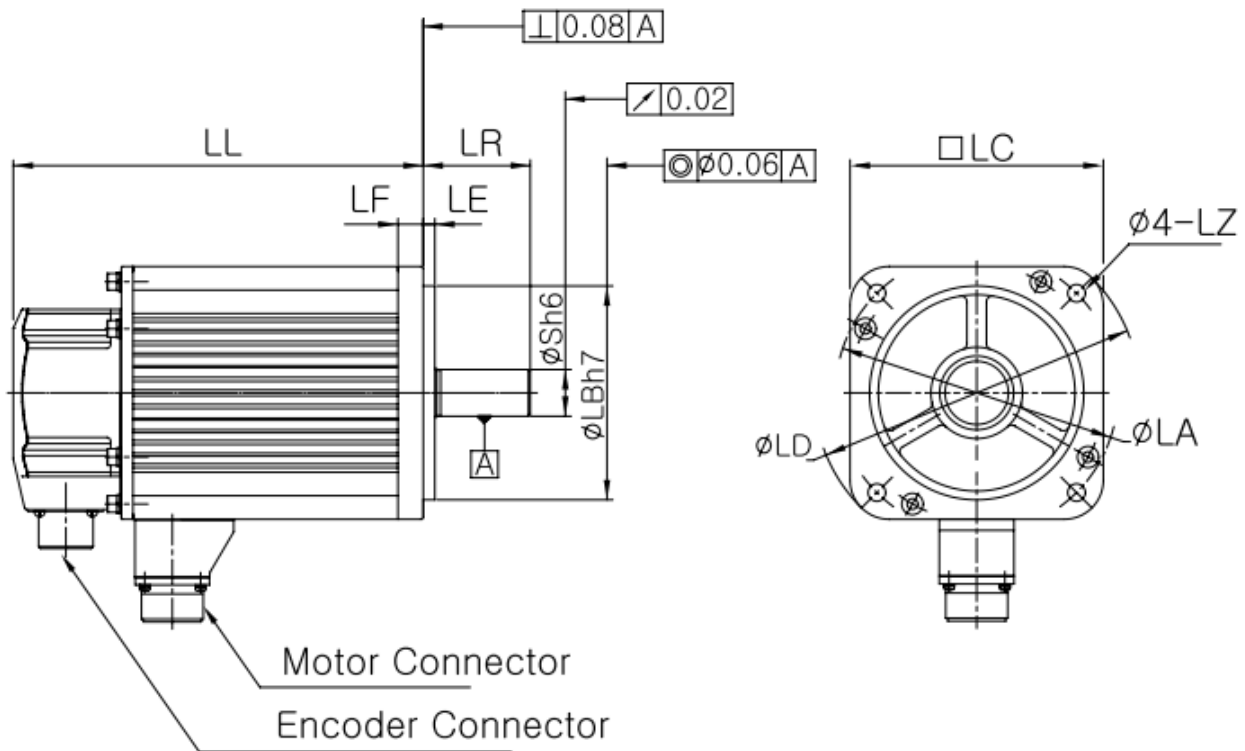
#### 2.5.6.1 Tính chọn khớp nối

##### Thông số đầu vào

Momen cần truyền:  $T = T_{dc} = 23875 \text{ Nmm}$

Đường kính trục động cơ, tra RSMK Motor Series của Samsung ta có

$$d_{dc} = 15\text{mm}$$



Hình 2.9. Thông số hình học của động cơ

### Chọn khớp nối

Ta sử dụng khớp nối vòng đàn hồi để nối trục (do tải trung bình).

Ta chọn khớp nối theo điều kiện 
$$\begin{cases} T_t \leq [T_{kn}] \\ d_t \leq [d_{kn}] \end{cases}$$

Trong đó:

$T_t$  momen xoắn tính toán  $T_t = k.T$  với k hệ số chế độ làm việc, phụ thuộc vào loại máy,

tra  $\frac{16.1}{58}$  [2] ta lấy k=1,2; T momen xoắn danh nghĩa trên trục:

:  $T = T_{dc} = 119375 \text{ Nmm}$

Vậy  $T_t = k. T = 1,2.23875 = 28650 \text{ Nmm} = 28,65 \text{ Nm}$

$d_t = d_{dc} = 16\text{mm}$  đường kính trục cần nối.

Tra bảng  $\frac{16.10a}{68}$  [2] với điều kiện: 
$$\begin{cases} T_t < [T_{kn}] \\ d_t < [d_{kn}] \end{cases}$$

Ta được 
$$\begin{cases} [T_{kn}] = 31,5 \\ [d_{kn}] = 16 \\ Z = 4 \\ D_0 = 63 \end{cases}$$

Tra bảng  $\frac{16.10b}{69}[2]$  với  $[T_{kn}] = 31,5$  (Nm) ta được: 
$$\begin{cases} l_1 = 20 \\ l_3 = 15 \\ d_c = 10 \end{cases}$$

### 2.5.6.2 Kiểm nghiệm khớp nối

Ta kiểm nghiệm theo 2 điều kiện:

#### a. Điều kiện sức bền dập của vòng đàn hồi

$$\sigma_d = \frac{2kT}{ZD_0d_c l_3} \leq [\sigma_d] \text{ với } [\sigma_d] \text{ ứng suất dập cho phép của vòng cao su: } [\sigma_d] = (2 \sim 4) \text{ Mpa}$$

$$\sigma_d = \frac{2.1.2.23875}{4.63.10.15} = 1,52(\text{MPa}) < [\sigma_d] = (2 \div 4) (\text{MPa}) \text{ thỏa mãn điều kiện sức bền dập}$$

#### b. Điều kiện sức bền của chốt

$$\sigma_u = \frac{k.T.l_1}{0,1.d_c^3.D_0.Z} \leq [\sigma_u] \text{ với } [\sigma_u] \text{ ứng suất cho phép của chốt: } [\sigma_u] = (60 \div 80) \text{ MPa}$$

$$\sigma_u = \frac{1.2.23875.20}{0,1.10^3.63.4} = 22.74(\text{MPa}) \text{ thỏa mãn điều kiện sức bền của chốt.}$$

#### c. Lực tác dụng lên trục khớp nối

Do sự không đồng tâm khi nối trục nên xuất hiện tải trọng phụ:

$$F_{kn} = 0,1.F_t \quad (F_{kn} = (0,1 \sim 0,3)F_t)$$

$$F_t = \frac{2T}{D_0} = \frac{2.23875}{63} = 758 \text{ N}$$

$$F_{kn} = 0,1.F_t = 0,1.758 = 76 \text{ N}$$

### 2.5.6.3 Tổng kết thông số cơ bản của nối trục vòng đàn hồi

Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Momen xoắn lớn nhất có thể truyền được	$[T_{kn}]$	31,5
Đường kính lớn nhất có thể của trục nối	$[d_{kn}]$	16
Số chốt	$Z$	4
Đường kính vòng tâm chốt	$D_0$	63
Chiều dài phần tử đàn hồi	$l_3$	15

Chiều dài đoạn công xôn của chốt	$l_1$	20
Đường kính của chốt đàn hồi	$d_c$	10

### 2.5.7 Tính toán thiết kế trục

#### 2.5.7.1 Chọn vật liệu

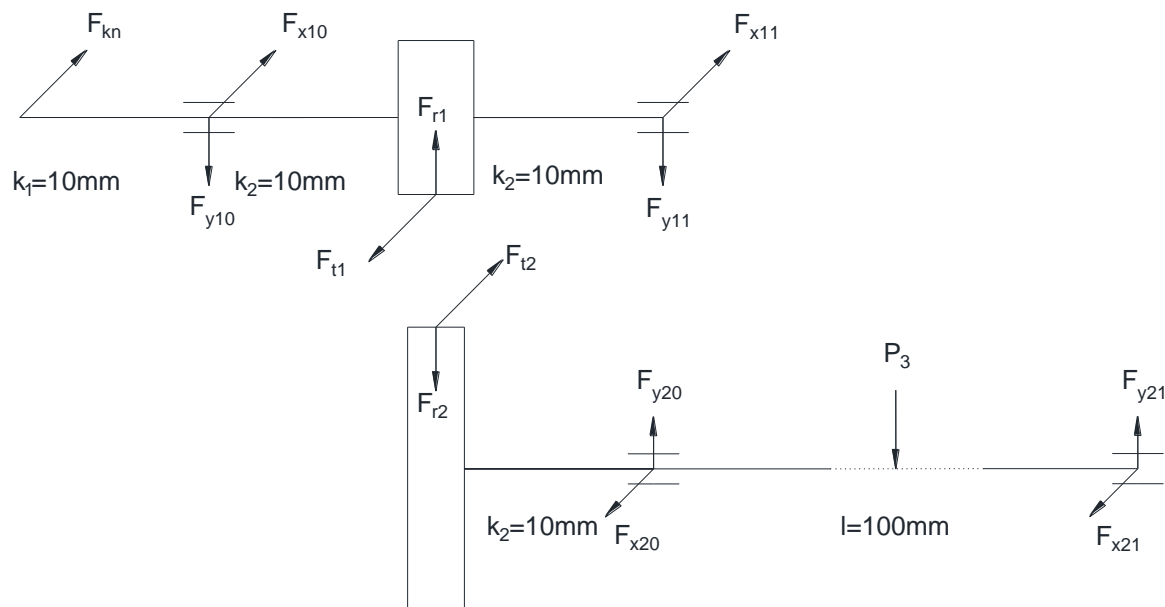
Chọn vật liệu chế tạo trục là thép hợp kim 40Cr có ứng suất xoắn cho phép là 95(MPa)

#### 2.5.7.2 Xác định lực và sơ đồ đặt lực

$$\text{Lực vòng } F_{t1} = \frac{2T_1}{d_{w1}} = F_{t2} = \frac{2 \cdot 1990}{10} = 398(\text{N})$$

$$\text{Lực hướng tâm : } F_{r1} = \frac{F_{t1} \tan \alpha_{tw}}{\cos \beta} = F_{r2} = \frac{398 \tan 20^\circ}{\cos 0^\circ} = 145(\text{N})$$

Trục I còn chịu lực khớp nối:  $F_{kn} = 76(\text{N})$



Hình 2.10. Sơ đồ lực dọc trục

Chọn khoảng cách từ chi tiết quay ngoài hộp đến ổ lăn  $k_1 = 10(\text{mm})$

Khoảng cách từ bánh răng đến ổ lăn  $k_2 = 10(\text{mm})$

Độ dài trục II lắp khâu 2 là  $l = 100(\text{mm})$

#### 2.5.7.3 Hệ phương trình cân bằng lực và momen

##### Trục I



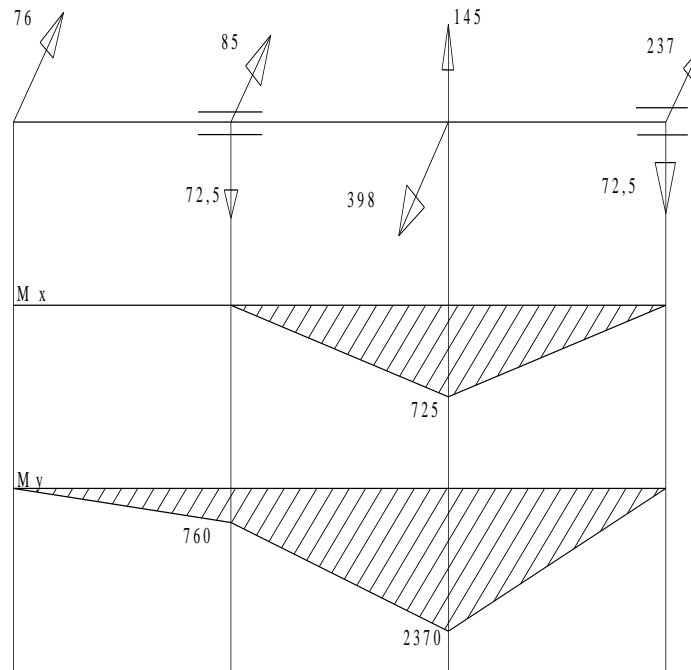
$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_{x1} = F_{kn} + F_{x10} - F_{t1} + F_{x11} = 0 \\ \sum F_{y1} = F_{y10} - F_{r1} + F_{y11} = 0 \\ \sum M_{x10} = F_{r1} \cdot k_2 - F_{y11} \cdot (k_2 + k_3) = 0 \\ \sum M_{y10} = -F_{kn} \cdot k_1 - F_{t1} \cdot k_2 + F_{x11} \cdot (k_2 + k_3) = 0 \\ F_{x10} = F_{t1} - F_{kn} - F_{x11} = 85 \\ F_{y10} = F_{r1} - F_{y11} = 72,5 \\ F_{y11} = \frac{F_{r1} \cdot k_2}{k_1 + k_2} = 72,5 \\ F_{x11} = \frac{F_{kn} \cdot k_1 + F_{t1} \cdot k_2}{k_1 + k_2} = 237 \end{array} \right.$$

**Trục II**

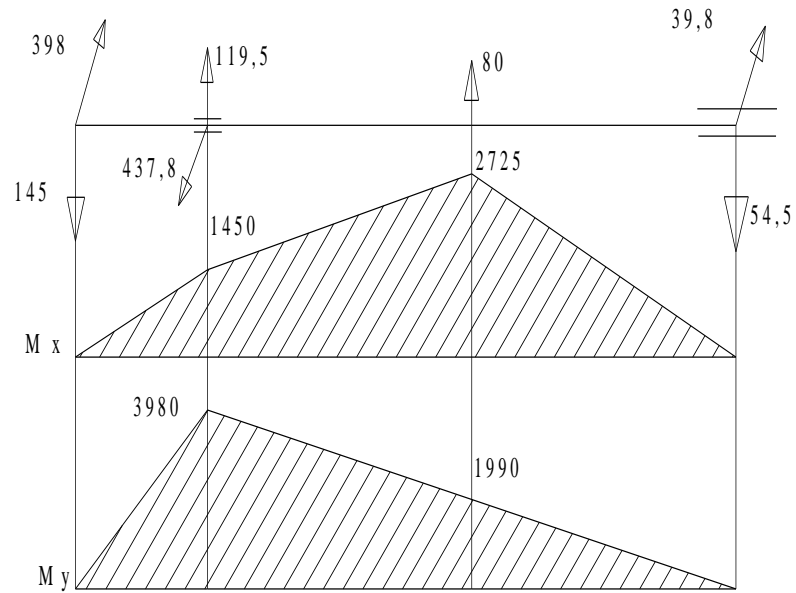
$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_{x2} = -F_{t2} + F_{x20} + F_{x21} = 0 \\ \sum F_{y2} = -F_{r2} + F_{y20} - P_{25} + F_{y21} = 0 \\ \sum M_{x20} = F_{r2} \cdot k_2 - P_{25} \frac{l}{2} + F_{y21} \cdot l = 0 \\ \sum M_{y10} = -F_{kn} \cdot k_1 - F_{t1} \cdot k_2 + F_{x11} \cdot (k_2 + k_3) = 0 \\ F_{x20} = F_{t2} - F_{x21} = 437,8 \\ F_{y20} = F_{r2} + P_3 - F_{y21} = 119,5 \\ F_{y21} = \frac{P_3 \frac{l}{2} - F_{r2} \cdot k_2}{l} = -54,5 \\ F_{x21} = \frac{-F_{t2} \cdot k_2}{l} = -39,8 \end{array} \right.$$

Hình 2.11. Biểu đồ Moment trục I

**Trục I**



## Trục II



Hình 2.1. Biểu đồ Moment trục II

#### 2.5.7.4 Xác định đường kính trục

Đường kính các đoạn trục được tính theo công thức

$$d_j = \sqrt[3]{\frac{M_{tdj}}{0,1[\sigma]}}$$

Trong đó:

$[\sigma]$  - ứng suất cho phép chế tạo trục

$M_j$  - Mô men uốn tổng  $M_j = \sqrt{M_{yj}^2 + M_{xj}^2}$

$M_{tdj}$  - Mô men tương đương  $M_{tdj} = \sqrt{M_j^2 + 0,75M_{xj}^2}$

$$\text{Vậy ta có } d = \sqrt[3]{\frac{\sqrt{M_{yj}^2 + M_{xj}^2} + 0,75.T_j^2}{0,1[\sigma]}}$$

$[\sigma]$  ứng suất cho phép thép chế tạo trục. Chọn thép 40Cr tôi có  $[\sigma] = 95(MPa)$

### Trục I

-Vì nối với trục động cơ có  $d_{dc} = 15mm$  nên đường kính trục khớp nối chọn theo tiêu chuẩn lấy tối thiểu bằng  $d_{kn} = (0,8 \dots 1,2) d_{dc} = (12 \dots 18)mm$

Chọn.  $d_{kn} = 12mm$

-Tại tiết diện chỗ lắp 2 ổ lăn:

Chọn đồng bộ  $d_{01} = d_{02} = 12mm$

-Tại tiết diện chỗ lắp bánh răng 1:

Vì đường kính chân bánh răng 1  $d_{f1} = 14,5mm$  nên chọn đường kính trục tương ứng để chế tạo liền trục, chọn theo dãy được  $d_1 = 12(mm)$

### Trục II

Tại tiết diện lắp ổ lăn phía bên phải momen nhỏ hơn bên trái nên ta chỉ cần tính cho 1 ổ lăn bên phải:

$$d_{02} = \sqrt[3]{\frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2} + 0,75T_2^2}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{\sqrt{5500^2 + 15120^2} + 0,75.45203^2}{0,1.95}} = 16,47(mm)$$

Chọn theo Catalog ổ lăn SKF được  $d_{02} = 18(mm)$

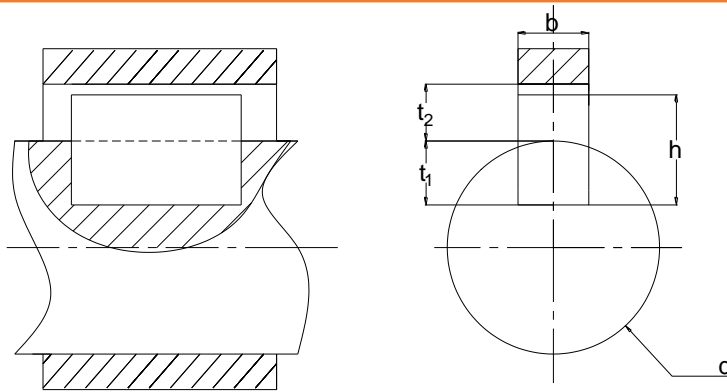
Tại tiết diện chính giữa 2 ổ lăn đặt trọng lực khâu 2:

$$d_{02} = \sqrt[3]{\frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2} + 0,75T_2^2}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{\sqrt{5650^2 + 7570^2} + 0,75.45203^2}{0,1.95}} = 16,2(mm)$$

Chọn theo Catalog ổ lăn SKF được  $d_{02} = 18(mm)$

#### 2.5.7.5 Tính mối ghép then

Do các trục đều nằm trong hộp giảm tốc nên chọn then bằng.



Hình 2.2. Kết cấu then bằng

d: đường kính trục lắp then

b: chiều rộng then

h: chiều cao then

t<sub>1</sub>: chiều sâu rãnh then trên trục

t<sub>2</sub>: chiều sâu rãnh then trên lỗ

## Trục II

Theo bảng  $\frac{9.1a}{173}$  [1] với đường kính chỗ lắp then  $d = 18$  ta có then

$$b = 6; h = 6; t_1 = 3,5; t_2 = 2,8; 0,16 < r < 0,25$$

Chiều dài then chọn theo dãy  $l_{11} = (0,8 \dots 0,9)k_3 = (0,8 \dots 0,9) \cdot 10 = (8 \dots 9)$  chọn theo dãy  $l_{11} = 8$

Kiểm tra độ bền của then theo công thức 9-1 và 9-2 /173 [1]

$$\sigma_d = \frac{2T_1}{d l_t (h - t_1)} \leq [\sigma_d]$$

$$\tau_c = \frac{2T_1}{d l_t b} \leq [\tau_c]$$

Trong đó

T - momen xoắn trên trục

d - đường kính trục

$l_t, b, h, t$  - các kích thước then

$[\sigma_d]$  - ứng suất dập cho phép tra bảng  $\frac{9.5}{178}$  [1] với điều kiện tĩnh ta có  $[\sigma_d] = 150$

$[\tau_c]$  - ứng suất cắt cho phép, thép C45 trong điều kiện tĩnh vừa lấy  $[\tau_c] = 50$

$$\sigma_{d1} = \frac{2T}{d \cdot l_{t1} \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 12097}{18.8 \cdot (6 - 3.5)} = 67,2 < [\sigma_d] = 150$$

$$\tau_{d1} = \frac{2T}{d \cdot l_{t1} \cdot b} = \frac{2 \cdot 12097}{18.8 \cdot 6} = 28 < [\tau_c] = 50$$

vậy then đủ bền

### 2.5.7.6 Kiểm nghiệm độ bền trục

#### a. Kiểm nghiệm độ bền mỏi

Kết cấu trục vừa thiết kế đảm bảo độ bền mỏi yêu cầu nếu hệ số an toàn tại các chi tiết

nguy hiểm thỏa mãn điều kiện sau:  $s_j = \frac{s_{\sigma_j} \cdot s_{\tau_j}}{\sqrt{s_{\sigma_j}^2 + s_{\tau_j}^2}} \geq [s]$

#### Trục I

Vì đường kính trục được chọn phù hợp với đường kính trục động cơ và bánh răng nên ta chỉ cần kiểm nghiệm ở tiết diện bé nhất của trục .

Xét tiết diện lắp tại ổ lăn nguy hiểm (bên trái):

Điều kiện độ bền mỏi  $s_1 = \frac{s_{\sigma_1} \cdot s_{\tau_1}}{\sqrt{s_{\sigma_1}^2 + s_{\tau_1}^2}} \geq [s]$

Trong đó:

$[s]$  - hệ số an toàn cho phép, thông thường  $[s] = 1,5 \dots 2,5$

$s_{\sigma_1}, s_{\tau_1}$  - hệ số an toàn chỉ xét riêng ứng suất pháp, tiếp

$$\begin{cases} s_{\sigma_1} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma d1} \cdot \sigma_{a1} + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_{m1}} \\ s_{\tau_1} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau d1} \cdot \tau_{a1} + \psi_{\tau} \cdot \tau_{m1}} \end{cases}$$

với  $\sigma_{-1}$  và  $\tau_{-1}$  giới hạn mỏi uốn và xoắn và xoắn ứng với chu kỳ đối xứng,

với thép 40Cr có  $\sigma_b = 1200 \text{ MPa} \rightarrow \begin{cases} \sigma_{-1} = 0,436 \cdot \sigma_b = 0,436 \cdot 1200 = 523 \\ \tau_{-1} = 0,58 \cdot \sigma_{-1} = 0,58 \cdot 523 = 303 \end{cases}$

Biên độ và trị số trung bình của ứng suất pháp:

$$\begin{cases} \sigma_a = \sigma_{\max} = \frac{M}{W} \\ \sigma_m = 0 \end{cases}$$

$$\text{với } W = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 12^3}{32} = 170$$

$$\sigma_{\alpha 1} = \sigma_{\max} = \frac{M_1}{W_1} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{W_1} = \frac{\sqrt{760^2}}{170} = 4,47$$

Biên độ và trị số trung bình của ứng suất tiếp:

$$\begin{cases} \tau_{a2} = \tau_{\max 1} = \frac{T_1}{W_{01}} \\ \tau_{m2} = 0 \end{cases}$$

$$\text{với } W_{01} = \frac{\pi d_1^3}{16} = \frac{\pi \cdot 12^3}{16} = 339$$

$$\tau_{a1} = \tau_{\max} = T_1 / W_{01} = 35,7$$

$\psi_\sigma, \psi_\tau$  - hệ số chỉ đến ảnh hưởng của trị số ứng suất trung bình đến độ bền mỏi

Tra  $\frac{10.7}{197}$  [1] ta có:

$$\begin{cases} \psi_\sigma = 0,05 \\ \psi_\tau = 0 \end{cases}$$

$K_{\sigma d1}, K_{\tau d1}$  - hệ số xác định theo công thức

$$\begin{cases} K_{\sigma d1} = (K_\sigma / \varepsilon_\sigma + K_x - 1) / K_y \\ K_{\tau d1} = (K_\tau / \varepsilon_\tau + K_x - 1) / K_y \end{cases}$$

với

$K_x$  - hệ số tập trung ứng suất do trạng thái bề mặt, phụ thuộc vào phương pháp gia công và độ nhẵn bề mặt. Tra  $\frac{10.8}{197}$  [1] với bề mặt mài,  $\sigma_b = 1200 \text{Mpa}$  có  $K_x = 1$

$K_y$  - hệ số tăng bền bề mặt trục, phụ thuộc vào phương pháp tăng bền bề mặt, cơ tính vật liệu. Tra  $\frac{10.9}{197}$  [1] với trục tập trung nhiều ứng suất,  $\sigma_b = 1200 \text{Mpa}$  có  $K_y = 2,1$

$\varepsilon_\sigma, \varepsilon_\tau$  - hệ số kích thước kể đến ảnh hưởng của kích thước tiết diện trục đến giới hạn

mỏi. Tra  $\frac{10.10}{198}$  [1] với thép hợp kim có  $\begin{cases} \varepsilon_\sigma = 0,92 \\ \varepsilon_\tau = 0,92 \end{cases}$



$K_\sigma, K_\tau$  - hệ số tập trung ứng suất thực tế khi uốn và khi xoắn, phụ thuộc giới hạn bền

vật liệu trục. Tra  $\frac{10.12}{199} [1]$  có  $\begin{cases} K_\sigma = 1,76 \\ K_\tau = 1,54 \end{cases}$

Vậy có  $\begin{cases} K_{\sigma d1} = (K_\sigma / \varepsilon_\sigma + K_x - 1) / K_y = (1,76 / 0,92 + 1 - 1) / 2,1 = 0,9 \\ K_{\tau d1} = (K_\tau / \varepsilon_\tau + K_x - 1) / K_y = (1,54 / 0,92 + 1 - 1) / 2,1 = 0,7 \end{cases}$

Vậy

$$\begin{cases} s_{\sigma 1} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma d1} \tau_{a1} + \psi_\sigma \sigma_{m1}} = \frac{523}{0,9 \cdot 4,47 + 0,05 \cdot 0} = 130 \\ s_{\tau 1} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau d1} \tau_{a1} + \psi_\sigma \tau_{m1}} = \frac{303}{0,7 \cdot 35,7 + 0 \cdot 0} = 12,1 \end{cases}$$

Thay vào :  $s_1 = \frac{s_{\sigma 1} s_{\tau 1}}{\sqrt{s_{\sigma 1}^2 + s_{\tau 1}^2}} = \frac{130 \cdot 12,1}{\sqrt{130^2 + 12,1^2}} = 12 > [s] = (1,5 \dots 2,5)$

Thỏa mãn điều kiện bền mỗi.

## Trục II

Tại tiết diện lắp bánh răng 2, momen  $M_x = M_y = 0$  nên thừa bền không cần kiểm nghiệm.

Xét tiết diện nguy hiểm ở lăn 2 (bên phải):

Kiểm nghiệm tương tự ta có:

$$\sigma_b = 1200 \text{ MPa} \rightarrow \begin{cases} \sigma_{-1} = 0,436 \cdot \sigma_b = 0,436 \cdot 1200 = 523 \\ \tau_{-1} = 0,58 \cdot \sigma_{-1} = 0,58 \cdot 523 = 303 \end{cases}$$

Biên độ và trị số trung bình của ứng suất pháp:

$$\begin{cases} \sigma_a = \sigma_{\max} = \frac{M}{W} \\ \sigma_m = 0 \end{cases} \quad \text{với : } w_2 = \frac{\pi d_2^3}{32} = \frac{\pi 18^3}{32} = 572,3$$

$$\sigma_{\alpha 2} = \sigma_{\max 2} = \frac{M_2}{W_2} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{W_2} = \frac{\sqrt{5500^2 + 15120^2}}{572} = 28,11$$

Biên độ và trị số trung bình của ứng suất tiếp:





$$\begin{cases} \tau_{a2} = \tau_{\max 2} = \frac{T_2}{W_{02}} \\ \tau_{m2} = 0 \end{cases} \quad w_{02} = \frac{\pi d_2^3}{16} = \frac{\pi 18^3}{16} = 1144,5$$

$$\tau_{a2} = \tau_{\max} = \frac{T_2}{w_{02}} = \frac{45203}{1144,5} = 39,5$$

Các hệ số được chọn tương tự:

$$\begin{cases} \psi_{\sigma} = 0,05 \\ \psi_{\tau} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} K_{\sigma} = 1,76 \\ K_{\tau} = 1,54 \end{cases} \quad \begin{cases} \varepsilon_{\sigma} = 0,92 \\ \varepsilon_{\tau} = 0,92 \end{cases} \quad \begin{cases} K_x = 1 \\ K_y = 2,1 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} K_{\sigma d1} = (K_{\sigma} / \varepsilon_{\sigma} + K_x - 1) / K_y = (1,76 / 0,92 + 1 - 1) / 2,1 = 0,9 \\ K_{\tau d1} = (K_{\tau} / \varepsilon_{\tau} + K_x - 1) / K_y = (1,54 / 0,92 + 1 - 1) / 2,1 = 0,7 \end{cases}$$

Vậy

$$\begin{cases} s_{\sigma 1} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma d1} \tau_{a1} + \psi_{\sigma} \sigma_{m1}} = \frac{523}{0,9 \cdot 28 + 0,05 \cdot 0} = 20,8 \\ s_{\tau 1} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau d1} \tau_{a1} + \psi_{\sigma} \tau_{m1}} = \frac{303}{0,7 \cdot 39,5 + 0 \cdot 0} = 11 \end{cases}$$

$$\text{Thay vào } s_1 = \frac{s_{\sigma 1} s_{\tau 1}}{\sqrt{s_{\sigma 1}^2 + s_{\tau 1}^2}} = \frac{21 \cdot 11}{\sqrt{21^2 + 11^2}} = 9,7 > [s] = (1,5 \dots 2,5)$$

Thỏa mãn điều kiện bền mỏi.

### b Kiểm nghiệm độ bền tĩnh

Để đề phòng khả năng bị biến dạng dẻo quá lớn hoặc phá hỏng do quá tải đột ngột cần tiến hành kiểm nghiệm trực về độ bền tĩnh. Công thức kiểm nghiệm có dạng:

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]$$

### Trục I

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]$$

Với

$$\sigma = M_{\max} / (0,1d^3)$$

$$\tau = T_{\max} / (0,2d^3)$$

$$[\sigma] = 0,8\sigma_{ch}$$

Xét tiết diện 1-1:

$$\sigma_{\alpha 1} = \sigma_{\max} = \frac{M_1}{W_1} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{W_1} = \frac{\sqrt{760^2}}{170} = 4,47$$

$$\tau_{\alpha 1} = \tau_{\max} = T_1 / W_{01} = 35,7$$

$$[\sigma] = 0,8\sigma_{ch} \text{ có } \sigma_{ch} = 580 \text{ từ } \frac{6.1}{92}[1] \rightarrow [\sigma] = 0,8\sigma_{ch} = 0,8.580 = 464$$

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{4,47^2 + 3.35,7^2} = 62 < [\sigma] = 464$$

Thỏa mãn độ bền tĩnh.

Xét tiết diện 1-2:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_1} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{W_1} = \frac{\sqrt{5500^2 + 15120^2}}{0,1.12^3} = 93,1$$

$$\tau_{\max} = T_1 / W_{01} = 12097 / (0,2.12^3) = 35$$

$$[\sigma] = 0,8\sigma_{ch} \text{ có } \sigma_{ch} = 580 \text{ từ } \frac{6.1}{91}[1] \rightarrow [\sigma] = 0,8\sigma_{ch} = 0,8.580 = 464$$

$$\rightarrow \sigma_{td} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{93^2 + 3.35^2} = 111 < [\sigma] = 464$$

Thỏa mãn độ bền tĩnh.

Kiểm nghiệm tương tự với trục II đều thỏa mãn.

## 2.5.8 Chọn ổ lăn

### 2.5.8.1 Ổ lăn trục I

#### a. Chọn loại ổ lăn

Trục I nối động cơ và lắp bánh răng thẳng không chịu lực dọc trục nên ta chọn ổ bi đỡ 1 dãy

#### b. Chọn kích thước ổ lăn

Theo tính toán phần kích thước trục, ta đã chọn được ổ lăn có  $d = 12(mm)$

Tra Catalog của SKF ta được bộ thông số:

Hình 2.3. Catalog ổ lăn trục I

Chọn:

Thông số	d(mm)	D(mm)	B(mm)	C(kN)	C <sub>0</sub> (kN)
Giá trị	12	37	12	11,1	4,15

## c. Kiểm nghiệm khả năng tải động của ổ

Khả năng tải động của ổ kiểm nghiệm theo công thức:  $C_d = Q\sqrt[m]{L}$

Trong đó:

Q - tải trọng quy ước

L - tuổi thọ tính bằng triệu vòng quay

m - là bậc của đường cong mỗi khi thử về ổ lăn, m=3 với ổ bi

Tính L:

Gọi  $L_h$  là tuổi thọ của  $\sigma$  tính bằng giờ:  $L = \frac{60.n_1.L_h}{10^6}$

với  $L_h = (10...25)10^3$  giờ tính trong hộp giảm tốc, chọn  $L_h = 10000$

$n_1=120$ (vg/ph) là số vòng quay của trục 1

Vậy  $L = \frac{60.n_1.L_h}{10^6} = \frac{60.120.10000}{10^6} = 7,2$  ( triệu vòng quay )

Xác định tải trọng động quy ước Q

$$Q = (X.V.F_r + Y.F_a)K_t.K_d$$

Trong đó

$F_r, F_a$  là tải trọng hướng tâm và tải trọng dọc trục

V là hệ số kể đến vòng nào quay, ở đây vòng trong quay  $\rightarrow V=1$

$K_t$  là hệ số kể đến ảnh hưởng của nhiệt độ  $K_t = 1(t^\circ < 100^\circ)$

$K_d$  là hệ số kể đến đặc tính tải trọng. Tra  $\frac{11.3}{215}$ [1], với va đập nhẹ:  $K_d = 1$

X, Y là hệ số tải trọng hướng tâm và dọc trục

Lực hướng tâm trên các ổ:

Kết quả  $F_{x10}, F_{y10}$  được sử dụng tiếp cho phân tích ổ lăn:

$$F_{r0} = \sqrt{F_{x10}^2 + F_{y10}^2} = \sqrt{642^2 + 275^2} = 698,4 \text{ N}$$

$$F_{r1} = \sqrt{F_{x11}^2 + F_{y11}^2} = \sqrt{794^2 + 275^2} = 840,3 \text{ N}$$

Lực dọc trục  $F_a = 0$

Vì chỉ có lực hướng tâm nên  $X=1, Y=0$

Tải trọng quy ước trên ổ 0 và 1 là:

$$Q_0 = (XV F_{r0} + YF_{a0})k_t k_d = (1 \cdot 1 \cdot 698,4 + 0 \cdot 0) = 768,2 \text{ N}$$

$$Q_1 = (XV F_{r1} + YF_{a1})k_t k_d = (1 \cdot 1 \cdot 840,3 + 0 \cdot 0) = 924 \text{ N}$$

Ta chỉ cần kiểm nghiệm ở ổ lăn chịu lực lớn hơn, có tải trọng động quy ước

$$Q = Q_1 = 924 \text{ N}$$

$$\text{Vậy } \Rightarrow C_d = Q \sqrt[m]{L} = 924 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{7,2} = 1,78 < C$$

Vậy ổ lăn đã chọn thỏa mãn khả năng tải động.

#### d. Kiểm nghiệm khả năng tải tĩnh của ổ

Nhằm tránh hiện tượng biến dạng dư ta tiến hành chọn ổ theo khả năng tải tĩnh.

Kiểm nghiệm khả năng tải tĩnh theo công thức:  $Q_t \leq C_0$

$$\text{Tra } \frac{11,6}{221} [1] \text{ với ổ bi đỡ 1 dãy } \rightarrow X_0 = 0,6$$

Kiểm nghiệm với ổ lăn chịu lực lớn hơn:  $F_{r1} = 4712,2 \text{ N}$

$$Q_{tb} = 0,6 \cdot 4712,2 = 2,823 \text{ kN} < C_0$$

Vậy ổ lăn đã chọn thỏa mãn khả năng tải tĩnh.

### 2.5.8.2 Ổ lăn trục II

#### a. Chọn loại ổ lăn

Do tính chất hoạt động linh hoạt theo các phương của cánh tay robot nên có lúc sinh ra lực dọc trục khớp 3 (ví dụ chuyển động cắt tịnh tiến theo phương  $Z_0$  của khâu 1 sẽ sinh lực dọc trục lên khớp 3). Vậy ta chọn ổ bi đỡ-chặn 1 dãy.

### b. Chọn kích thước ổ lăn

Theo tính toán phần kích thước trục, ta đã chọn được ổ lăn có  $d=18(\text{mm})$

Tra Catalog của SKF ta được bộ thông số:

Thông số	d(mm)	D(mm)	B(mm)	C(kN)	C <sub>0</sub> (kN)
Giá trị	18	50	20	17	19

Kiểm nghiệm khả năng tải tĩnh và động tương tự ổ ta được kết quả thỏa mãn.

### 2.5.9. Kiểm nghiệm bền các khâu Robot

#### ❖ Ta dùng phần mềm Abaqus để tiến hành kiểm nghiệm bền cho Robot

Từ kết quả bài toán tĩnh học, động lực học ta thu được lực và momen lớn nhất tác dụng lên các khâu.

#### ❖ Ta tiến hành kiểm nghiệm cho từng khâu với các thông số:

➤ vật liệu là thép với các thông số như sau:

- khối lượng riêng :  $D= 7800(\text{Kg}/\text{m}^3)$
- modun đàn hồi :  $E=2.1\text{e}11(\text{N}/\text{m}^2)$
- hệ số poisson :  $\epsilon=0.28$
- giới hạn bền :  $\sigma_b = 6.10^8(\text{N}/\text{m}^2)$
- giới hạn chảy :  $\sigma_{ch} = 3,4.10^8(\text{N}/\text{m}^2)$
- .v.v.

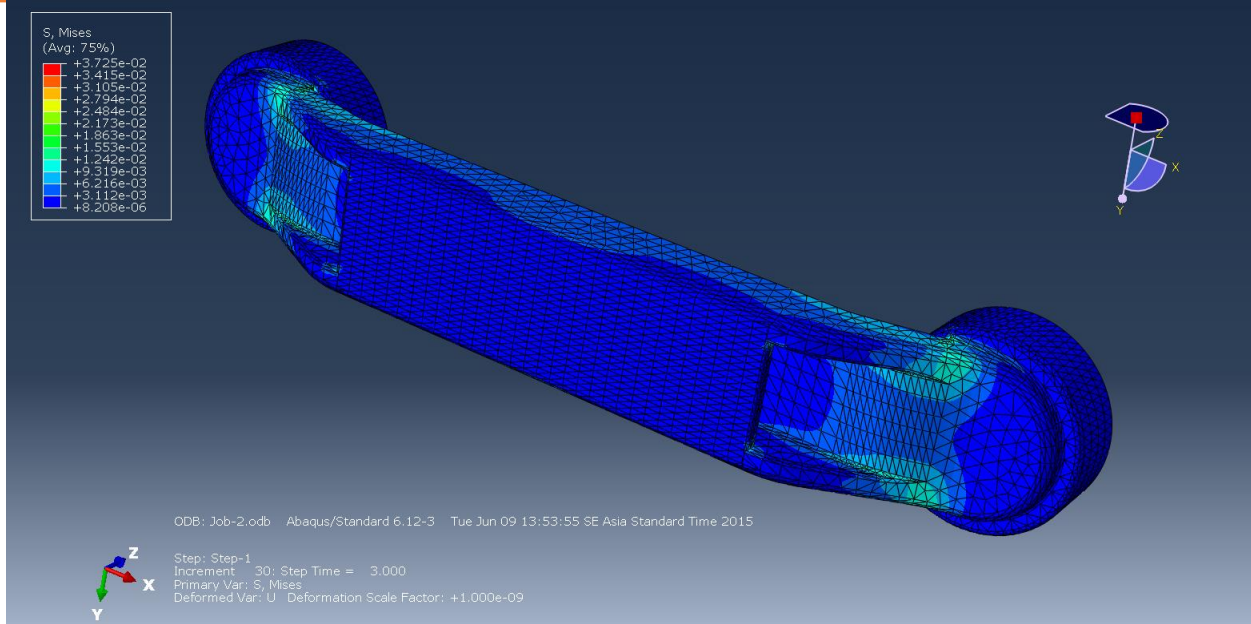
➤ Lực và momen tác dụng vào từng khâu

- Là lực và momen lớn nhất thu được từ bài toán tĩnh học và động lực học

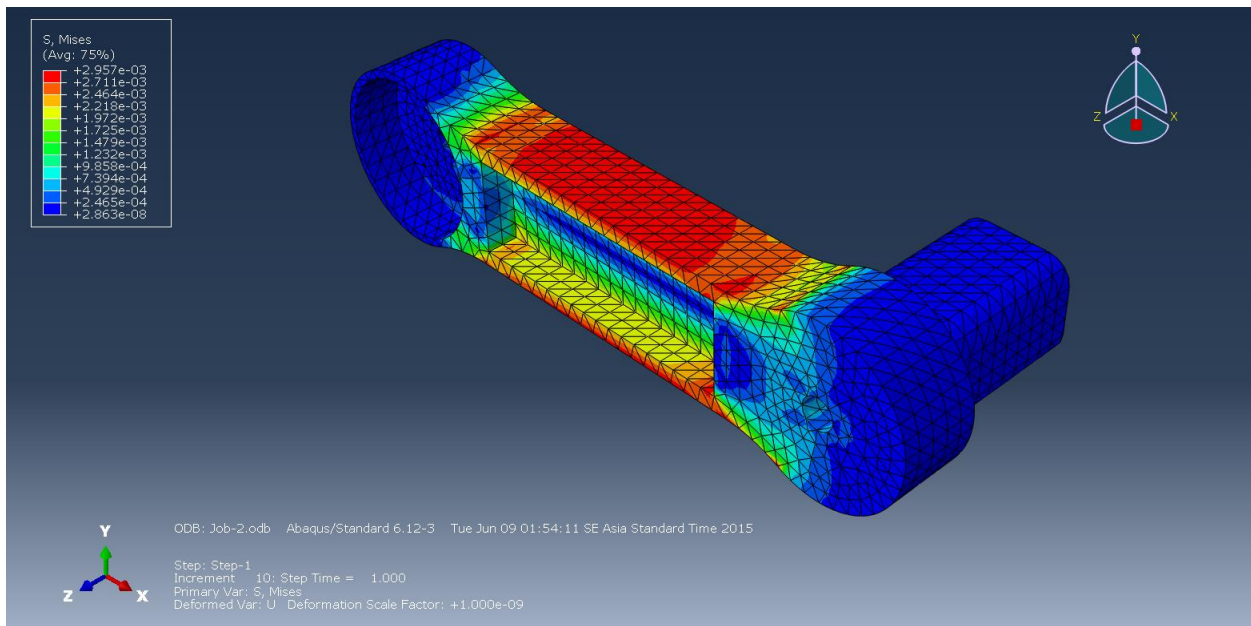
$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{l} Fx_{\text{max}} = 0 \\ Fy_{\text{max}} = 220 \quad (\text{N}) \\ Fz_{\text{max}} = 0 \end{array} \right. \\ & \left\{ \begin{array}{l} Mx_{\text{max}} = 0 \\ My_{\text{max}} = 0 \quad (\text{Nm}) \\ Mz_{\text{max}} = 100 \end{array} \right. \end{aligned}$$

#### ❖ Ta thu được các kết quả kiểm nghiệm như sau :

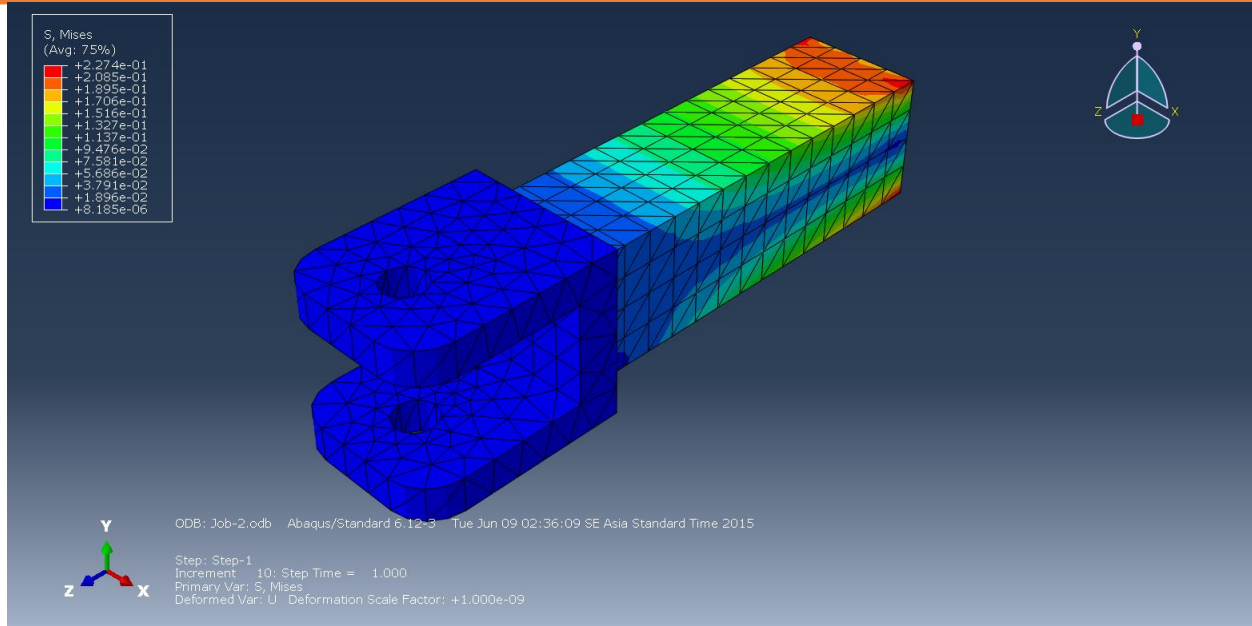
➤ **Khâu thứ nhất**



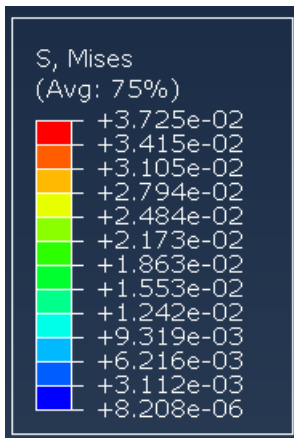
➤ **Khâu thứ hai**



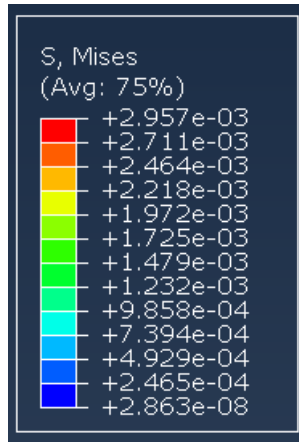
➤ **Khâu thứ ba**



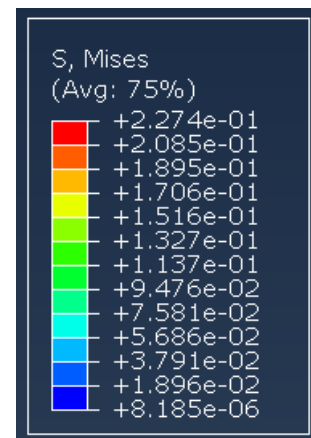
❖ Từ các kết quả mô phỏng ta có ứng suất lớn nhất trên các khâu như sau :



khâu thứ nhất



khâu thứ hai



khâu thứ ba

⇒ ứng suất lớn nhất trên các khâu là:

$$\sigma_{\max} = 2,74 \cdot 10^{-1} (\text{N/ m}^2)$$

Ta có:

$$\sigma_{\max} = 2,74 \cdot 10^{-1} (\text{N/ m}^2) \leq \sigma_b = 6 \cdot 10^8 (\text{N/ m}^2)$$

Nên các khâu của Robot đủ bền.



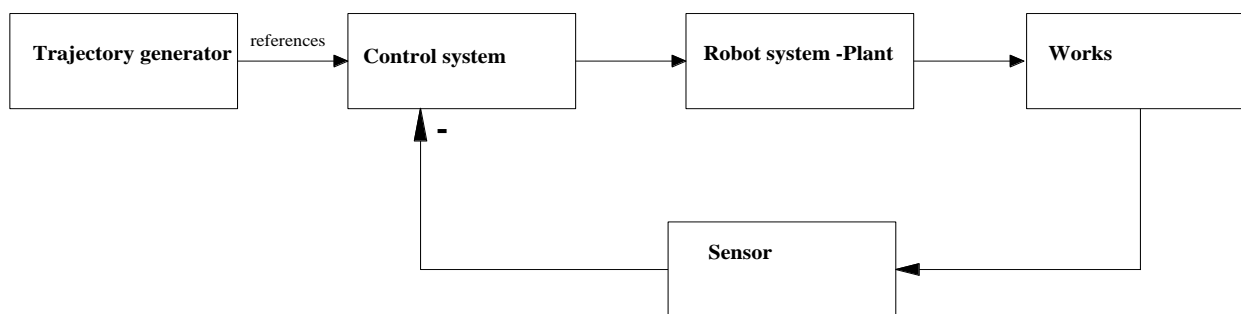
## 2.6. Thiết kế hệ thống điều khiển

### 2.6.1. Chọn luật điều khiển

Hiện nay trên thế giới ngành khoa học điều khiển tự động đã có những bước nhảy vọt về cả cơ sở lý thuyết khoa học lẫn các thiết bị phần cứng, giúp các kỹ sư có thể triển khai được các thuật toán điều khiển trên Robot. Có nhiều phương pháp điều khiển hiện đại đã được áp dụng trên Robot như : Điều khiển mờ, Điều khiển tối ưu, thích nghi bền vững....

Tuy nhiên, phương pháp điều khiển dựa trên mô hình động lực Robot vẫn là phương pháp kinh điển và mang lại kết quả tương đối hiệu quả cho đến ngày nay.

Sơ đồ hệ điều khiển của robot: **Feedback and closed-loop control**



Ta có hệ phương trình vi phân mô tả đối tượng là Robot:

$$M(\underline{q})\ddot{\underline{q}} + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} + G(\underline{q}) = \underline{\tau}$$

Chọn luật điều khiển PD bù trọng lực cho robot bằng cách chọn tín hiệu điều khiển  $\underline{\tau}$  dựa trên mô hình robot sao cho có dạng  $\underline{\tau} = A\underline{\tau}' + B$  trong đó:

$$\begin{cases} \underline{\tau}' = \ddot{\underline{q}}_d + K_v(\dot{\underline{q}}_d - \dot{\underline{q}}) + K_p(\underline{q}_d - \underline{q}) \\ A = M(\underline{q}) \\ B = C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} + G(\underline{q}) \end{cases}$$

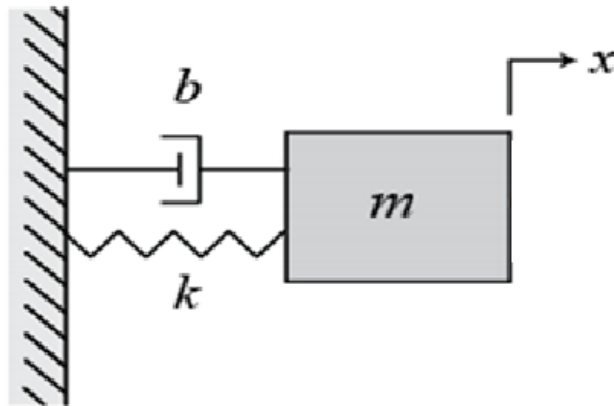
Từ đây thay vào phương trình vi phân chuyển động rút ra được:

$$\ddot{\underline{e}} + K_v \dot{\underline{e}} + K_p \underline{e} = \underline{0} \text{ với } \underline{e} = \underline{q}_d - \underline{q}$$



Có thể thấy rằng, phương trình trên có dạng dao động bậc hai, và bằng cách chọn các hệ số  $k_v, k_p$  thành phần của ma trận đường chéo  $K_v, K_p$  thì sẽ làm hệ có đáp ứng tùy vào cách chọn hệ số.

Khảo sát hệ dao động tự do có cản bậc hai:



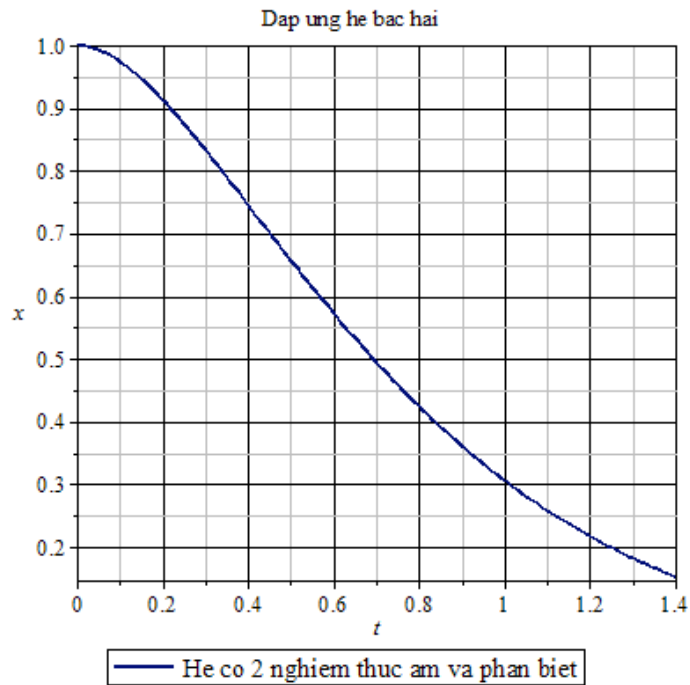
Phương trình chuyển động  $m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = 0$

Phương trình đặc trưng cho hệ đơn vị  $m=1$  ta có:  $s^2 + bs + k = 0$

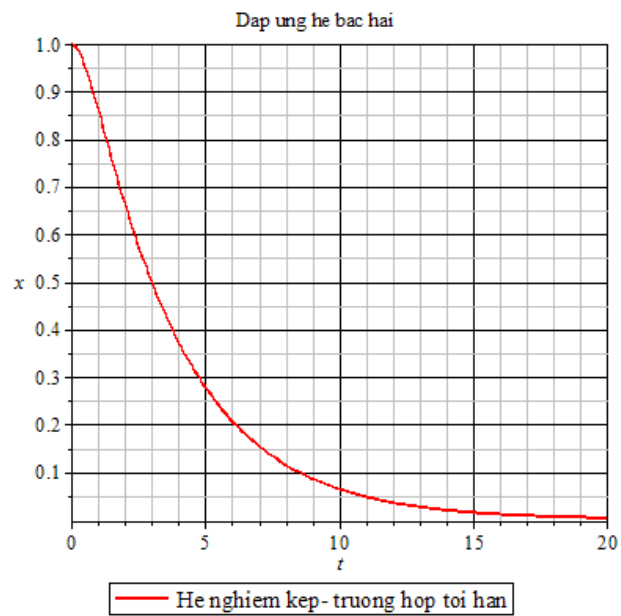
$$\Leftrightarrow \Delta = b^2 - 4k$$

Đề ý thấy rằng việc chọn các hệ số  $b$  và  $k$  phù hợp làm cho hệ thống có đáp ứng khác nhau.

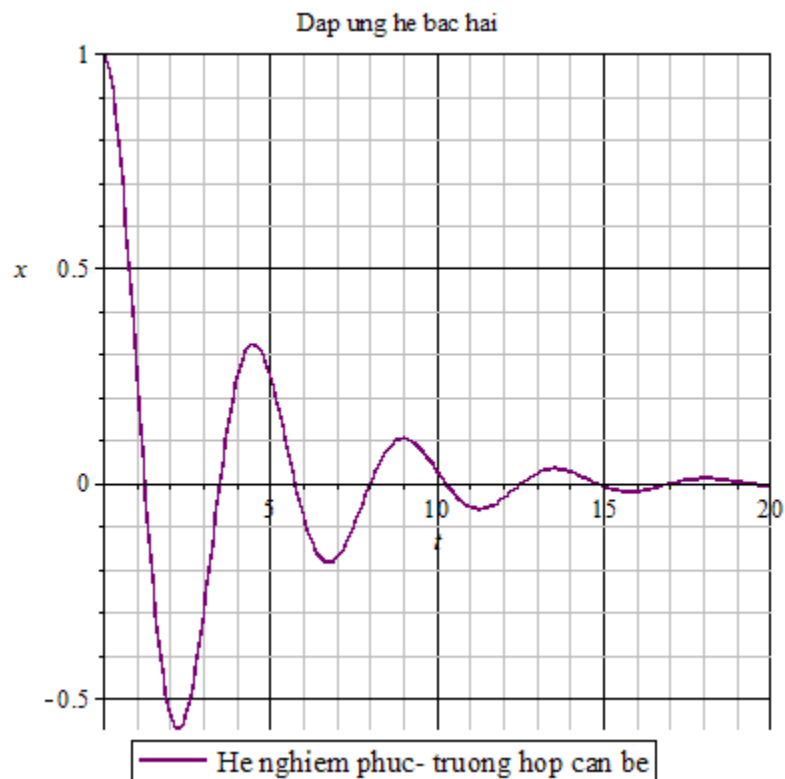
+ **Trường Hợp 1:**  $\Delta = b^2 - 4k > 0$  hệ quá cản- cản lớn



+ Trường hợp 2:  $\Delta = b^2 - 4k = 0$  hệ căn tới hạn



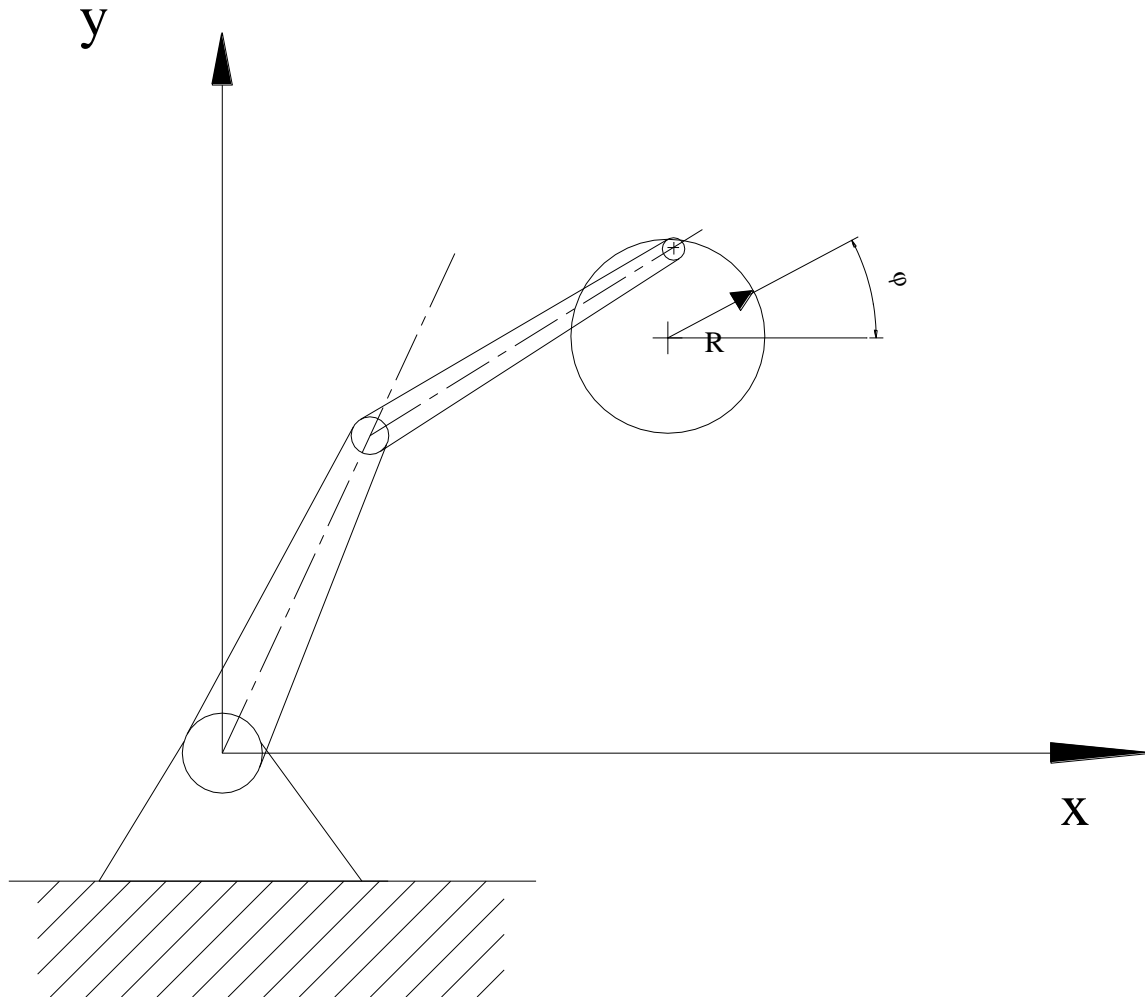
+ Trường hợp 3:  $\Delta = b^2 - 4k < 0$  hệ cản nhỏ- dao động tắt dần



Do đó, khi biết được các tính chất động lực học của hệ thống robot, ta tiến hành thiết kế bộ điều khiển PD-Bù trọng lực cho robot trong **không gian thao tác**.

### Bước 1: Ta thiết kế quỹ đạo cho robot

Xây dựng quy luật cho robot chuyển động trên đường tròn đường kính  $R=0.15(m)$ , tọa độ trọng tâm  $C(x_C, y_C)$ . Khâu cuối Robot chuyển ngược chiều kim đồng hồ và di chuyển với quỹ đạo cung cong biến đổi là hàm bậc 3, trong thời gian  $t=[t_0; t_e]$ , vị trí đầu-cuối là  $\varphi=[\varphi_0, \varphi_e]$  vận tốc đầu và cuối bằng  $[\omega_0, \omega_e]$



$$\begin{cases} xE = R \cos(\varphi(t)) + xC \\ yE = R \sin(\varphi(t)) + yC \\ zE = 0.135 \end{cases} \text{ với } \varphi(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3.$$

Từ các điều kiện đầu-cuối về vận tốc trong khoảng thời gian  $[t_0, t_e]$  ta có hệ phương trình:

$$\begin{cases} \varphi_0 = a_0 + a_1 t_0 + a_2 t_0^2 + a_3 t_0^3 \\ \omega_0 = a_1 + 2a_2 t_0 + 3a_3 t_0^2 \\ \varphi_e = a_0 + a_1 t_e + a_2 t_e^2 + a_3 t_e^3 \\ \omega_e = a_1 + 2a_2 t_e + 3a_3 t_e^2 \end{cases}$$

Đưa hệ phương trình trên về dạng ma trận để thuận tiện cho việc tính toán và lập trình sau này:

$$Tg \underline{a} = \underline{b} \Rightarrow \underline{a} = Tg^{-1} \underline{b}$$



$$Tg = \begin{bmatrix} 1 & t_o & t_o^2 & t_o^3 \\ 0 & 1 & 2t_o & 3t_o^2 \\ 1 & t_e & t_e^2 & t_e^3 \\ 0 & 1 & 2t_e & 3t_e^2 \end{bmatrix}; \underline{a} = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}; \underline{b} = \begin{bmatrix} \varphi_0 \\ \omega_1 \\ \varphi_e \\ \omega_e \end{bmatrix}$$

$$heso\_a := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{6}{25} \pi \\ -\frac{4}{125} \pi \end{bmatrix}$$

$$\phi := -\frac{4}{125} t^3 \pi + \frac{6}{25} t^2 \pi$$

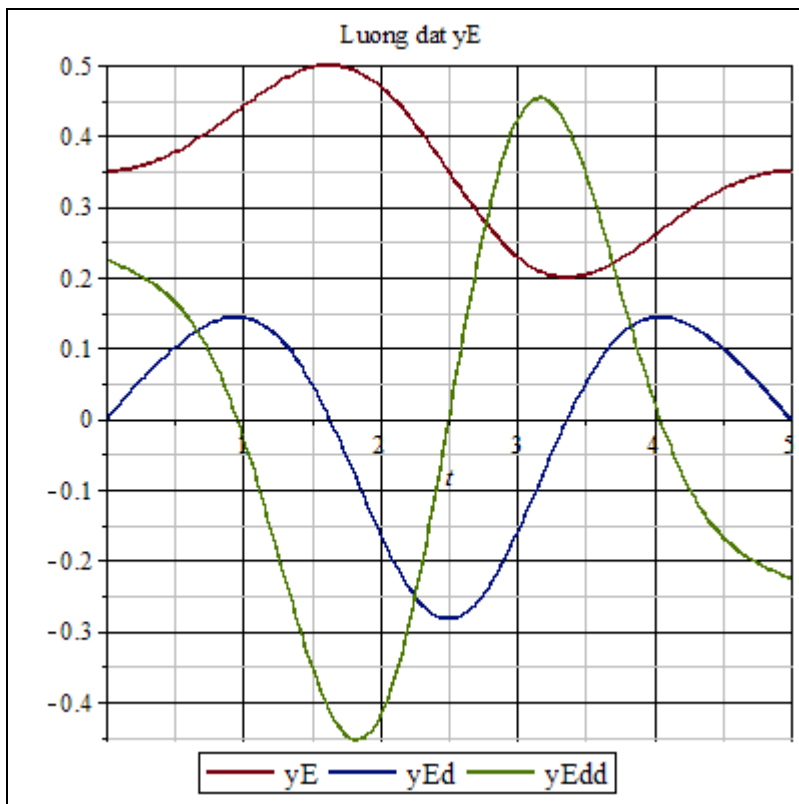
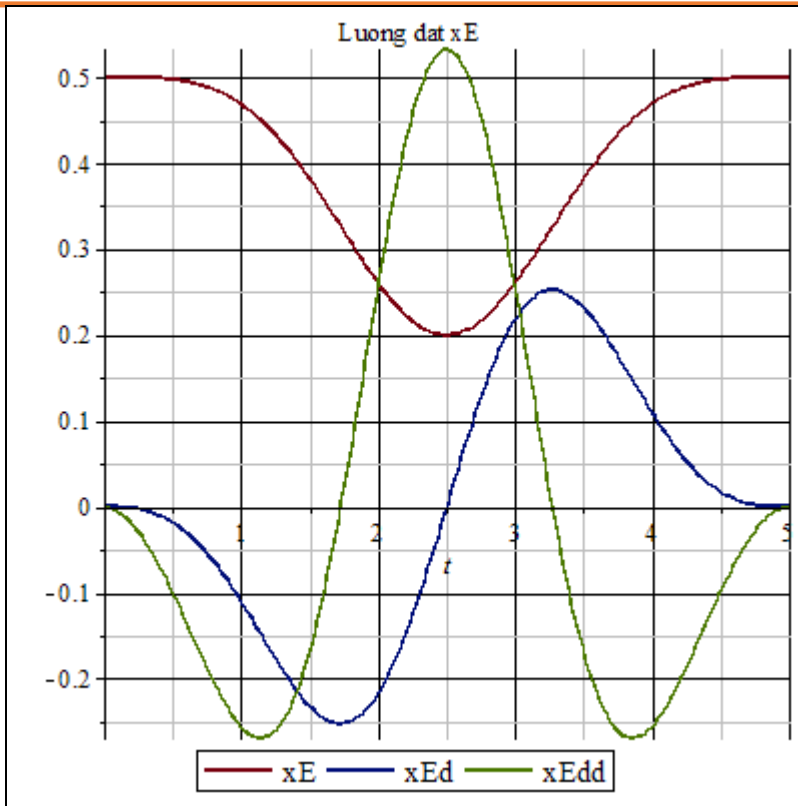
$$xE := R \cos\left(\frac{4}{125} t^3 \pi - \frac{6}{25} t^2 \pi\right) + xC$$

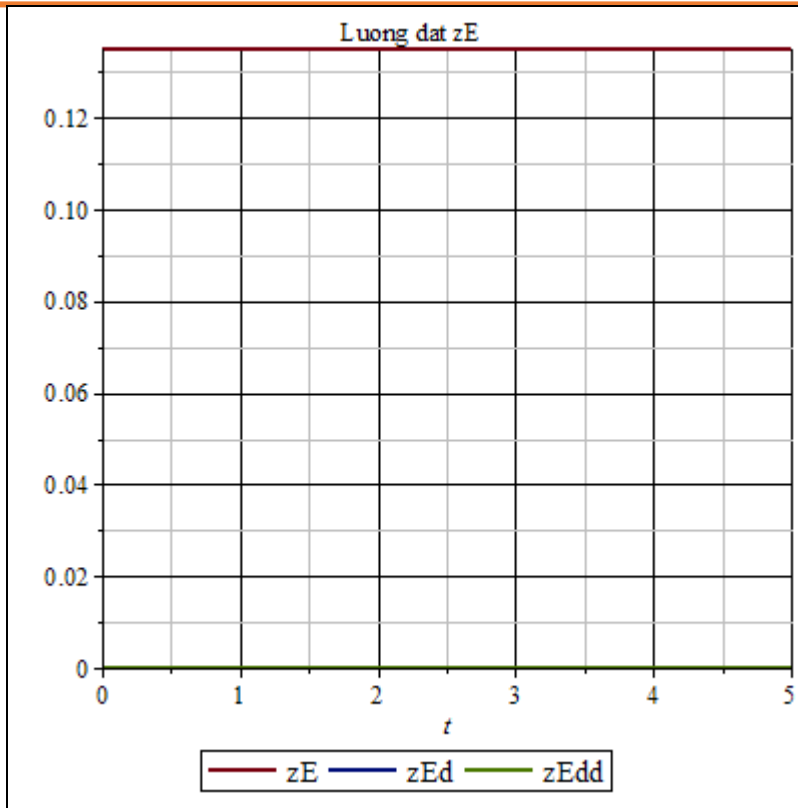
$$yE := -R \sin\left(\frac{4}{125} t^3 \pi - \frac{6}{25} t^2 \pi\right) + yC$$

$$zE := 0.135$$

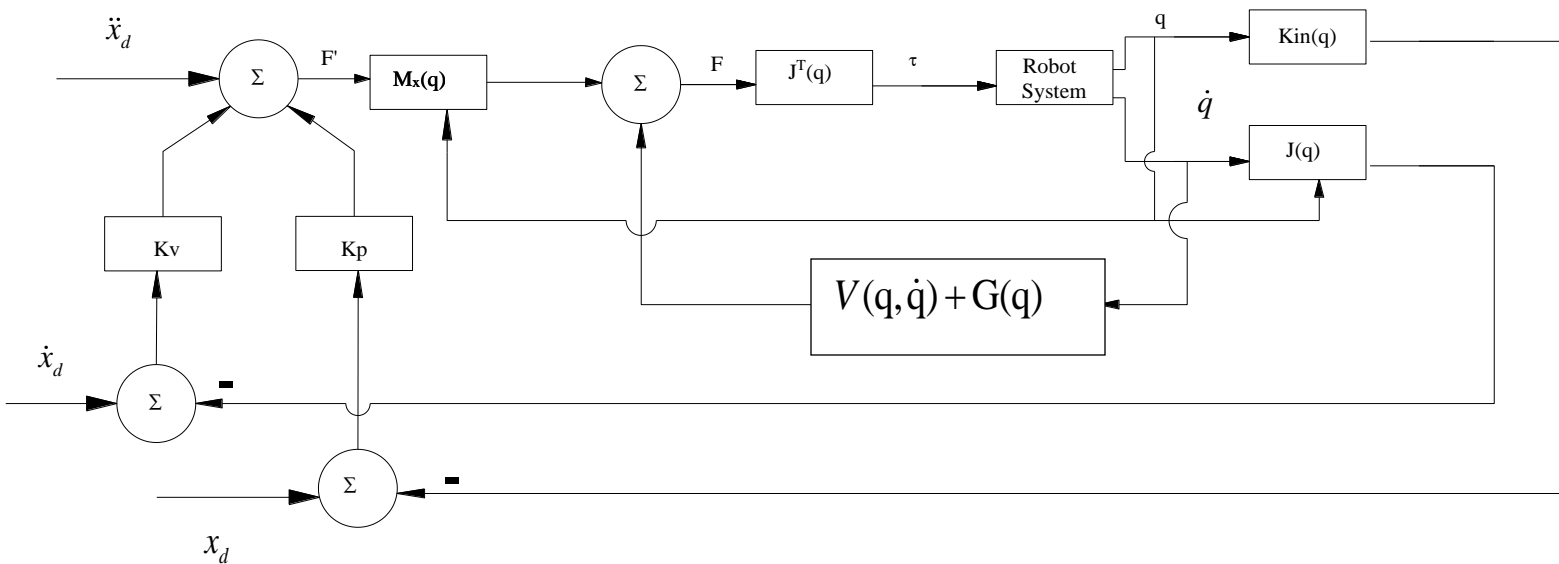
Sau khi tìm được các hệ số, ta tìm được biểu thức của vận tốc và gia tốc đặt của điểm tác động cuối E

$$\begin{cases} \dot{x}E_d = -R \sin(\varphi) \dot{\varphi} \\ \dot{y}E_d = R \cos(\varphi) \dot{\varphi} \\ \dot{z}E_d = 0 \end{cases} \quad \text{và} \quad \begin{cases} \ddot{x}E_d = -R[\sin(\varphi) \ddot{\varphi} + \cos(\varphi) \dot{\varphi}^2] \\ \ddot{y}E_d = R[\cos(\varphi) \ddot{\varphi} - \sin(\varphi) \dot{\varphi}^2] \\ \ddot{z}E_d = 0 \end{cases}$$

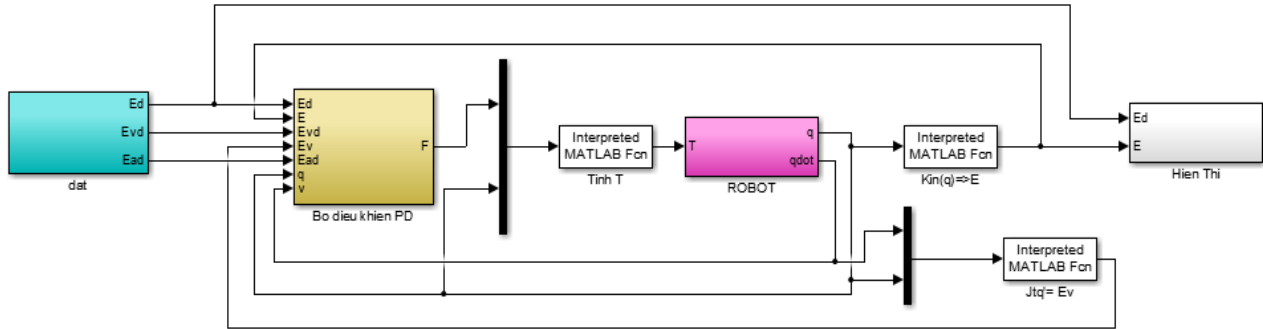




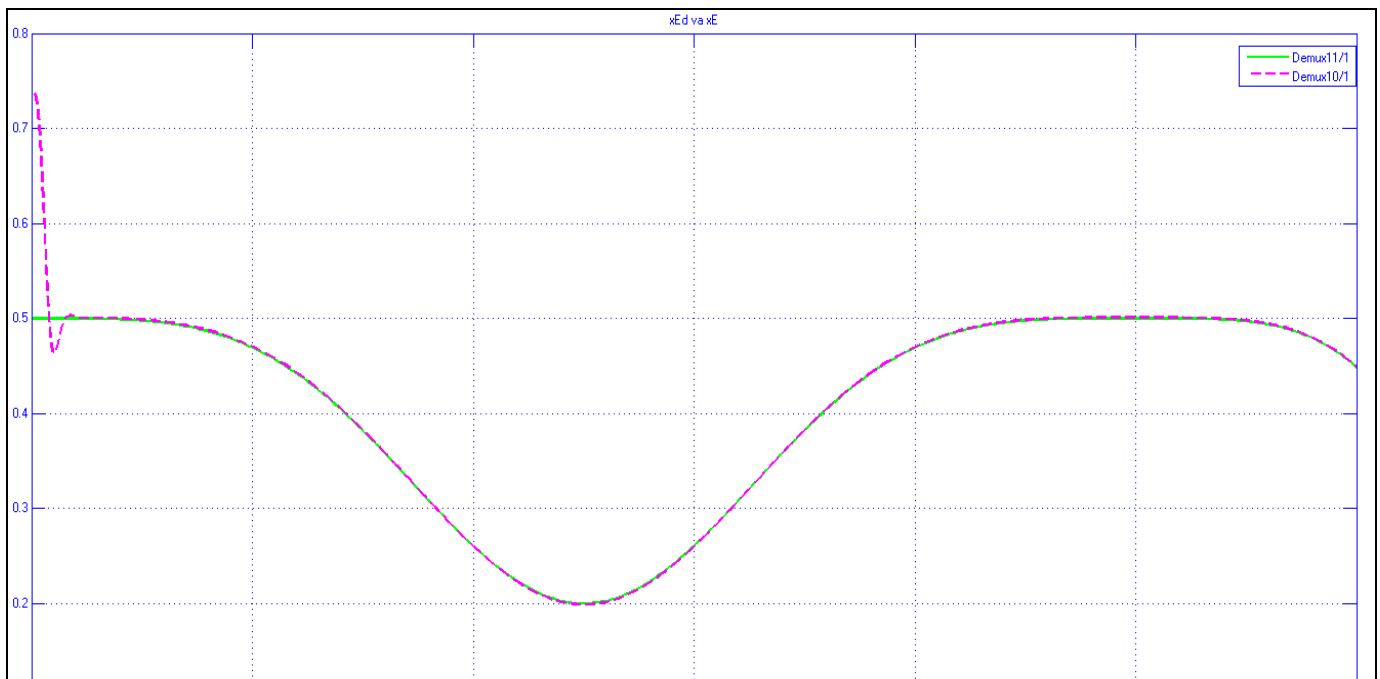
**Bước 2: Cấu trúc sơ đồ điều khiển**



### Bước 3: Mô phỏng bằng các khối điều khiển Simulink

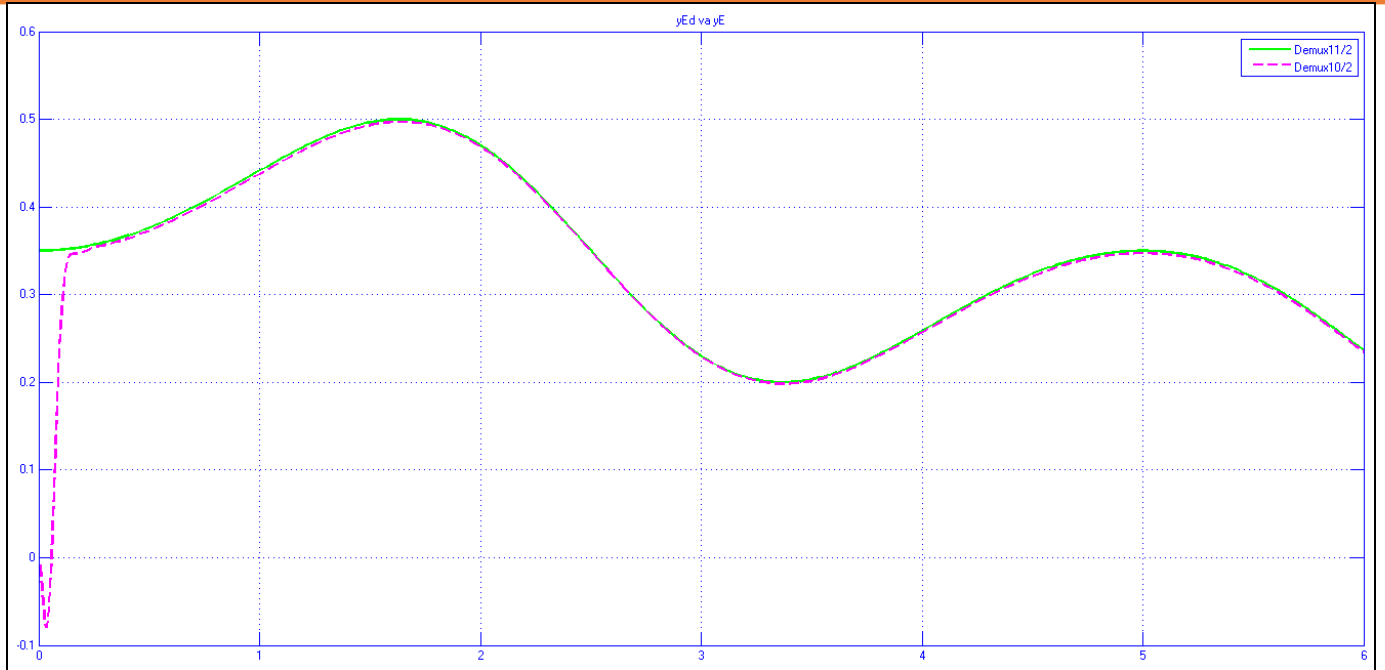


Một số kết quả đạt được:

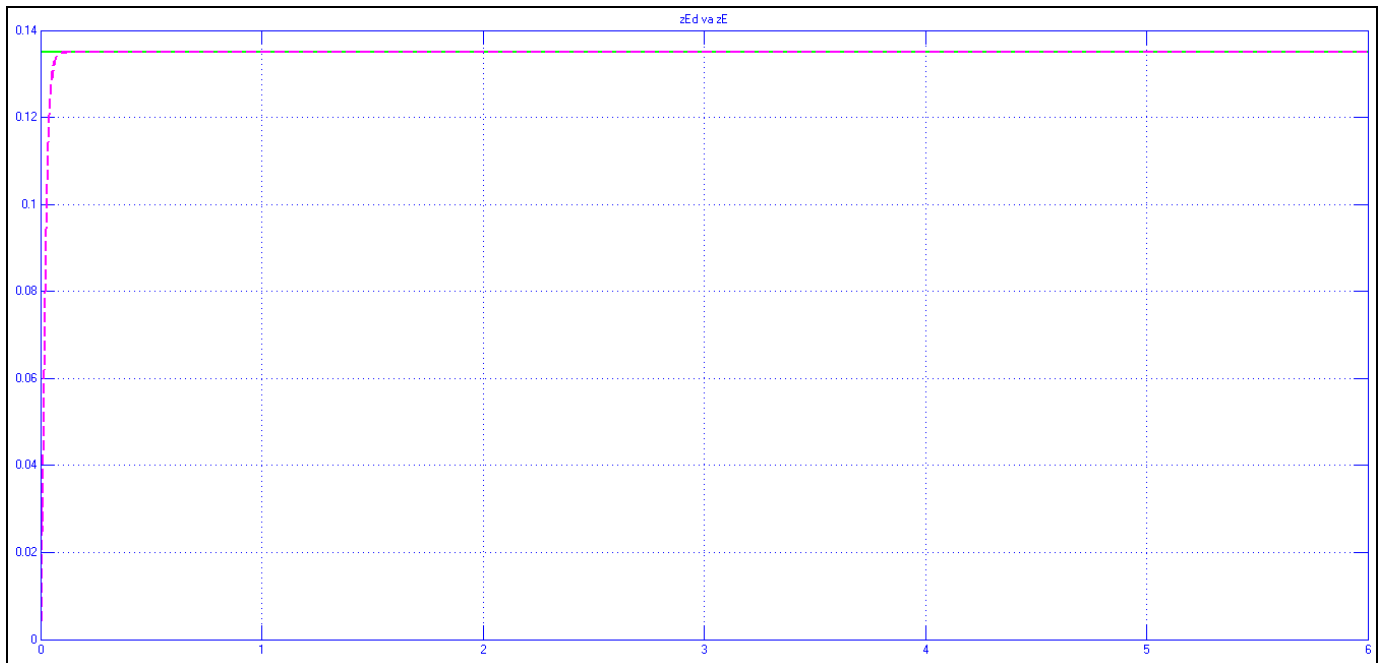


Hình 2.15 Đồ thị quỹ đạo đặt  $x_{Ed}$  và quỹ đạo thực  $x_E$

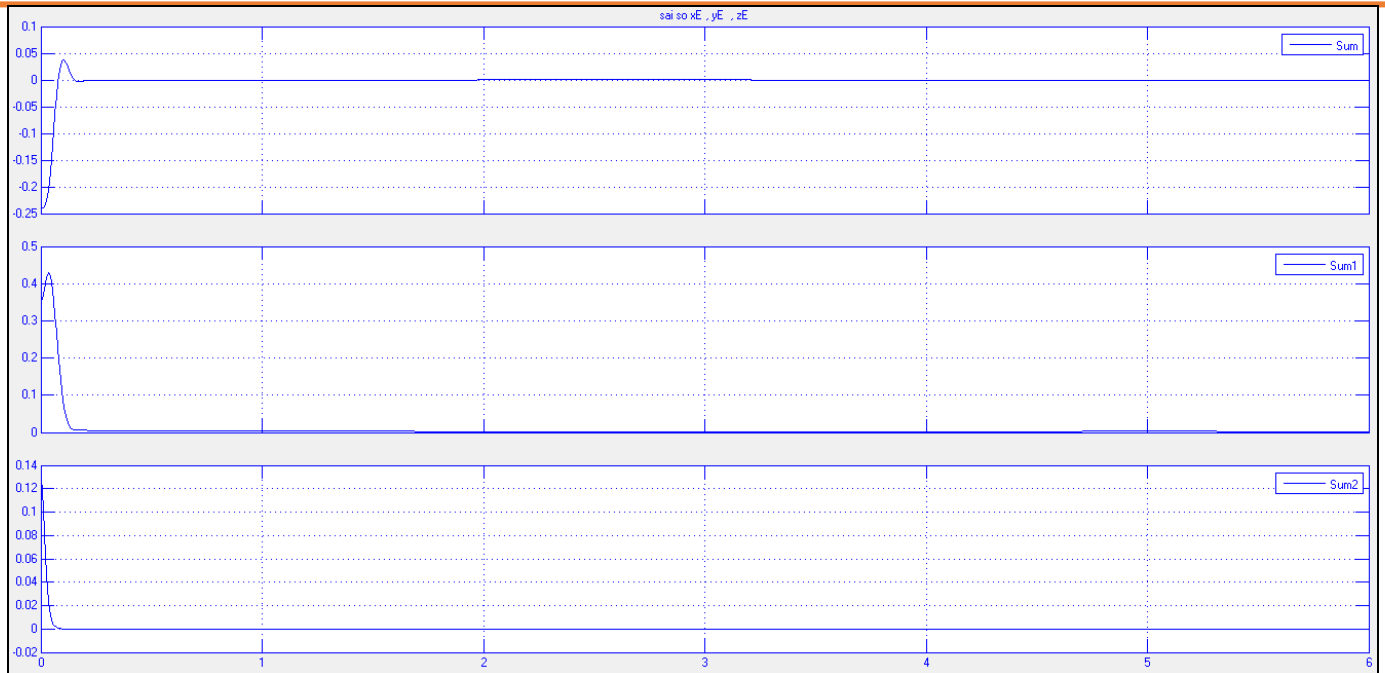




Hình 2.16. Đồ thị quỹ đạo đặt  $y_{Ed}$  và quỹ đạo thực



Hình 2.17. Đồ thị quỹ đạo đặt  $z_{Ed}$  và quỹ đạo thực  $zE$



Hình 2.18. Đồ thị sai số của quỹ đạo theo 3 phương x-y-z

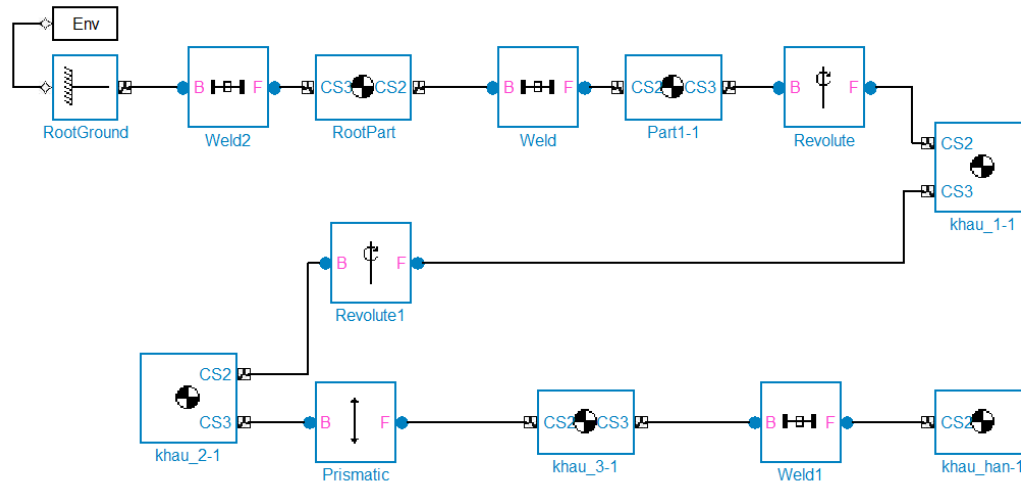
### 2.6.2. Mô phỏng bằng Matlab Simulink - SimMechanics

Bằng việc mô phỏng ngoài việc kiểm chứng tính đúng đắn của quá trình thiết kế tính toán hệ thống điều khiển còn mang lại cho chúng ta cái nhìn trực quan hơn về các thao tác của Robot. Do đó trên thế giới hiện nay cũng trang bị rất nhiều các công cụ hỗ trợ việc mô phỏng này bao gồm cả những phần mềm của các hãng nổi tiếng về chế tạo Robot ( KUKA, MITSUBISHI) cho tới những hãng phần mềm thuần túy thiết kế cơ khí và tính toán (MATLAB, CATIA, SOLIDWORKS) đều có những tác vụ riêng biệt được tích hợp đi kèm bộ phần mềm cung cấp.

Song song với việc học tập nhóm sinh viên có cơ hội tiếp cận với công cụ SimMechanics một ứng dụng rất hay được tích hợp trên phần mềm thiết kế 3D và Simulink trong Matlab. Qua việc mô phỏng bằng công cụ này giúp cho sinh viên hiểu rõ hơn mối quan hệ giữa Cơ khí – điều khiển tự động.

#### Các bước mô phỏng :

Trước khi bước vào việc mô phỏng bằng SimMechanics chúng ta cần có một *.xml file* để nhúng vào môi trường MATLAB bằng công cụ SimMechanics link trên Solidworks.



Hình 2.19. Sơ đồ khối Robot

**Bước 1 : Xây dựng tín hiệu đặt**

Tín hiệu đặt là tín hiệu mong muốn của người lập trình dùng để điều khiển Robot. Các tín hiệu đặt sẽ được đặt ở các khớp và tùy theo mức độ chính xác mà có thể đặt ở mức độ tối ưu bài toán.

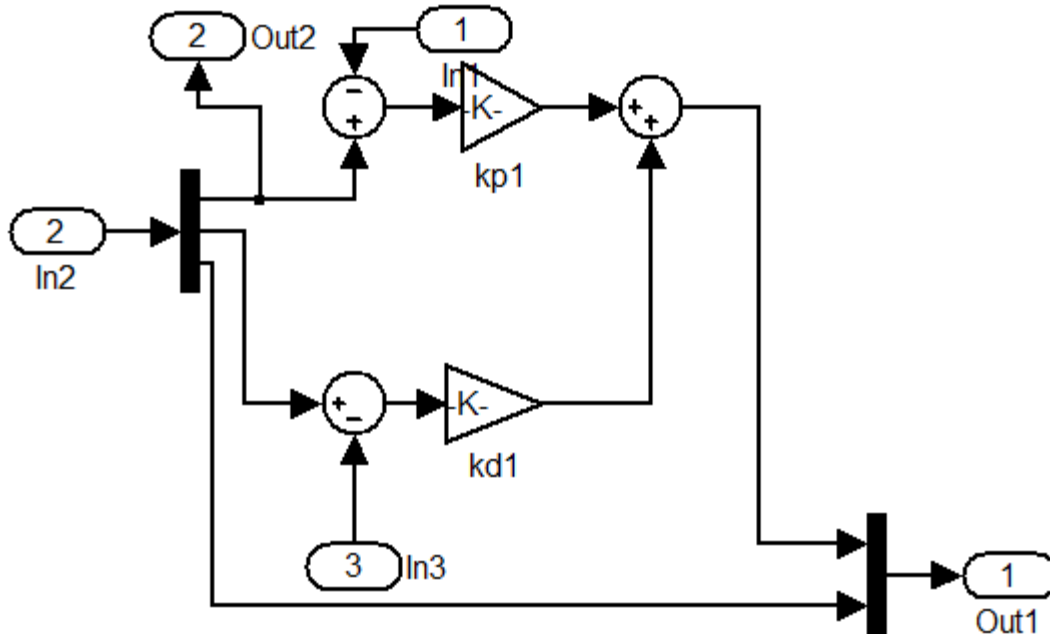
Tín hiệu đặt trong bài toán này được đặt ở các khớp quay của Robot (vị trí, tốc độ góc và gia tốc góc của khớp). Nó xác định bằng việc thu kết quả mong muốn từ *bài toán động học ngược, động lực học ngược* .

Xây dựng tín hiệu đặt bằng việc lấy kết quả từ dữ liệu Maple sẽ được load vào Matlab bằng khối *from workspace* với dữ liệu được load từ *m. file* như bảng.

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">dulieu1</div> <p style="text-align: center;">DAT 1</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">dulieu2</div> <p style="text-align: center;">DAT 2</p>
<pre> tg = [ma tran thời gian thực]; g1 = [ma tran góc quay theo thời gian]; tdg1 = [ma tran tốc độ góc quay theo thời gian]; gt1 = [ma tran gia tốc góc quay theo thời gian]; dulieu1.time = tg; dulieu1.signals.values = [g1,tdg1,gt1]; dulieu1.signals.dimensions = 3;                     </pre>	<pre> tg = [ma tran thời gian thực]; g2 = [ma tran góc quay theo thời gian]; tdg2 = [ma tran tốc độ góc quay theo thời gian]; gt2 = [ma tran gia tốc góc quay theo thời gian]; dulieu1.time = tg; dulieu1.signals.values = [g2,tdg2,gt2]; dulieu1.signals.dimensions = 3;                     </pre>

### Bước 2 : Xây dựng bộ điều khiển PD

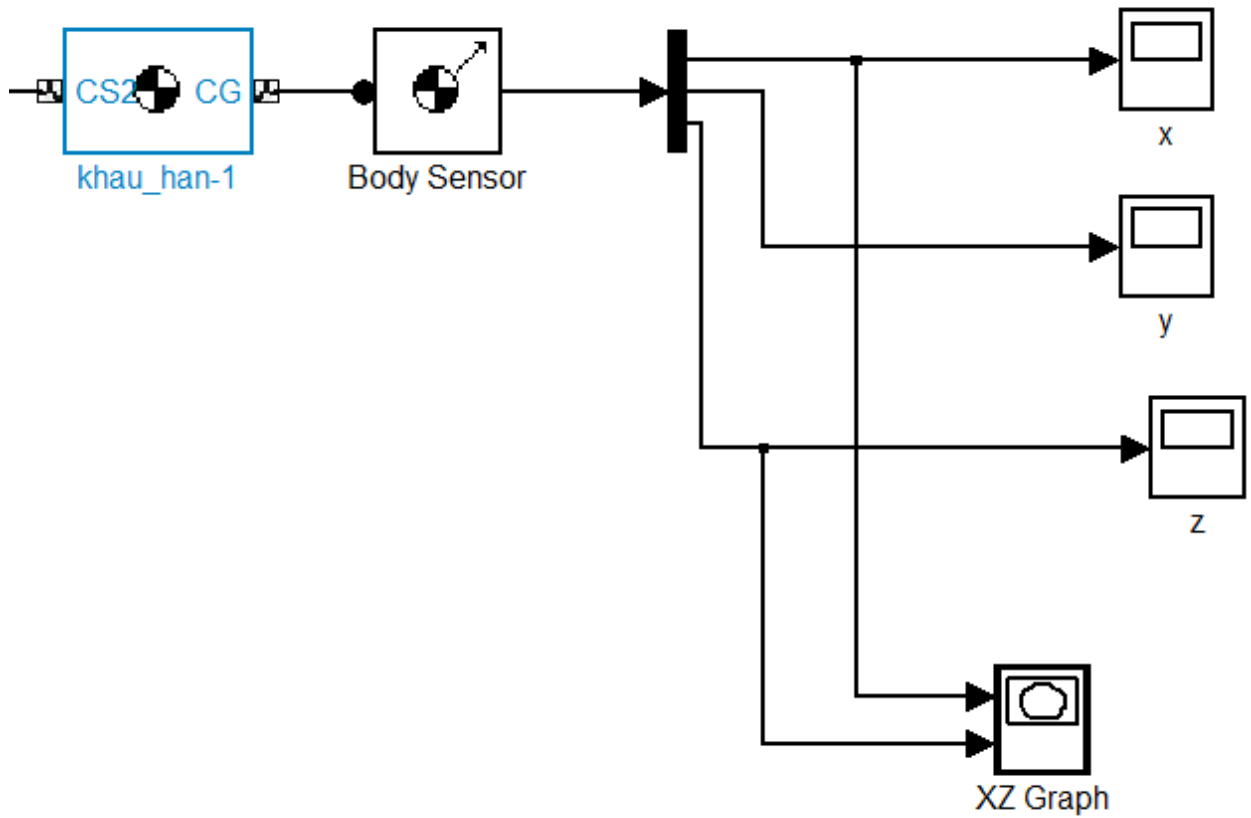
Khối PD xây dựng dựa trên tiến hiệu được đặt và tín hiệu phản hồi để qua đó có thể điều chỉnh đưa tới khớp với sai lệch bé nhất.



Hình 2.20. Sơ đồ bộ điều khiển PD

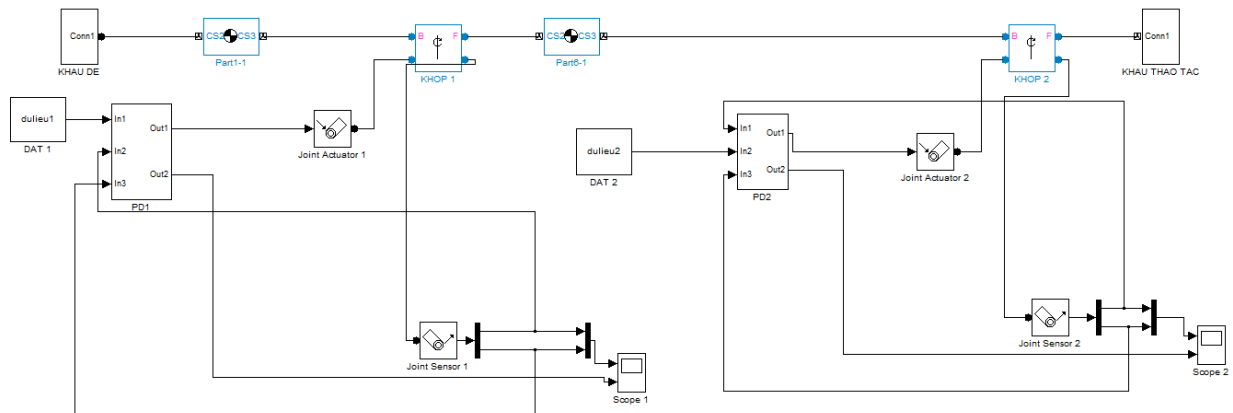
### Bước 3 : Xây dựng khối để định vị khâu thao tác

Để có thể đo đặc vị trí cũng như các thuộc tính ở mỗi thời điểm hoạt động của khâu thao tác Robot ta cần phải đặt một cảm biến lên khâu đó. Đó là với cơ sở lý thuyết là vậy, với Matlab sẽ trang bị khối *Body sensor* để giúp chúng ta dễ dàng có được điều đó cùng với *XY Graph*.



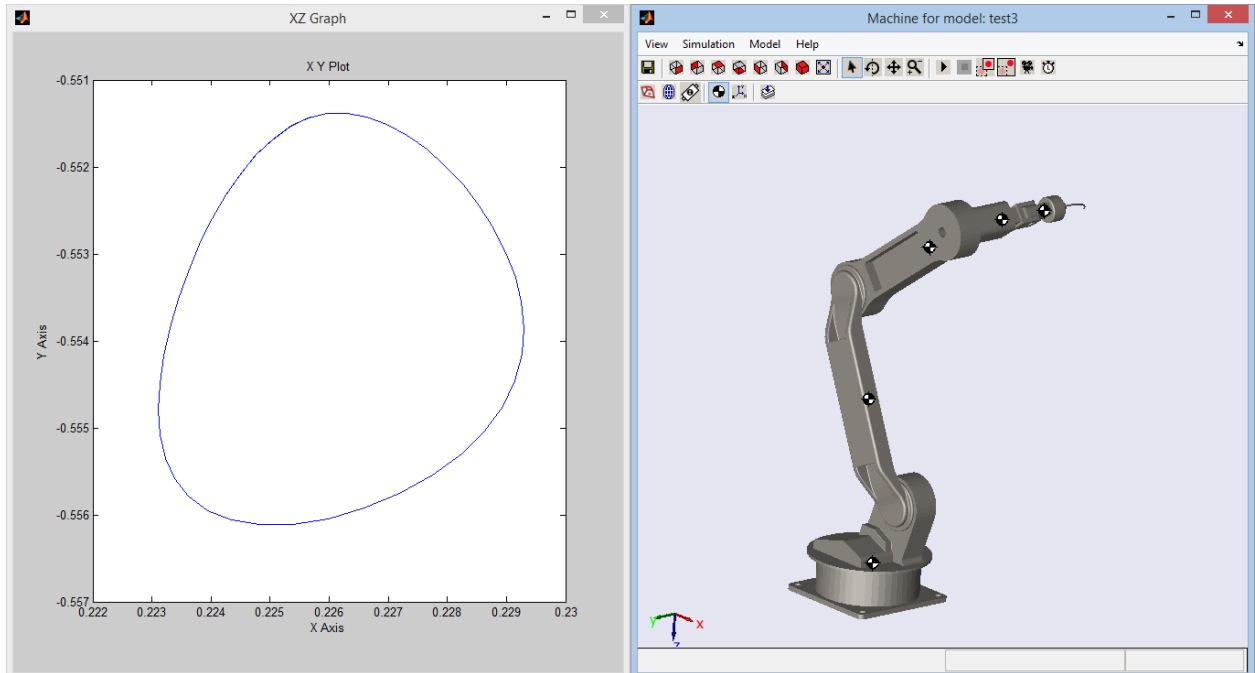
Hình 2.21. Khối định vị khâu thao tác

**Bước 4 :** Chạy kết quả



Hình 2.22. Sơ đồ tổng quát

Với ví dụ là đường cong tròn nằm trong phạm vi kích thước gia công (30x40) cho ta đường cong như hình. Do trong tính toán có việc làm tròn số và việc thiết lập khoảng thời gian còn rời rạc cũng như việc định hình Robot chưa được chặt chẽ nên kết quả còn có độ chính xác chưa thực sự cao như mong đợi. Nếu có được sự hỗ trợ của máy móc và thời gian tìm hiểu, nhóm tin rằng đây không phải vấn đề quá khó.



Hình 2.23. Biểu diễn quỹ đạo khâu thao tác



## CHƯƠNG III. KẾT LUẬN

### ✓ Những kết quả có được

- Dựa trên các phần mềm đa năng MATLAB và MAPLE đã xây dựng các chương trình tính toán động học ngược, động lực học ngược và điều khiển trượt Robot chuyển động dựa trên một phép toán.
- Tìm được mối liên hệ giữa các biến khớp và vị trí tọa độ điểm cuối từ đó xây dựng ra được quỹ đạo chuyển động thích hợp.
- Xây dựng được bài toán điều khiển và mô phỏng quỹ đạo chuyển động khâu thao tác đáp ứng tín hiệu đặt mong muốn với công cụ Simulink-SimMechanics tích hợp trên Matlab.

### ✓ Định hướng phát triển tương lai

- Các kết quả có được sẽ là bước đệm cho tư duy về thiết kế Robot do vậy ý tưởng của nhóm trong tương lai sẽ cho sản phẩm Robot hàn hoàn thiện thực tế và ngoài ra có thể ứng dụng nó vào công việc hội họa với mong muốn cho ra Robot viết chữ hay vẽ tranh.



### Tài liệu tham khảo

- [1] PGS.TS. Phan Bùi Khôi, *Bài giảng Tính toán thiết kế robot*, ĐH Bách khoa Hà nội
- [2] PGS.TS. Phan Bùi Khôi, *Bài giảng Robotics (2009)*, ĐH Bách khoa Hà nội
- [3] GS.TSKH. Nguyễn Văn Khang, *Cơ sở Robot công nghiệp*
- [4] GS.TSKH. Nguyễn Thiện Phúc, *Robot công nghiệp*
- [5] GS. TSKH. Nguyễn Văn Khang, *Động lực học hệ nhiều vật*
- [6] TS. Nguyễn Quang Hoàng, *Cơ sở mát lab và Simulink*
- [7] Nguyễn Doãn Phước, *Lý thuyết điều khiển tự động*
- [8] ThS. Trương Quốc Bảo, *Bài giảng Ngôn ngữ lập trình Maple*, ĐH Cần Thơ
- [9] Hossein Sadegh Lafmejani, Hassan Zarabadipour, *Modeling, Simulation and Position Control of 3DOF Articulated Manipulator (3, September 2014)*
- [10] Các website, forum trực tuyến như [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com), [www.dientuvietnam.net](http://www.dientuvietnam.net), <http://codientu.org> .....