

**ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**



**ĐỒ ÁN MÔN HỌC THIẾT KẾ  
HỆ THỐNG CƠ KHÍ**

**Thiết kế Robot Scara 3 bậc tự do**

**Đào Văn Nam**

**Nam.dv195103@sis.hust.edu.vn**

**Ngành Cơ - điện tử**

**Chuyên ngành Kỹ Thuật Cơ - Điện Tử**

Giảng viên hướng dẫn: **GVC, TS Nguyễn Ngọc Thành**

---

Chữ kí của GVHD

Nhóm chuyên môn: **Hàn – Công nghệ kim loại**

Trường: **Cơ khí**

**HÀ NỘI, 3 -2022**

**ĐỒ ÁN MÔN HỌC THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ KHÍ** Mã HP: **ME4506**

Thời gian thực hiện: **15 tuần;**

Mã đề: **VCK 3 - 6**

Ngày .../10/2022

Ngày .../10/2022

Ngày **26/10/2022**

**ĐƠN VỊ CHUYÊN**

**NGƯỜI RA ĐỀ**

**CB Hướng dẫn**

**MÔN**

*(ký, ghi rõ họ tên)*

*(ký, ghi rõ họ tên)*

*(ký, ghi rõ họ tên)*

**GVC, TS Nguyễn Ngọc Thành**

Ngày giao nhiệm vụ: **26/10/2022;**

Ngày hoàn thành: .... /03/2023

Họ và tên SV: **Đào Văn Nam**

MSSV: **20195103** Mã lớp: 721802 Chữ ký sv: ...Nam.....

**1- Nhiệm vụ thiết kế**

**THIẾT KẾ ROBOT SCARA 3 BẬC TỰ DO**

**2- Số liệu cho trước:**

- Tải trọng ..20.. kg;
- Tầm với ..850.. m;
- Độ chính xác lặp: (x, y) = ..  $\pm 0,02$ ... mm; (z) = ..  $\pm 0,01$ ... mm;
- Vận tốc cực đại khâu tác động cuối: ...11480.. mm/s;
- Gia tốc cực đại khâu tác động cuối ..... mm/s<sup>2</sup>.

**3- Nội dung thực hiện**

**3.1- Phân tích nguyên lý và thông số kỹ thuật**

- Tổng quan về hệ thống;
- Nguyên lý hoạt động;
- Xác định các thành phần cơ bản và thông số/yêu cầu kỹ thuật của hệ thống.

**3.2- Tính toán và thiết kế**

- Tính toán, thiết kế các khâu 3, 2, 1 và khâu cố định;
- Tính chọn động cơ cho các khâu 1, 2, 3;
- Tính chọn bộ truyền cho khâu 1 và 2;
- Tính chọn trục nối khâu cố định với khâu 1, khâu 1 với khâu 2;

- Tính chọn ổ lăn.

### **3.3- Thiết kế chi tiết và xây dựng bản vẽ lắp**

- Xây dựng bản vẽ lắp 2D/3D;
- Xây dựng các bản vẽ chế tạo các chi tiết chính.

### **3.4- Mô phỏng nguyên lý hoạt động (động học)**

**BẢNG SỐ LIỆU CÁC PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ**

Đề	Tải trọng (kg)	Tầm với (mm)	Hành trình trục z (mm)	Độ chính xác lắp		Vận tốc lớn nhất				Chu kỳ thời gian (giây)	Chú ý
				(x, y) (mm)	z (mm)	Khâu 1 (°/giây)	Khâu 2 (°/giây)	Khâu 3 (mm/giây)	Tốc độ tổng hợp (mm/giây)		
1	10	600	200, 300, 400	±0,02	±0,01	450	667	2780	8780	0,29 (với tải 2-kg)	DENSO_HM-G_Series
2	20	600	200, 300, 400	±0,02	±0,01	450	667	2780	8780	0,29 (với tải 2-kg)	DENSO_HM-G_Series
3	10	700	200, 300, 400	±0,02	±0,01	450	667	2780	9570	0,29 (với tải 2-kg)	DENSO_HM-G_Series
4	20	700	200, 300, 400	±0,02	±0,01	450	667	2780	9570	0,29 (với tải 2-kg)	DENSO_HM-G_Series
5	10	850	200, 300, 400	±0,02	±0,01	450	667	2780	11480	0,31 (với tải 2-kg)	DENSO_HM-G_Series
6	20	850	200, 300, 400	±0,02	±0,01	450	667	2780	11480	0,31 (với tải 2-kg)	DENSO_HM-G_Series

## NHỮNG CỤM TỪ VIẾT TẮT TRONG ĐỒ ÁN

CNC- Điều khiển số bằng máy tính

ĐK- Điều khiển

HGT- Hộp giảm tốc

PLC- Điều khiển logic khả lập trình

TĐ- Tự động

TĐH- Tự động hóa

TMĐT- Thương mại điện tử

SXCN- Sản xuất công nghiệp

ĐH - Denavit – Hartenberg

DCTĐ- Dây chuyền tự động

<b>MỞ ĐẦU</b> .....	8
<b>CHƯƠNG 1- GIỚI THIỆU ROBOT SCARA; NHIỆM VỤ ĐƯỢC GIAO</b>	8
<b>1.1- Giới thiệu robot Scara</b> .....	10
1.1.1- Cấu trúc động học và kết cấu robot Scara 3 bậc tự do .....	10
1.1.2- Ứng dụng robot Scara trong sản xuất công nghiệp và hoạt động ...	
dịch vụ .....	11
a- Trong sản xuất công nghiệp .....	11
b- Trong hoạt động dịch vụ .....	12
<b>1.2- Nhiệm vụ được giao</b> .....	12
1.2.1- Nhiệm vụ thiết kế được giao và số liệu cho trước .....	12
1.2.2- Phân tích nội dung nhiệm vụ thiết kế .....	12
<b>CHƯƠNG 2- ĐỘNG HỌC; KHÔNG GIAN HOẠT ĐỘNG; ĐỘNG LỰC HỌC HỆ TRUYỀN DẪN ROBOT SCARA</b> .....	14
<b>2.1- Động học robot Scara 3 bậc tự do</b> .....	14
2.1.1- Thiết lập các hệ tọa độ trên robot Scara .....	14
2.1.2- Bài toán động học thuận; ý nghĩa .....	16
2.1.3- Bài toán động học ngược; ý nghĩa .....	23
<b>2.2- Không gian hoạt động robot Scara 3 bậc tự do</b> .....	25
2.2.1- Xác định không gian hoạt động robot Scara .....	25
a- Các điều kiện ràng buộc .....	26
b- Xây dựng thuật toán xác định không gian hoạt động .....	26
c- Vẽ mô phỏng không gian hoạt động robot Scara .....	27
<b>2.2.2- Thiết kế quỹ đạo chuyển động của robot</b> .....	29
a- Chuyển động theo đoạn thẳng .....	30
b- Chuyển động theo đoạn cong (cung tròn, hoặc đường bậc 2 nào đó) .	31

c- Chuyển động phức tạp (xen kẽ đoạn thẳng và đoạn cong) .....	32
d- Mô phỏng động học robot Scara theo quỹ đạo chuyển động phức tạp (thực hiện nhiệm vụ công nghệ đề ra) .....	33
<b>2.3- Động lực học robot Scara 3 bậc tự do .....</b>	<b>33</b>
2.3.1- Nội dung, mô hình và giải bài toán động lực học robot Scara .....	33
a- Nội dung, mục đích, ý nghĩa bài toán động lực học robot Scara .....	33
b- Mô hình động lực học robot Scara .....	34
c- Giải bài toán động lực học robot Scara .....	35
2.3.2- Xác định công suất truyền dẫn các động cơ .....	39
a- Xác định công suất động cơ truyền dẫn khớp quay 1 .....	39
b- Xác định công suất động cơ truyền dẫn khớp quay 2 .....	41
c- Xác định công suất động cơ truyền dẫn khớp tịnh tiến 3 .....	42
<b>CHƯƠNG 3- THIẾT KẾ KẾT CẤU TRUYỀN DẪN ROBOT SCARA ..</b>	<b>57</b>
<b>3.1- Đặt vấn đề .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2- Thiết kế kết cấu lắp ghép truyền dẫn robot Scara .....</b>	<b>57</b>
3.2.1- Kết cấu lắp ghép khâu 0 (giá trị cố định) với cụm khớp quay 1 ....	57
3.2.2- Kết cấu lắp ghép khâu 1 với cụm khớp quay 2 .....	58
3.2.3- Kết cấu lắp ghép khâu 2 với cụm khớp tịnh tiến 3 .....	58
3.2.4- Kết cấu bàn tay kẹp .....	59
3.2.5- Thiết kế kết cấu lắp chung robot Scara .....	59
<b>CHƯƠNG 4- THIẾT KẾ MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG ROBOT SCARA</b>	<b>60</b>
<b>4.1- Mục đích, yêu cầu thiết kế; giới thiệu công cụ mô phỏng .....</b>	<b>60</b>
4.1.1- Mục đích, yêu cầu thiết kế mô phỏng .....	60
4.1.2- Giới thiệu công cụ mô phỏng .....	60
<b>4.2- Thiết kế mô phỏng robot Scara .....</b>	<b>61</b>
4.2.1- Thiết kế mô phỏng các phần tử robot Scara .....	61

4.2.2- Thiết kế mô phỏng hoạt động robot Scara trong không gian hoạt động .....	64
<b>KẾT LUẬN</b> .....	65
a- Những nội dung đã thực hiện và giải quyết được trong đề án .....	65
b- Ưu, nhược điểm, và phương hướng khắc phục, hoàn thiện .....	65
<b>LỜI CẢM ƠN</b> .....	66
<b>PHỤ LỤC</b> .....	67
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b> .....	68



## MỞ ĐẦU

Robot Scara được phát minh lần đầu tiên bởi giáo sư Hiroshi Makino tại Đại học Yamanashi, Nhật Bản vào năm 1978. Nó được thiết kế ra để đưa vào ứng dụng lắp ráp và từ năm 1981 thì nó được ứng dụng trong các dây chuyền lắp ráp công nghệ.

Scara - Selective Compliance Articulated Robot Arm có nghĩa là cánh tay robot khớp nối tuân thủ có chọn lọc.

Ưu điểm của robot Scara so với các loại robot khác:

- Ưu thế linh hoạt: robot Scara có thể thực hiện nhiều chuyển động linh hoạt khác nhau theo điều kiện và thiết kế từ nhà sản xuất cho từng lĩnh vực mà nó ứng dụng. Tuy nhiên, một điểm trừ nhỏ với sự linh hoạt của Scara đó là nó cố định bởi trục Z, điều này khiến nó chỉ có thể chuyển động phần cánh tay, còn phần gốc đứng yên, cố định một chỗ;

- Ưu điểm về mặt tốc độ: Scara rất phù hợp cho các ứng dụng lắp ráp tốc độ cao hiện nay bởi sự linh hoạt và tốc độ nhanh hơn so với Robot 6 trục;

- Ưu điểm về trục: Scara có 4 trục cho chuyển động. Thông qua đó nó có thể chuyển động đa dạng và linh hoạt các hoạt động khác nhau theo thiết kế của nhà sản xuất;

- Tải trọng: Scara có tải trọng khá thấp, nó thường dao động trong khoảng (0,5 ÷ 20) kg. Điều này giúp nó có thể dễ dàng vận chuyển và lắp đặt cho các dây chuyền sản xuất hoặc ứng dụng vào nhiều lĩnh vực hơn;

- Độ chính xác lắp: Scara được thiết kế với tính năng lặp lại vị trí cũ tốt và có độ chính xác cao. Scara có độ chính xác lặp vị trí là 0,02mm theo trục x,y và 0.01mm theo trục z.

Một số ứng dụng của Robot Scara:

- Ứng dụng trong lắp ráp chi tiết nhỏ: robot Scara được đưa vào ứng dụng trong việc thực hiện nhiệm vụ lắp ráp các chi tiết nhỏ với tốc độ cao như ngành công nghiệp điện tử hiện nay rất phổ biến loại robot này;

- Ứng dụng trong gấp và đặt: với tốc độ cực cao, robot Scara sử dụng trong dây chuyền với nhiệm vụ gấp sản phẩm nhỏ cực nhanh;
- Ứng dụng trong khắc Laser: Scara có độ chính xác cao trong quá trình vận hành và thực hiện các hành động của mình. Chính vì vậy mà nó đặc biệt phù hợp với tác vụ khắc và vẽ bằng Laser;
- Ứng dụng trong in 3D: trong thế giới người máy in 3D, Scara là một loại robot đang trở thành ngôi sao sáng khi thực hiện nhiệm vụ in 3D này trên nhiều sản phẩm vật liệu khác nhau trong các nhà máy sản xuất;
- Ứng dụng trong hàn: nhiệm vụ được sử dụng nhiều nhất đến Robot Scara chính là hàn. Nó sẽ tạo ra các đầu hàn với chất lượng đồng nhất và cải thiện hiệu quả, cùng với độ chính xác cao cho các sản phẩm phải sản xuất hàng loạt.

Như vậy với nhiệm vụ được giao, đồ án môn học - thiết kế hệ thống cơ khí được trình bày theo các vấn đề như sau:

### **Mở đầu**

**Chương 1-** Giới thiệu robot Scara; nhiệm vụ được giao

**Chương 2-** Động học; không gian hoạt động; động lực học hệ truyền dẫn robot Scara

**Chương 3-** Thiết kế kết cấu truyền dẫn robot Scara

**Chương 4-** Thiết kế mô phỏng hoạt động robot Scara

### **Kết luận**

## CHƯƠNG 1- GIỚI THIỆU ROBOT SCARA; NHIỆM VỤ ĐƯỢC GIAO

### 1.1- Giới thiệu robot Scara

#### 1.1.1- Cấu trúc động học và kết cấu robot Scara 3 bậc tự do

##### *Cấu trúc động học:*

Robot Scara có cấu tạo gồm 2 khớp quay ở cánh tay, 1 khớp quay ở cổ tay và 1 khớp tịnh tiến, các khớp quay hoạt động nhờ động cơ điện một chiều có phản hồi vị trí tạo một vòng điều khiển kín, chuyển động tịnh tiến theo phương thẳng đứng được thực hiện bằng vít me - đai ốc.

- Thân robot - khâu cố định, đặt thẳng đứng giữ robot cố định khi làm việc, gắn với khâu động 1 khớp xoay 1 với trục  $Z_{01}$  thẳng đứng;

- Khâu 1- khâu dẫn động nằm ngang vuông góc với trục thẳng đứng trong suốt quá trình làm việc của robot, có khả năng xung quanh trục  $Z_{01}$  qua khớp xoay 1;

- Khâu 2- khâu dẫn động có khả năng xoay trong mặt phẳng, vuông góc thẳng đứng qua khớp xoay 2 nối với khâu 1;

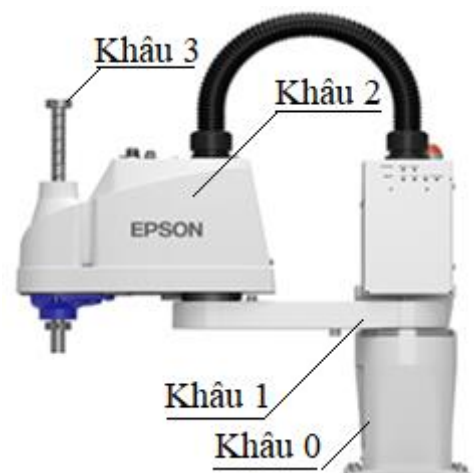
- Khâu 3- trục vít - đai ốc bi và thanh trượt (trục vít tịnh tiến, đai ốc quay).

##### *Kết cấu robot Scara (H1.1):*

- Khâu cố định 0 cấu tạo là khối kim loại rỗng gắn liền với đế hoặc giá đỡ;

- Khâu dẫn động 1 cấu tạo là một thanh gắn liền với khâu cố định 0 và được truyền động bằng động cơ điện thông qua khớp xoay 1;

- Khâu dẫn động 2 cấu tạo là một thanh gắn liền với khâu dẫn động 1 và được truyền động bằng động cơ điện thông qua khớp xoay 2;



**Hình 1.1-** Robot Scara EPSON [\*]

- Khâu tịnh tiến 3 cấu tạo là một thanh trượt gắn với khâu dẫn động 2 qua bộ truyền động vít me - đai ốc gắn trên khâu dẫn động 2.

### 1.1.2- Ứng dụng robot Scara trong SXCN và hoạt động dịch vụ

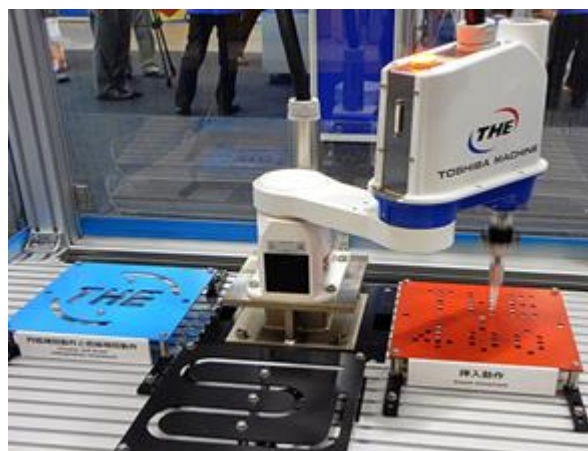
#### a- Trong sản xuất công nghiệp

Trong SXCN, Scara được ứng dụng rộng rãi, đặc biệt nhiều trong các DCTĐ. Những ứng dụng đó là: lắp ráp chi tiết nhỏ; gấp, di chuyển và đặt vật; khắc Laser (xem H1.3); in 3D; hàn các kết cấu máy, bộ phận máy, v.v...

H1.2- Tay máy thực hiện gấp khớp nối ống chữ T từ dây chuyền sang bàn xoay.



**Hình 1.2-** Robot Scara FANUC gấp và di chuyển ống nối [\*]



**Hình 1.3-** Robot Scara TOSHIBA thực hiện khắc lazer [\*]

**b- Trong hoạt động dịch vụ**

Với sự phát triển của khoa học công nghệ, giờ đây, robot Scara không những chỉ được dùng trong SXCN, mà thậm chí còn được ứng dụng rộng rãi trong các ngành dịch vụ như: khử trùng các dụng cụ y tế; ứng dụng trong vẽ tranh (H1.4)



**Hình 1.4-** Robot Scara được gắn bút để vẽ tranh [\*]

**1.2- Nhiệm vụ được giao****1.2.1- Nhiệm vụ thiết kế được giao và số liệu cho trước**

Với nhiệm vụ thiết kế hệ thống cơ khí robot Scara 3 bậc tự do, em xin đưa ra số liệu cho trước theo đề VCK 3-6

- Tải trọng: 20 Kg;
- Tầm với: 850 (mm);
- Hành trình trục z: 400 (mm);
- Độ chính xác lặp: (x,y) là  $\pm 0,02$  (mm); z là  $\pm 0,01$  (mm);
- Vận tốc lớn nhất khâu 1: 450 ( $^{\circ}/s$ );
- Vận tốc lớn nhất khâu 2: 667 ( $^{\circ}/s$ );
- Vận tốc lớn nhất khâu 3: 2780 ( $^{\circ}/s$ );
- Tốc độ tổng hợp: 11480 (mm/s);
- Chu kỳ thời gian: 0,3 (mm);

**1.2.2- Phân tích nội dung nhiệm vụ thiết kế**

Qua việc phân tích đề bài của đồ án, em thấy có thể chia nhiệm vụ thiết kế thành những nội dung cụ thể như sau:

- Giải bài toán động học (thuận ngược), động học robot Scara;
- Xác định miền làm việc;
- Mô phỏng hoạt động của robot trong không gian hoạt động;
- Thiết kế kết cấu robot Scara;
- Vẽ tách chi tiết của robot;
- Thiết kế hệ điều khiển robot Scara.

Những nhiệm vụ trên đây có thể giải quyết bằng các nền tảng như Matlab, SolidWorks, AutoCad.

## CHƯƠNG 2- ĐỘNG HỌC; KHÔNG GIAN HOẠT ĐỘNG; ĐỘNG LỰC HỌC HỆ TRUYỀN DẪN ROBOT SCARA

### 2.1- Động học robot Scara 3 bậc tự do

Trước khi tính toán về robot SCARA, ta cần phải tìm hiểu các thông số đặc trưng, chẳng hạn như số bậc tự do của robot. Bậc tự do của cơ cấu là số thông số độc lập cần cho trước để xác định được hoàn toàn vị trí của cơ cấu trong quá trình cơ cấu hoạt động, điều đó có nghĩa là mỗi thông số độc lập sẽ là một quy luật cho trước để xác định quy luật chuyển động của cơ cấu.

Bậc tự do của robot Scara được tính như sau:

$$f = \lambda(n - k) + \sum_{i=1}^k f_i + f_c - f_p \quad (2.1)$$

Trong đó:

$f$ - Số bậc tự do của cơ cấu;

$\lambda$ - Số bậc tự do của không gian trong đó tay máy thực hiện chuyển động,  $\lambda = 6$  khi vùng làm việc trong không gian,  $\lambda = 3$  khi vùng làm việc là mặt phẳng;

$n$ - Số khâu động của robot;

$f_i$ - Số bậc tự do của khớp thứ  $i$ ;

$k$ - Số khớp của cơ cấu;

$f_c$ - Số ràng buộc trùng;

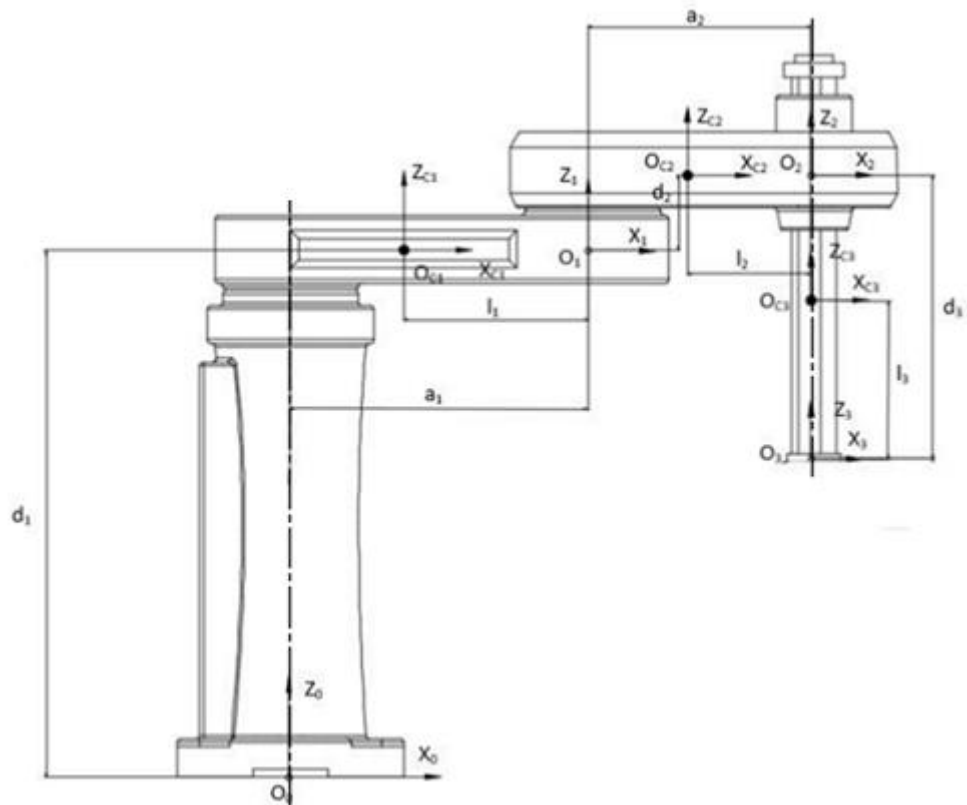
$f_p$ - Số bậc tự do thừa.

Áp dụng công thức (2.1), ta tính được số bậc tự do của Robot Scara:

$$f = 6(3 - 3) + 3 + 0 + 0 = 3 \text{ (bậc tự do)}$$

#### 2.1.1- Thiết lập các hệ tọa độ trên robot Scara

Để thuận lợi cho việc tính toán thiết kế cũng như điều khiển robot này, tiến hành thiết lập hệ tọa độ trên robot. Dưới đây là hệ tọa độ Đề các gắn trên tay máy:



**Hình 2.1-** Sơ đồ động học robot Scara 3 bậc tự do

Để thuận lợi cho việc tính toán em kí hiệu các đại lượng như sau:

Với:  $i$  là số khâu ( $i = 0, 1, 2, 3$ );  $i'$  là số khớp ( $i' = 0, 1, 2, 3$ ), quy ước, khâu cố định (khâu gắn với giá) là khâu 0. Các khâu động bao gồm: 1; 2 và khâu tịnh tiến 3.

Các thông số động học của các khâu, khớp mô tả ở mục 1.2.1 (xem B1.1).

Do đó ta có hệ tọa độ thiết lập trên robot này như sau:

- Hệ tọa độ  $O_0X_0Y_0Z_0$  gắn với khâu 0 (hệ 0), gốc  $O_0$  thuộc đường tâm trục khâu 0, trục  $O_0Z_0$  có chiều hướng từ dưới lên, trục  $O_0X_0$  có chiều hướng từ trái qua phải, trục  $O_0Y_0$  có chiều hướng từ ngoài vào trong;

- Hệ tọa độ động  $O_1X_1Y_1Z_1$  gắn với khâu 1 (hệ động 1), gốc  $O_1$  thuộc đường tâm trục của khớp 2, trục  $O_1Z_1$  có chiều hướng từ dưới lên, trục  $O_1X_1$  có chiều hướng từ phía bên trái qua bên phải, còn trục  $O_1Y_1$  có chiều hướng từ phía ngoài hướng vào trong;



- Hệ tọa độ động  $O_2X_2Y_2Z_2$  gắn với khâu 2 (hệ động 2), gốc  $O_2$  thuộc đường tâm trục khớp 3, trục  $O_2Z_2$  có chiều hướng từ dưới lên, trục  $O_2X_2$  có chiều hướng từ phía trái qua phải, còn trục  $O_2Y_2$  có chiều hướng từ ngoài hướng vào trong;
- Hệ tọa độ động  $O_3X_3Y_3Z_3$  gắn với khâu 3 (hệ động 3), gốc  $O_3$  thuộc đường tâm trục khâu 3, trục  $O_3Z_3$  có chiều hướng từ dưới lên, trục  $O_3X_3$  có chiều hướng từ phía bên trái qua bên phải, còn trục  $O_3Y_3$  có chiều hướng từ phía ngoài hướng vào trong.

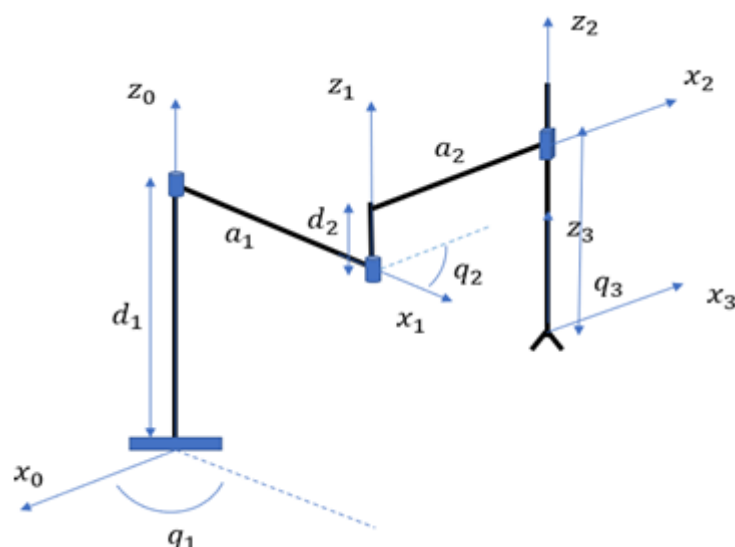
### 2.1.2- Bài toán động học thuận (BTT)

Giải BTT xuất phát từ cấu trúc chuỗi động học của robot là chuỗi động hở và các thông số góc, độ dài các khâu cho phép ta tìm được quy luật chuyển động của điểm thuộc khâu chấp hành cuối. Trong đó, ta chọn điểm thuộc khâu chấp hành cuối là tâm bàn tay kẹp.

#### *Thiết lập phương trình động học robot*

Sử dụng phương pháp Denavit-Hartenberg (DH) để giải bài toán động học robot.

Thiết lập hệ tọa độ D-H như H2.2.



**Hình 2.2-** Hệ tọa độ DH trên robot Scara 3 bậc tự do

**Bảng 2.1-** Bảng D-H

<b>Khớp</b> <b>Khâu</b>	<b><math>\theta</math></b>	<b><math>d</math></b>	<b><math>a</math></b>	<b><math>\alpha</math></b>
<b>1</b>	$\theta_1$	$d_1$	$a_1$	0
<b>2</b>	$\theta_2$	$d_2$	$a_2$	0
<b>3</b>	0	$d_3$	0	0

Trong đó:

$\theta_1, \theta_2, d_3$  - Các biến khớp;

$\theta_i$  - Góc quay quanh trục  $Z_{i-1}$  để trục  $X_{i-1}$  chuyển đến cùng hướng với trục  $X_i$ ;

$a_i$  - Khoảng cách dịch chuyển tịnh tiến dọc trục  $X_i$  để điểm  $O_i'$  trùng điểm  $O_i$ ;

$d_i$  - Khoảng cách dịch chuyển tịnh tiến dọc trục  $Z_{i-1}$  để gốc  $O_{i-1}$  chuyển đến  $O_i$  (giao điểm của trục  $X_i$  và trục  $Z_i$ );

$\alpha_i$  - Góc quay quanh trục  $X_i$  sao cho trục  $Z_{i-1}'$  ( $Z_{i-1}' // Z_{i-1}$ ) chuyển đến trục  $Z_i$ .

Đặt  $\theta_1 = q_1, \theta_2 = q_2, d_3 = q_3$ .

$$\text{Biến khớp: } q = [q_1 \quad q_2 \quad q_3]^T \quad (2.2)$$

$$\text{Miền giá trị biến khớp: } \begin{cases} q_1 \in [-165^\circ; 165^\circ] \\ q_2 \in [-147^\circ; 147^\circ] \\ q_3 \in [0; 400\text{mm}] \end{cases} \quad (2.3)$$

Bảng DH trở thành (B2.2):

**Bảng 2.2-** Bảng DH ứng với miền biến khớp

<b>Khớp</b> <b>Khâu</b>	<b><math>\theta</math></b>	<b><math>d</math></b>	<b><math>a</math></b>	<b><math>\alpha</math></b>
<b>1</b>	$q_1$	$d_1$	$a_1$	0
<b>2</b>	$q_2$	$d_2$	$a_2$	0
<b>3</b>	0	$q_3$	0	0

Theo quy tắc D-H, ta thiết lập ma trận biến đổi tọa độ thuần nhất  $T_i^{i-1}$  như sau:

$$T_i^{i-1} = \begin{pmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & \sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

Với  $T_i^{i-1}$  là ma trận biến đổi thuần nhất, cho ta biết hướng và vị trí của khâu  $i$  đối với hệ quy chiếu gắn vào khâu  $i-1$ .

Áp dụng quy tắc D-H cho robot Scara:

$$T_1^0 = \begin{pmatrix} \cos(q_1) & -\sin(q_1) & 0 & a_1 \cos(q_1) \\ \sin(q_1) & \cos(q_1) & 0 & a_1 \sin(q_1) \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

$$T_2^1 = \begin{pmatrix} \cos(q_2) & -\sin(q_2) & 0 & a_2 \cos(q_2) \\ \sin(q_2) & \cos(q_2) & 0 & a_2 \sin(q_2) \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

$$T_3^2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

$$T_2^0 = T_1^0 \cdot T_2^1 = \begin{pmatrix} \cos(q_1 + q_2) & -\sin(q_1 + q_2) & 0 & a_2 \cos(q_1 + q_2) + a_1 \cos(q_1) \\ \sin(q_1 + q_2) & \cos(q_1 + q_2) & 0 & a_2 \sin(q_1 + q_2) + a_1 \sin(q_1) \\ 0 & 0 & 1 & d_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

$$T_3^0 = T_1^0 \cdot T_2^1 \cdot T_3^2 = \begin{pmatrix} \cos(q_1 + q_2) & -\sin(q_1 + q_2) & 0 & a_2 \cos(q_1 + q_2) + a_1 \cos(q_1) \\ \sin(q_1 + q_2) & \cos(q_1 + q_2) & 0 & a_2 \sin(q_1 + q_2) + a_1 \sin(q_1) \\ 0 & 0 & 1 & q_3 + d_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

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

Lấy gốc tọa độ thiết lập trên khâu thao tác  $O_3$  trùng với E. Sử dụng góc Cardan xác định hướng vật rắn, gọi  $p$  là vector tọa độ định vị khâu thao tác.

$$p = [x_E, y_E, z_E, \alpha, \beta, \eta]^T \quad (2.10)$$

Trong đó:

- 3 thành phần đầu biểu diễn vị trí điểm tác động cuối:

$$r_E^{(0)} = [x_E, y_E, z_E]^T \quad (2.11)$$

- 3 thành phần cuối biểu diễn hướng của khâu thao tác:

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

$$= \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \eta & -\cos \beta \sin \eta & \sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta \cos \eta + \cos \alpha \sin \eta & -\sin \alpha \sin \beta \sin \eta + \cos \alpha \cos \eta & -\sin \alpha \cos \beta \\ -\cos \alpha \sin \beta \cos \eta + \sin \alpha \sin \eta & \cos \alpha \sin \beta \sin \eta + \sin \alpha \cos \eta & \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

Khi đó ma trận biến đổi tọa độ thuần nhất của khâu cuối biểu diễn bởi tọa độ khâu thao tác là:

$$T_E^0(p) = \begin{pmatrix} R_E^0(\alpha, \beta, \eta) & r_E^{(0)}(x_E, y_E, z_E) \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11}(\alpha, \beta, \eta) & c_{12}(\alpha, \beta, \eta) & c_{13}(\alpha, \beta, \eta) & x_E \\ c_{21}(\alpha, \beta, \eta) & c_{22}(\alpha, \beta, \eta) & c_{23}(\alpha, \beta, \eta) & y_E \\ c_{31}(\alpha, \beta, \eta) & c_{32}(\alpha, \beta, \eta) & c_{33}(\alpha, \beta, \eta) & z_E \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

Ma trận được đưa về dạng như sau:

$$T_n^0(q) = \begin{pmatrix} A_n^0(q) & r_n^{(0)}(q) \\ 0^T & 1 \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

Trong đó:

$$q = [q_1 \quad q_2 \quad q_3]^T \quad (2.15)$$

$$A_n^0 = \begin{pmatrix} a_{11}(q) & a_{12}(q) & a_{13}(q) \\ a_{21}(q) & a_{22}(q) & a_{23}(q) \\ a_{31}(q) & a_{32}(q) & a_{33}(q) \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

$$r_n^{(0)} = [x(q), y(q), z(q)]^T \quad (2.17)$$

Phương trình động học robot nhận được trong dạng ma trận như sau:

$$T_n^0(q) = T_E^0(p) \\ \begin{pmatrix} A_n^0(q) & r_n^{(0)}(q) \\ 0^T & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_E^0(\alpha, \beta, \eta) & r_E^{(0)}(x_E, y_E, z_E) \\ 0^T & 1 \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

Từ đó phương trình động học trong dạng ma trận có dạng khai triển như sau:

$$\begin{pmatrix} a_{11}(q) & a_{12}(q) & a_{13}(q) & x(q) \\ a_{21}(q) & a_{22}(q) & a_{23}(q) & y(q) \\ a_{31}(q) & a_{32}(q) & a_{33}(q) & z(q) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11}(\alpha, \beta, \eta) & c_{12}(\alpha, \beta, \eta) & c_{13}(\alpha, \beta, \eta) & x_E \\ c_{21}(\alpha, \beta, \eta) & c_{22}(\alpha, \beta, \eta) & c_{23}(\alpha, \beta, \eta) & y_E \\ c_{31}(\alpha, \beta, \eta) & c_{32}(\alpha, \beta, \eta) & c_{33}(\alpha, \beta, \eta) & z_E \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.19)$$

Đối với BTT, vị trí, vận tốc, gia tốc các biến khớp xem như đã biết, cần tìm vị trí, vận tốc, gia tốc của khâu thao tác đối với hệ tọa độ cố định.

Vị trí của khâu thao tác đối với hệ tọa độ cố định  $O_0x_0y_0z_0$  được xác định bởi các tọa độ thao tác gồm các tọa độ định vị điểm tác động cuối và hướng của khâu thao tác.

**Chú ý:** Từ nay, để đơn giản biểu thức, quy ước như sau:  $\sin = s$ ,  $\cos = c$

Ví dụ:  $\sin(q_1) = s_1$ ,  $\cos(q_1) = c_1$ ,  $\sin(q_1+q_2) = s_{12}$ ,  $\cos(q_1+q_2) = c_{12}$ , v.v...

Xác định tọa độ định vị điểm tác động cuối:

Các hệ tọa độ định vị điểm tác động được xác định bằng cách so sánh các phân tử ở hai vế của hệ phương trình động học dạng ma trận (2.19), ta được:

$$\begin{cases} x_E = x(q) \\ y_E = y(q) \\ z_E = z(q) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_E = a_2 \cos(q_1 + q_2) + a_1 \cos(q_1) \\ y_E = a_2 \sin(q_1 + q_2) + a_1 \sin(q_1) \\ z_E = q_3 + d_2 + d_1 \end{cases} \quad (2.20)$$

Hay vị trí điểm cuối kẹp:

$$r_E = \begin{pmatrix} 0,5 \cos(q_1 + q_2) + 0,35 \cos(q_1) \\ 0,5 \sin(q_1 + q_2) + 0,35 \sin(q_1) \\ q_3 + 0,45 \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

### **Xác định hướng của khâu thao tác**

Sử dụng ma trận xác định hướng của khâu thao tác là ma trận Cardan, so sánh hai vế của phương trình động học (2.19), ta có:

$$\begin{pmatrix} \cos \beta \cos \eta & -\cos \beta \sin \eta & \sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta \cos \eta + \cos \alpha \sin \eta & -\sin \alpha \sin \beta \sin \eta + \cos \alpha \cos \eta & -\sin \alpha \cos \beta \\ -\cos \alpha \sin \beta \cos \eta + \sin \alpha \sin \eta & \cos \alpha \sin \beta \sin \eta + \sin \alpha \cos \eta & \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{12} & -s_{12} & 0 \\ s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.22)$$

Hướng của khâu thao tác có thể xác định bằng cách đối chiếu 3 phần tử không cùng hàng (cột) giữa hai ma trận quay:

$$\Rightarrow \begin{cases} c_{11}(\alpha, \beta, \eta) = a_{11}(q) \\ c_{13}(\alpha, \beta, \eta) = a_{13}(q) \\ c_{23}(\alpha, \beta, \eta) = a_{23}(q) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \cos \beta \sin \eta = \cos(q_1 + q_2) \\ \sin \beta = 0 \\ -\sin \alpha \cos \beta = 0 \end{cases} \quad (2.23)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \sin \beta = 0 \\ \sin \alpha = 0 \\ \sin \eta = \frac{\cos(q_1 + q_2)}{\cos \beta} = \sin(q_1 + q_2 - \frac{\pi}{2}) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha = 0 \\ \beta = 0 \\ \eta = q_1 + q_2 - \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (I) \quad (2.24)$$

Hệ (I) chính là hướng của khâu thao tác cuối được biểu diễn theo 3 góc Cardan.

**Vận tốc dài điểm cuối, gia tốc dài điểm cuối, vận tốc góc các khâu**

**Vận tốc điểm cuối:**

Ma trận Jacobi tịnh tiến của khâu cuối:

$$J_{TE} = \begin{pmatrix} -a_2 s_{12} - a_1 s_1 & -a_2 s_{12} & 0 \\ a_2 c_{12} + a_1 c_1 & a_2 c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.25)$$

Vận tốc dài điểm tác động cuối:

$$a_3^{(0)} = \frac{d(v_3^{(0)})}{dt} = \begin{pmatrix} [-a_{12}s_{12} - a_1s_1]\ddot{q}_1 - a_2s_{12}\ddot{q}_2 \\ [a_{12}c_{12} + a_1c_1]\ddot{q}_1 + a_2c_{12}\ddot{q}_2 \\ \ddot{q}_3 \end{pmatrix} \quad (2.26)$$

Vận tốc góc khâu cuối:

Ma trận cosin chỉ hướng khâu 3:

$$A_3^0 = \begin{pmatrix} c_{12} & -s_{12} & 0 \\ s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.27)$$

Vector vận tốc góc khâu 3 là:

$$\tilde{\omega}_3^{(0)} = \dot{A}_3^0 \cdot A_3^{0T} = \begin{pmatrix} 0 & -\dot{q}_1 - \dot{q}_2 & 0 \\ \dot{q}_1 + \dot{q}_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.28)$$

Vận tốc góc khâu 3 là:

$$\omega_3^{(0)} = (0 \quad 0 \quad \dot{q}_1 + \dot{q}_2)^T \quad (2.29)$$

Vận tốc góc khâu 1:

Ma trận cosin chỉ hướng khâu 1:

$$A_1^0 = \begin{pmatrix} c_1 & -s_1 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.30)$$

Vector vận tốc góc khâu 1:

$$\tilde{\omega}_1^{(0)} = \dot{A}_1^0 A_0^{0T} = \begin{pmatrix} 0 & -\dot{q}_1 & 0 \\ \dot{q}_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.31)$$

Vận tốc góc khâu 1 là:

$$\omega_1^{(0)} = (0 \quad 0 \quad \dot{q}_1)^T \quad (2.32)$$

Vận tốc góc khâu 2:

Ma trận cosin chỉ hướng khâu 2:

$$A_2^0 = \begin{pmatrix} c_{12} & -s_{12} & 0 \\ s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.33)$$

Vector vận tốc góc khâu 2:

$$\tilde{\omega}_2^{(0)} = \dot{A}_2^0 \cdot A_2^{0T} = \begin{pmatrix} 0 & -\dot{q}_1 - \dot{q}_2 & 0 \\ \dot{q}_1 + \dot{q}_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.34)$$

Vận tốc góc khâu 2:

$$\omega_2^{(0)} = (0 \quad 0 \quad \dot{q}_1 + \dot{q}_2)^T \quad (2.35)$$

### 2.1.3- Bài toán động học ngược (BTN)

Bài toán động học ngược có ý nghĩa rất quan trọng trong lập trình và điều khiển chuyển động của robot. Bởi vì trong thực tế thường cần điều khiển robot sao cho tay kẹp (khâu thao tác) di chuyển tới các vị trí nhất định trong không gian thao tác theo một quy luật nào đó. Đối với BTN, quy luật chuyển động của khâu thao tác (các tọa độ định vị) đã biết, cần xác định các tọa độ khớp (biến khớp). Bài toán này có thể giải bằng nhiều phương pháp khác nhau. Ở đây, em xin trình bày phương pháp Giải tích.

Với động học ngược vị trí cho robot 3 bậc tự do, ở trường hợp này là robot lắp ráp. Đầu vào cần xác định nó là  $[x_E \quad y_E \quad z_E]$ .



Từ các phương trình (2.19), (2.20) và (2.21) ta có:

$$\begin{cases} x_E = a_2 \cos(q_1 + q_2) + a_1 \cos(q_1) & (1) \\ y_E = a_2 \sin(q_1 + q_2) + a_1 \sin(q_1) & (2) \\ z_E = q_3 + d_2 + d_1 & (3) \end{cases} \quad (2.36)$$

Bình phương 2 vế phương trình (1) và (2), ta có:

$$\begin{aligned} x_E^2 &= a_2^2 \cos^2(q_1 + q_2) + a_1^2 \cos^2(q_1) + 2a_2a_1 \cos(q_1 + q_2) \cos(q_1) \\ y_E^2 &= a_2^2 \sin^2(q_1 + q_2) + a_1^2 \sin^2(q_1) + 2a_2a_1 \sin(q_1 + q_2) \sin(q_1) \end{aligned} \quad (2.37)$$

Cộng 2 vế 2 phương trình, ta được:

$$\begin{aligned} x_E^2 + y_E^2 &= a_2^2 + a_1^2 + 2a_2a_1 [\cos(q_1 + q_2) \cos(q_1) + \sin(q_1 + q_2) \sin(q_1)] \\ &\Leftrightarrow x_E^2 + y_E^2 = a_2^2 + a_1^2 + 2a_2a_1 \cos(q_2) \\ &\Leftrightarrow q_2 = \arccos \left( \frac{x_E^2 + y_E^2 - a_2^2 - a_1^2}{2a_2a_1} \right) \end{aligned} \quad (2.38)$$

Biến 2 phương trình (1) và (2) của (2.36) trở thành hệ phương trình mới với 2 ẩn  $\cos(q_1)$ ,  $\sin(q_1)$ :

$$\begin{cases} x_E = a_2 \cos(q_1 + q_2) + a_1 \cos(q_1) \\ y_E = a_2 \sin(q_1 + q_2) + a_1 \sin(q_1) \end{cases} \quad (2.39)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} [a_2 \cos(q_2) + a_1] \cos(q_1) - a_2 \sin(q_2) \sin(q_1) = x_E \\ a_2 \sin(q_2) \cos(q_1) + [a_2 \cos(q_2) + a_1] \sin(q_1) = y_E \end{cases}$$

Từ các định thức của hệ phương trình bậc nhất 2 ẩn:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_2 \cos(q_2) + a_1 & -a_2 \sin(q_2) \\ a_2 \sin(q_2) & a_2 \cos(q_2) + a_1 \end{vmatrix} = a_2^2 + a_1^2 + 2a_2a_1 \cos(q_2) = x_E^2 + y_E^2$$

$$\Delta_x = \begin{vmatrix} x_E & -a_2 \sin(q_2) \\ y_E & a_2 \cos(q_2) + a_1 \end{vmatrix} = a_2 [x_E \cos(q_2) + y_E \sin(q_2)] + a_1 x_E \quad (2.40)$$

$$\Delta_y = \begin{vmatrix} a_2 \cos(q_2) + a_1 & x_E \\ a_2 \sin(q_2) & y_E \end{vmatrix} = a_2 [y_E \cos(q_2) - x_E \sin(q_2)] + a_1 y_E$$

Giải hệ phương trình bậc nhất 2 ẩn ta được:

$$\cos(q_1) = \frac{\Delta_x}{\Delta} = \frac{a_2 [x_E \cos(q_2) + y_E \sin(q_2)] + a_1 x_E}{x_E^2 + y_E^2}$$

$$\sin(q_1) = \frac{\Delta_y}{\Delta} = \frac{a_2 [y_E \cos(q_2) - x_E \sin(q_2)] + a_1 y_E}{x_E^2 + y_E^2}$$

$$\Leftrightarrow q_1 = \arctan\left(\frac{\sin(q_1)}{\cos(q_1)}\right) = \arctan\left(\frac{a_2 [y_E \cos(q_2) - x_E \sin(q_2)] + a_1 y_E}{a_2 [x_E \cos(q_2) + y_E \sin(q_2)] + a_1 x_E}\right) \quad (2.41)$$

**Tóm lại:**

$$\text{Với } \begin{cases} a_1 = 350(mm) = 0,35(m) \\ a_2 = 500(mm) = 0,5(m) \\ d_1 = 340(mm) = 0,34(m) \\ d_2 = 110(mm) = 0,11(m) \end{cases}$$

Kết quả bài toán động học ngược là:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_1 = \arctan\left(\frac{0,5[y_E \cos(q_2) - x_E \sin(q_2)] + 0,35 y_E}{0,5[x_E \cos(q_2) + y_E \sin(q_2)] + 0,35 x_E}\right) \\ q_2 = \arccos\left(\frac{x_E^2 + y_E^2 - 0,3725}{0,35}\right)(rad) \\ q_3 = z_E - 0,45(m) \end{array} \right. \quad (2.42)$$

## 2.2- Không gian hoạt động robot Scara 3 bậc tự do

### 2.2.1- Xác định không gian hoạt động robot Scara

Không gian làm việc của robot là vùng không gian hoạt động của robot mà tại mỗi vị trí trong không gian đó robot vẫn hoạt động bình thường với đầy đủ tất cả các bậc tự do.

#### **a- Các điều kiện ràng buộc**

Độ dài của các khâu tay máy robot:

$$a_1 = 350\text{mm}; a_2 = 500\text{mm}; d_3 = [0;400] \text{ mm}$$

Các biến khớp có giới hạn góc quay như sau:

$$\theta_1 = [-165^\circ; 165^\circ] \text{ so với trục } z_0; \theta_2 = [-147^\circ; 147^\circ] \text{ so với trục } z_1.$$

#### **b- Xây dựng thuật toán xác định không gian hoạt động**

Không gian làm việc của robot Scara được xác định là sự kết hợp của quỹ tích của các cung tròn khi khâu 1 và khâu 2 của robot quét trên mặt phẳng nằm ngang và 22 sự dịch chuyển của các cung này theo phương thẳng đứng một đoạn đứng bằng giới hạn của khâu 3.

Các bước xây dựng không gian làm việc của robot Scara (xem H2.3):

Với góc quay thực tế  $\theta_1 = \pm 165^\circ$ ,  $\theta_2 = \pm 147^\circ$ , và độ dài khâu  $a_1 = 350\text{mm}$ ,  $a_2 = 500\text{mm}$ ;

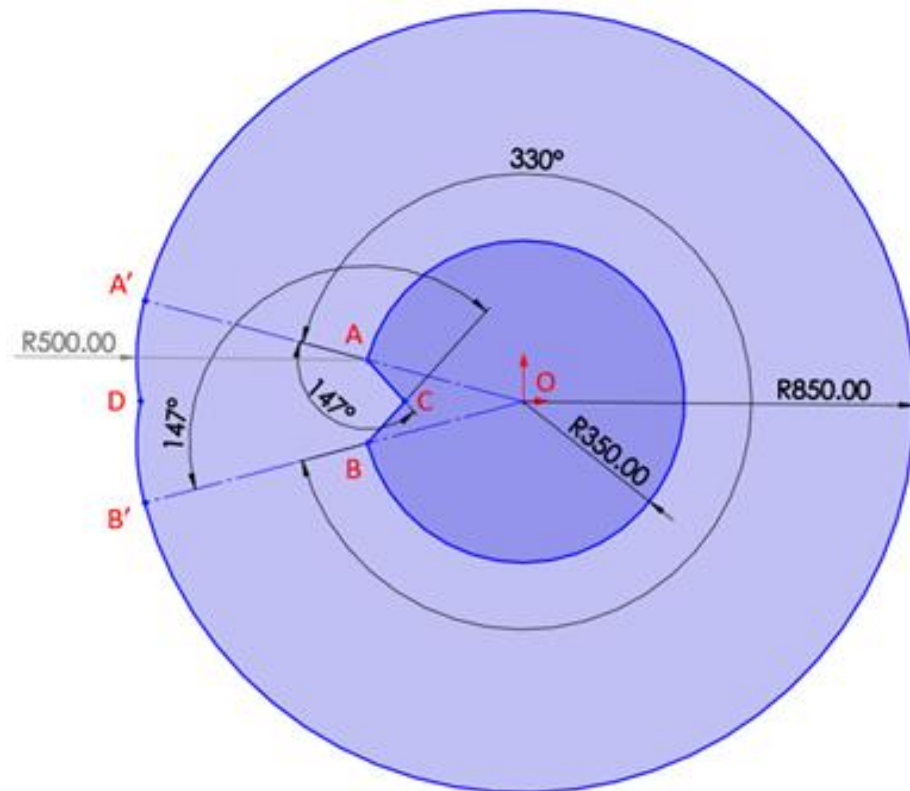
Trước tiên dựng đường tròn tâm O bán kính  $a_1$  bằng cách cho khâu 1 quét 1 đường tròn với tâm giá đỡ của robot, với  $\theta_1 = \pm 165^\circ$ . Lấy 2 điểm A, B sao cho góc  $AOB = 330^\circ$ , đó chính là khoảng giới hạn mà khâu 1 có thể quay được.

Cho cánh tay 1 lần lượt quay đến hai điểm A, B đã vạch ở trên, ta tiếp tục dựng đường tròn bán kính là  $a_2$  đúng bằng giá trị khâu 2.

Từ tâm O dựng OA, OB, 2 tâm đường tròn tâm A, tâm B tại 2 điểm A', B'.

Dựng 2 tia hợp với OA, OB góc  $147^\circ$ . Hai cung tròn cắt nhau tại lần lượt C, D.

Ta duỗi thẳng khâu 1 và khâu 2 của tay máy, lấy tâm O giá đỡ, quay đường tròn bán kính  $a_1 + a_2$ , ta sẽ được miền làm việc trên (Oxy), còn phương Oz, ta kéo một khoảng bằng  $d_3$  ta được miền làm việc của robot Scara



**Hình 2.3-** Miền làm việc của robot Scara trên mặt phẳng Oxy

### c- **Mô phỏng không gian hoạt động robot Scara**

Có rất nhiều cách để vẽ mô phỏng miền làm việc trong không gian của robot Scara 3 bậc tự do nhưng trong bài em đưa ra 2 phương pháp đó là mô phỏng bằng Matlab và mô phỏng bằng Solidworks.

#### **Mô phỏng bằng Matlab**

Phương pháp này chúng ta sẽ tạo ra các điểm mà robot có thể làm việc tới kí hiệu dấu '\*'. Tập hợp tất cả các điểm '\*' ta sẽ được miền hoạt động của robot trong không gian.

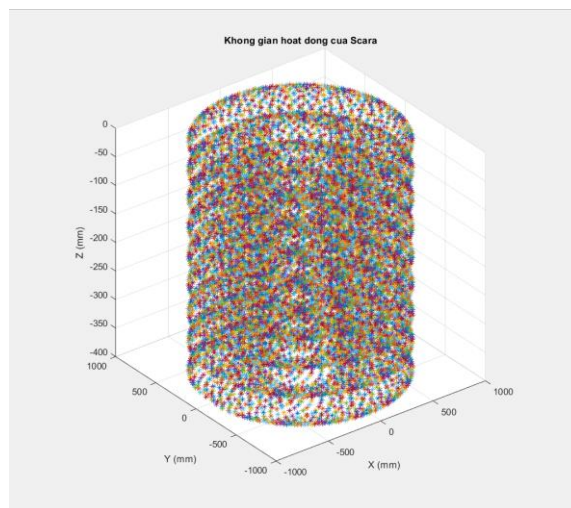
H2.4 giới thiệu một phần chương trình mô phỏng không gian hoạt động của robot Scara.

```

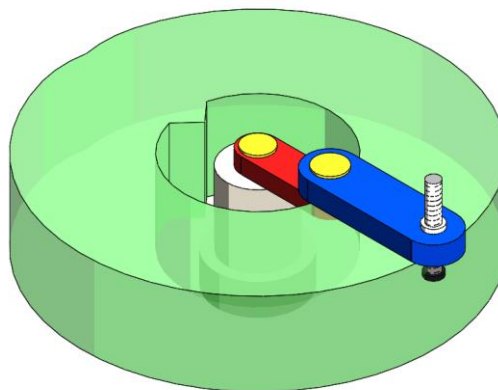
1 - a1=350;
2 - a2=500;
3 - for i=0:50:400
4 -     for j=-165*pi/180:pi/20:165*pi/180
5 -         for k=-147*pi/180:pi/20:147*pi/180
6 -             xe=a2*cos(j+k)+a1*cos(j);
7 -             ye=a2*sin(j+k)+a1*sin(j);
8 -             ze=-i;
9 -             plot3(xe,ye,ze,'*');
10 -            hold on;
11 -            grid on;
12 -            axis square;
13 -        end
14 -    end
15 - end
16 - xlabel('X (mm)');
17 - ylabel('Y (mm)');
18 - zlabel('Z (mm)');
19 - title('Không gian hoạt động của Scara');

```

**Hình 2.4-** Chương trình mô phỏng trên Matlab



**Hình 2.5-** Miền hoạt động của robot Scara bằng Matlab



**Hình 2.6-** Mô phỏng miền làm việc Scara bằng Solid Works

### 2.2.2- Thiết kế quỹ đạo chuyển động của Robot

Chuyển động tay máy thường được xác định trong không gian thao tác thông qua các tham số quỹ đạo như vị trí ban đầu và vị trí cuối, có thể thêm một số vị trí trung gian và thời gian đi theo những đường di chuyển hình học cụ thể. Nếu muốn thiết kế một quỹ đạo trong không gian khớp, trước tiên ta cần xác định giá trị của các biến khớp tương ứng với vị trí và hướng ban đầu, vị trí và hướng cuối cùng của bàn kẹp được cho bởi người sử dụng. Sau đó sử dụng kết quả BTN nếu việc thiết kế quỹ đạo được thực hiện off line, hoặc đo trực tiếp các biến ở trên.

Thuật toán thiết kế quỹ đạo tạo ra hàm nội suy  $q(t)$  từ các vector biến khớp cho trước tại mỗi điểm, có xét đến những ràng buộc áp đặt lên hệ. Nhìn chung, thuật toán này yêu cầu những tính năng sau đây:

- Quỹ đạo tạo ra không đòi hỏi chi phí tính toán lớn;
- Các vị trí và vận tốc khớp nên là các hàm liên tục theo thời gian (tính liên tục của gia tốc cũng có thể được yêu cầu);
- Giảm thiểu các hiệu ứng không mong muốn, ví dụ như quỹ đạo không trơn nội suy từ chuỗi các điểm trên đường di chuyển.

#### **Thiết kế quỹ đạo của robot trong không gian khớp:**

Thiết kế quỹ đạo bậc 3 riêng biệt: quỹ đạo thẳng đi từ A đến B; quay quanh tâm I một vòng và quỹ đạo theo đường thẳng từ B về A. Thời gian tương ứng là 2s, 4s, 2s.

Để thảo mãn điều kiện về quỹ đạo về vận tốc, ta thiết lập quan hệ  $x = x(t)$  là đa thức bậc 3:  $x = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$ . (2.43)

$$\text{Các điều kiện biên: } \begin{cases} S(0) = A(x_0, y_0) \\ v(0) = v_0 = 0 \\ S(f) = C(x_c, y_c) \\ v(f) = v_c = 0 \end{cases} \quad (2.44)$$

Trong đó:

$S(0)$ - tọa độ ban đầu ở thời gian  $t=0$ ;

$v(0)$ - vận tốc ban đầu tại thời gian  $t=0$ ;

$S(f)$ - tọa độ điểm cuối;

$v(f)$ - vận tốc điểm cuối.

Chiếu các điều kiện biên lên phương Z

$$\text{Ta sẽ có điều kiện: } \begin{cases} z(0) = z_0 \\ v_z(0) = 0 \\ z(f) = z_c \\ v_z(f) = 0 \end{cases} \quad (2.45)$$

Trong đó:

$z(0)$ - Tọa độ ban đầu kẹp theo phương z tại thời điểm ban đầu;

$v_z(0)$ - vận tốc đầu kẹp theo phương z tại thời điểm ban đầu;

$z(f)$ - tọa độ đầu kẹp theo phương z tại thời điểm cuối;

$v_z(f)$ - vận tốc đầu kẹp theo phương z tại thời điểm cuối.

$$\text{Từ (2.45)} \Rightarrow \begin{cases} z_0 = a_0 + a_1 t_0 + a_2 t_0^2 + a_3 t_0^3 \\ 0 = a_1 + 2a_2 t_0 + 3a_3 t_0^2 \\ z_c = a_0 + a_1 t_c + a_2 t_c^2 + a_3 t_c^3 \\ 0 = a_1 + 2a_2 t_c + 3a_3 t_c^2 \end{cases} \quad (2.46)$$

Giải phương trình trên ta tìm  $a_0, a_1, a_2, a_3$ :

$$\begin{cases} a_0 = z_0 \\ a_1 = 0 \\ a_2 = \frac{3(z_c - z_0)}{t_c^2} \\ a_3 = \frac{-2(z_c - z_0)}{t_c^3} \end{cases} \quad \text{Khi thiết kế } z = z(t)$$

### **a- Chuyển động theo đoạn thẳng**

Để phục vụ cho tín hiệu vào cho bộ điều khiển trong không gian làm việc, nên chỉ xét quỹ đạo chuyển động của robot giữa hai điểm A( $x_a, y_a, z_a$ ) và B( $x_b, y_b, z_b$ ) là đường thẳng .

Ta có phương trình đường thẳng trong không gian được tạo bởi 2 điểm A và B là:

$$\frac{x-x_a}{x_b-x_a} = \frac{y-y_a}{y_b-y_a} = \frac{z-z_a}{z_b-z_a} \quad (2.47)$$

$$(x_b \neq x_a; y_b \neq y_a; z_b \neq z_a)$$

**Giai đoạn 1:** di chuyển theo đường thẳng từ A đến B mất  $t_1 = 2(s)$ :  
 $A(250, 500, 400); B(250, 500, 300)$ .

Tìm được các thông số cho phương trình:  $z(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$ .

$$\begin{cases} a_0 = x_0 = 400 \\ a_1 = 0 \\ a_2 = \frac{3(z_c - z_0)}{t_c^2} = \frac{3(400 - 300)}{2^2} = 75 \\ a_3 = \frac{-2(z_c - z_0)}{t_c^3} = \frac{-2(400 - 300)}{2^3} = -25 \end{cases} \quad (2.48)$$

Ta có được phương trình quỹ đạo giai đoạn 1(A – B):

$$\begin{cases} x = 250 \\ y = 500 \\ z = 400 + 75.t^2 - 25.t^3 \end{cases} \quad (2.49)$$

#### **b- Chuyển động theo đoạn cong**

**Giai đoạn 2:** di chuyển theo đường tròn từ B quay 1 vòng quanh tâm I trong  $t_3 = 4(s)$ :  $B(250, 500, 300)$ ,  $I(250, 450, 300)$ , bán kính  $R = 50(mm)$ .

Xác định phương trình bậc 3:  $s(t) = a_{s0} + a_{s1}t + a_{s2}t^2 + a_{s3}t^3 = R\varphi(t)$   
 (2.50)

$$\text{Hay: } \varphi(t) = \frac{a_{s0}}{R} + \frac{a_{s1}}{R}t + \frac{a_{s2}}{R}t^2 + \frac{a_{s3}}{R}t^3 = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$$



Các điều kiện biên: 
$$\begin{cases} \varphi(0) = \varphi_0 = 0 \\ \omega(0) = \omega_0 = 0 \\ \varphi(t_2) = \varphi_2 = 2\pi \\ \omega(t_2) = 0 \end{cases}$$

Giải phương trình tính được  $a_0, a_1, a_2, a_3$ :

$$\begin{cases} a_0 = \varphi_0 = 0 \\ a_1 = 0 \\ a_2 = \frac{3(\varphi_2 - \varphi_0)}{t_2^2} = \frac{6\pi}{4^2} = 1.178 \\ a_3 = \frac{-2(\varphi_2 - \varphi_0)}{t_2^3} = \frac{-4\pi}{4^3} = -0.196 \end{cases} \quad (2.51)$$

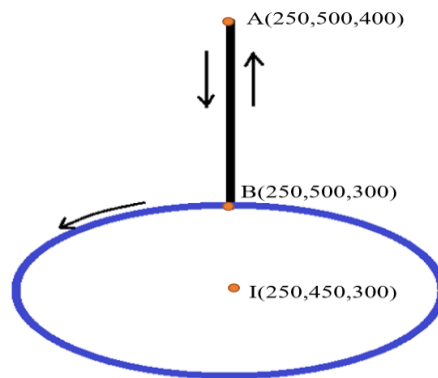
$$\Rightarrow \varphi(t) = 1.178t^2 - 0.196t^3$$

Phương trình quỹ đạo đường tròn dạng tham số:

$$\begin{cases} x = x_I + R \sin(\varphi(t)) \\ y = y_I + R \cos(\varphi(t)) \\ z = z_C \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = 250 + 50 \sin(1.178t^2 - 0.196t^3) \\ y = 450 + 50 \cos(1.178t^2 - 0.196t^3) \\ z = 300 \end{cases} \quad (2.52)$$

### c- Chuyển động phức tạp

Tọa độ các điểm đi qua:



**Hình 2.7-** Quỹ đạo chuyển động đề ra

Tương tự như giai đoạn 1 ta có:

Giai đoạn 3: di chuyển theo đường thẳng từ B đến A mất  $t_2 = 2(s)$ :  
 $A(250, 500, 400); B(250, 500, 300)$ .

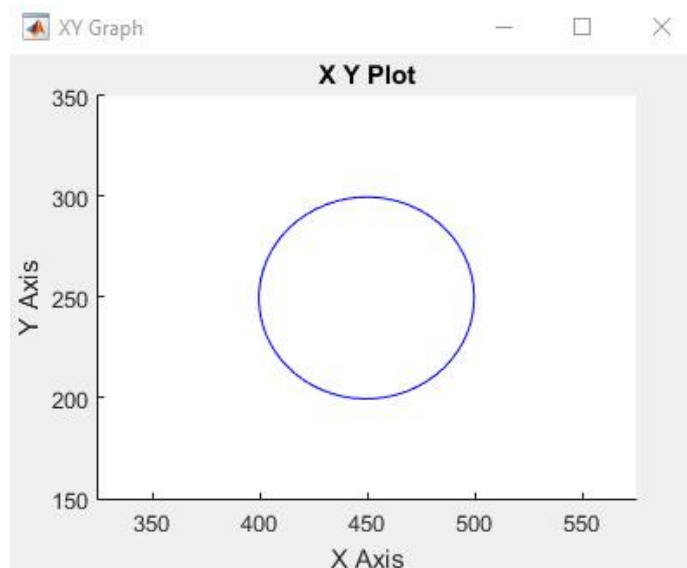
Ta cũng có được phương trình quỹ đạo giai đoạn 3 (B – A):

$$\begin{cases} x = 250 \\ y = 500 \\ z = 300 - 75.t^2 + 25.t^3 \end{cases} \quad (2.53)$$

Vậy từ đây ta sẽ được quỹ đạo chuyển động phức tạp là kết hợp lần lượt 3 giai đoạn trên.

#### d- Mô phỏng động học robot Scara theo quỹ đạo chuyển động phức tạp

Sử dụng công cụ mô phỏng bằng Matlab em vẽ được đồ thị quỹ đạo chuyển động trong mặt phẳng xOy của điểm tác động cuối E.



**Hình 2.8-** Đồ thị quỹ đạo chuyển động theo mặt phẳng xOy

### 2.3- Động lực học robot Scara 3 bậc tự do

#### 2.3.1- Nội dung, mô hình và giải bài toán động lực học robot Scara

##### a- Nội dung, mục đích, ý nghĩa bài toán động lực học robot Scara

Việc xây dựng mô hình động lực học (ĐLH) của tay máy robot đóng một vai trò quan trọng cho việc mô phỏng chuyển động, phân tích cấu trúc tay máy và thiết kế các thuật toán điều khiển. Mô phỏng chuyển động tay máy cho phép kiểm tra các

luật điều khiển và kỹ thuật lập trình chuyển động mà không cần sử dụng hệ thống vật lý có sẵn. Việc phân tích mô hình ĐLH có thể giúp ích cho việc thiết kế cơ khí của các cánh tay nguyên mẫu. Tính toán các lực và mômen cần thiết để thực hiện các chuyển động điển hình cung cấp thông tin hữu ích cho việc thiết kế các khớp nối, bộ truyền động và lựa chọn động cơ.

### **b- Mô hình động lực học robot Scara**

Để tính toán ĐLH robot, ta thiết lập phương trình vi phân chuyển động của robot. Phương trình vi phân chuyển động của robot được xây dựng theo phương trình Lagrange loại II có dạng tổng quát như sau:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right)^T - \left( \frac{\partial T}{\partial q_i} \right)^T = - \left( \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} \right)^T + Q_i^{kt} \quad (2.54)$$

Với:

T- Động năng của robot;

$\Pi$ - Thế năng của robot;

$q_i$ - Tọa độ suy rộng thứ i;

$Q_i^{kt}$ - Lực suy rộng của các lực không thế ứng với tọa độ suy rộng  $q_i$ .

Trong tính toán thiết kế robot người ta thường sử dụng dạng ma trận của phương trình Lagrange loại II để thuận lợi trong sử dụng các công cụ toán học và tiến hành mô phỏng trên máy tính. Phương trình vi phân chuyển động của robot có dạng:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = Q \quad (2.55)$$

Trong đó:

M- Ma trận khối lượng

C- Ma trận Coriolis

G- Ma trận trọng lượng

Q- Vector lực suy rộng của các lực không thế. Với:

$Q = U + J_E^T F_E^{(0)}$  với  $U = [\tau_1 \quad \tau_2 \quad \tau_3]^T$  - Lực dẫn động  $\tau_i$  của động cơ đặt tại

các khớp.

Khớp tịnh tiến thì  $\tau_i$  là lực  $F_{mi}$ , với khớp quay thì  $\tau_i$  là ngẫu lực có mômen  $M_{mi}$ .

### c- Giải bài toán động lực học robot Scara

Ở đây, biểu diễn phương trình vi phân chuyển động cho robot dạng ma trận.

#### **Ma trận khối lượng $M$**

Ma trận khối lượng suy rộng được tính theo công thức:

$$M(q) = \sum_{k=1}^n \left( J_{Tk}^T m_k J_{Tk} + J_{Rk}^T A_k^0 I_{Ck}^{(k)} A_k^{0T} J_{Rk} \right) = M^T(q) \quad (2.56)$$

Với:

$J_{Tk}$  - Ma trận Jacobi tịnh tiến của khối tâm khâu k

$J_{Rk}$  - Ma trận Jacobi quay của khối tâm khâu k

$I_{Ck}$  - Ma trận mômen quán tính khối

#### **Xét khâu 1:**

Tọa độ khối tâm  $O_{C1}$  trong hệ tọa độ 1:

$$u_{C1}^{(1)} = [-l_1 \quad 0 \quad 0]^T, l_1 = \frac{a_1}{2}, l_1 \text{ là khoảng cách từ khối tâm } O_{C1} \text{ đến gốc } O_1.$$

Bán kính định vị khối tâm  $O_{C1}$ :

$$r_{C1}^{(0)} = [(a_1 - l_1)c_1 \quad (a_1 - l_1) \quad d_1]^T \quad (2.57)$$

Ma trận Jacobi tịnh tiến:

$$J_{T1} = \frac{\partial r_{C1}^{(0)}}{\partial q} = \begin{pmatrix} -(a_1 - l_1)s_1 & 0 & 0 \\ (a_1 - l_1)c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.58)$$

Ma trận Jacobi quay:

$$J_{R1} = \frac{\partial \omega_1^{(0)}}{\partial \dot{q}} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.59)$$

Ma trận mômen quán tính khối:

$$I_{C1}^{(1)} = \begin{pmatrix} I_{xx1} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy1} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz1} \end{pmatrix} \quad (2.60)$$

**Xét khâu 2:**

Tọa độ khối tâm  $O_{C2}$  trong hệ tọa độ 2:

$$u_{C2}^{(1)} = [-l_2 \quad 0 \quad 0]^T, l_2 = \frac{a_2}{2} \quad l_2 \text{ là khoảng cách từ khối tâm } O_{C2} \text{ đến gốc } O_2.$$

Bán kính định vị khối tâm  $O_{C2}$ :

$$r_{C2}^{(0)} = [(a_2 - l_2)c_{12} + a_1c_1 \quad (a_2 - l_2)s_{12} + a_1s_1 \quad d_2 + d_1]^T \quad (2.61)$$

Ma trận Jacobi tịnh tiến:

$$J_{T2} = \frac{\partial r_{C2}^{(0)}}{\partial q} = \begin{pmatrix} -(a_2 - l_2)s_{12} - a_1s_1 & -(a_2 - l_2)s_{12} & 0 \\ (a_2 - l_2)c_{12} + a_1c_1 & (a_2 - l_2)c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.62)$$

Ma trận Jacobi quay:

$$J_{R2} = \frac{\partial \omega_2^{(0)}}{\partial \dot{q}} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.63)$$

Ma trận mômen quán tính khối:

$$I_{C2}^{(2)} = \begin{pmatrix} I_{xx2} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy2} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz2} \end{pmatrix} \quad (2.64)$$

**Xét khâu 3:**

Tọa độ khối tâm trong  $O_{C3}$  hệ tọa độ 3:

$$u_{C3}^{(1)} = [l_3 \quad 0 \quad 0]^T \text{ với } l_3 = q_3 + \text{const}, l_3 \text{ là khoảng cách từ khối tâm } O_{C3} \text{ đến gốc } O_3.$$

Bán kính định vị khối tâm  $O_{C3}$ :

$$r_{C3}^{(0)} = [a_2c_{12} + a_1c_1 \quad a_2s_{12} + a_1s_1 \quad q_3 + \text{const} + d_2 + d_1]^T \quad (2.65)$$

Ma trận Jacobi quay:

$$J_{T3} = \frac{\partial r_{C3}^{(0)}}{\partial q} = \begin{pmatrix} -a_2 s_{12} - a_1 s_1 & -a_2 s_{12} & 0 \\ a_2 c_{12} + a_1 c_1 & a_2 c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.66)$$

Ma trận mômen quán tính khối:

$$I_{C3}^{(3)} = \begin{pmatrix} I_{xx3} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy3} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz3} \end{pmatrix} \quad (2.67)$$

Vậy ma trận khối lượng M được xác định:

$$M(q) = \sum_{k=1}^3 \left( J_{Tk}^T m_k J_{Tk} + J_{Rk}^T A_k^0 I_{Ck}^{(k)} A_k^{0T} J_{Rk} \right) = \begin{pmatrix} m_{11}(q) & m_{12}(q) & m_{13}(q) \\ m_{21}(q) & m_{22}(q) & m_{23}(q) \\ m_{31}(q) & m_{32}(q) & m_{33}(q) \end{pmatrix} \quad (2.68)$$

Giải (2.68) ta thu được kết quả như sau:

$$\begin{aligned} m_{11}(q) &= I_{zz1} + I_{zz2} + I_{zz3} + \frac{a_1^2}{4} m_1 + \left[ a_1^2 + \frac{a_2^2}{a} + a_1 a_2 \cos(q_2) \right] m_2 \\ &+ \left[ a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos(q_2) \right] m_3 \\ m_{12}(q) &= m_{21}(q) = I_{zz2} + I_{zz3} + \left[ \frac{1}{2} a_1 a_2 \cos(q_2) + \frac{a_2^2}{a} \right] m_2 + \left[ a_2^2 + a_1 a_2 \cos(q_2) \right] m_3 \\ m_{22}(q) &= I_{zz2} + I_{zz3} + \frac{a_2^2}{4} m_2 + a_2^2 m_3 \\ m_{33}(q) &= m_3 \\ m_{13}(q) &= m_{31}(q) = m_{23}(q) = m_{32}(q) = 0 \end{aligned} \quad (2.69)$$

### **Ma trận Coriolis C**

Ma trận đặc trưng cho lực quán tính Coriolis và lực quán tính li tâm  $C(q, \dot{q})$  xác định bởi:

$$C(q, \dot{q}) = \begin{pmatrix} c_{11}(q, \dot{q}) & c_{12}(q, \dot{q}) & c_{13}(q, \dot{q}) \\ c_{21}(q, \dot{q}) & c_{22}(q, \dot{q}) & c_{23}(q, \dot{q}) \\ c_{31}(q, \dot{q}) & c_{32}(q, \dot{q}) & c_{33}(q, \dot{q}) \end{pmatrix} \quad (2.70)$$

Các phần tử của ma trận này được tính theo công thức Christoffel:

$$c_{ij}(q, \dot{q}) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^3 \left( \frac{\partial m_{ij}}{\partial q_k} + \frac{\partial m_{ik}}{\partial q_j} - \frac{\partial m_{jk}}{\partial q_i} \right) \dot{q}_k \quad (2.71)$$

Giải (2.64) ta được kết quả:

$$\begin{aligned} c_{11}(q, \dot{q}) &= -\left(\frac{m_2}{2} + m_3\right) a_1 a_2 \sin(q_2) \dot{q}_2 \\ c_{12}(q, \dot{q}) &= -\left(\frac{m_2}{2} + m_3\right) a_1 a_2 \sin(q_2) \dot{q}_1 - \left(\frac{m_2}{2} + m_3\right) a_1 a_2 \sin(q_2) \dot{q}_2 \\ c_{21}(q, \dot{q}) &= \left(\frac{m_2}{2} + m_3\right) a_1 a_2 \sin(q_2) \dot{q}_1 \\ c_{13}(q, \dot{q}) &= c_{22}(q, \dot{q}) = c_{23}(q, \dot{q}) = c_{31}(q, \dot{q}) = c_{32}(q, \dot{q}) = c_{33}(q, \dot{q}) = 0 \end{aligned} \quad (2.72)$$

### **Ma trận trọng lượng $G$**

Chọn gốc thế năng trùng với hệ tọa độ cơ sở.

Vector trọng lực:

$$g^{(0)} = (0 \quad 0 \quad -g)^T \quad (2.73)$$

Ma trận trọng lượng:

$$G(q) = -\sum_{i=1}^3 m_i J_{Ti}^T(q) g^{(0)} = (0 \quad 0 \quad -m_3 g)^T \quad (2.74)$$

### **Lực suy rộng của các lực không thế $Q$**

Ở đây, robot được coi là mô hình lý tưởng, do đó bỏ qua lực ma sát, lực cản nhớt. Lực không thế ở đây chỉ bao gồm lực do vật tác động lên khâu thao tác cuối. Xét trường hợp tổng quát với lực và mômen có giá trị:

$$\begin{aligned} F_3 &= (F_x \quad F_y \quad F_z)^T \\ M_3 &= (M_x \quad M_y \quad M_z)^T \end{aligned} \quad (2.75)$$

Lực suy rộng được xác định theo công thức:

$$Q = U + J_E^T F_E^{(0)} \quad (2.76)$$

Trong đó:

- Lực tác động lên khâu cuối  $F_E^{(0)} = (0 \ 0 \ -F_z)^T$

-  $U = (\tau_1 \ \tau_2 \ \tau_3)^T$  là lực dẫn động  $\tau_i$  của động cơ đặt các khớp.

Vậy:  $Q = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -F_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{pmatrix}$  là vector lực suy rộng cần xác định.

Kết quả của bài toán ĐLH:

$$\begin{pmatrix} m_{11}(q) & m_{12}(q) & 0 \\ m_{21}(q) & m_{22}(q) & 0 \\ 0 & 0 & m_{33}(q) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \ddot{q}_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_{11}(q, \dot{q}) & c_{12}(q, \dot{q}) & 0 \\ c_{21}(q, \dot{q}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ m_3 g \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ F_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{pmatrix} \quad (2.77)$$

Hay lực điều khiển tại các khớp:

$$\tau = \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11}(q)\ddot{q}_1 + m_{12}(q)\ddot{q}_2 + c_{11}(q, \dot{q})\dot{q}_1 + c_{12}(q, \dot{q})\dot{q}_2 \\ m_{21}(q)\ddot{q}_1 + m_{22}(q)\ddot{q}_2 + c_{21}(q, \dot{q})\dot{q}_1 \\ m_{33}(q)\ddot{q}_3 + m_3 g + F_z \end{pmatrix} \quad (2.78)$$

### 2.3.2- Xác định công suất truyền dẫn các động cơ

#### a- Xác định công suất động cơ truyền dẫn khớp quay 1

Phương trình động lực học:

$$\tau_1 = m_{11}(q)\ddot{q}_1 + m_{12}(q)\ddot{q}_2 + c_{11}(q, \dot{q})\dot{q}_1 + c_{12}(q, \dot{q})\dot{q}_2 \quad (2.79)$$

Với:



$$\begin{aligned}
m_{11}(q) &= I_{zz1} + I_{zz2} + I_{zz3} + \frac{a_1^2}{4} m_1 + \left[ a_1^2 + \frac{a_2^2}{4} + a_1 a_2 \cos(q_2) \right] m_2 \\
&+ \left[ a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos(q_2) \right] m_3 \\
m_{12}(q) &= I_{zz2} + I_{zz3} + \left[ \frac{1}{2} a_1 a_2 \cos(q_2) + \frac{a_2^2}{4} \right] m_2 + \left[ a_2^2 + a_1 a_2 \cos(q_2) \right] m_3
\end{aligned}$$

(2.80)

$$\begin{aligned}
c_{11}(q, \dot{q}) &= -\left( \frac{m_2}{2} + m_3 \right) a_1 a_2 \sin(q_2) \dot{q}_2 \\
c_{12}(q, \dot{q}) &= -\left( \frac{m_2}{2} + m_3 \right) a_1 a_2 \sin(q_2) \dot{q}_1 - \left( \frac{m_2}{2} + m_3 \right) a_1 a_2 \sin(q_2) \dot{q}_2 \quad (2.81)
\end{aligned}$$

Trong đó:

$$\begin{cases} \dot{q}_1 = \omega_{1\max} = 7,25 \text{ (rad / s)} \\ \ddot{q}_1 = \varepsilon_{1\max} = 25 \text{ (rad / s}^2\text{)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{q}_2 = \omega_{2\max} = 11,64 \text{ (rad / s)} \\ \ddot{q}_2 = \varepsilon_{2\max} = 61,6 \text{ (rad / s}^2\text{)} \end{cases}$$

- Tại thời điểm  $t = 0,189 \text{ (s)} \Rightarrow q_2 = \varepsilon_{2\max} \cdot t^2 = 2,2 \text{ (rad)}$

- Mômen quán tính:

$$I_{zz1} = m_{khau1} \cdot l_1^2 / 12; I_{zz2} = m_{khau2} \cdot l_2^2 / 12; I_{zz3} = m_{vit} \cdot r_3^2 / 2$$

-  $a_1 = 2l_1 = 350 \text{ (mm)}; a_2 = 2l_2 = 500 \text{ (mm)}; r = d_0 / 2 = 12,5 \text{ (mm)}$

- Khối lượng đặt trên khâu 3:  $m_3 = m_{vit} + m_{tkep} = 2 + 2 = 4 \text{ (kg)}$

- Khối lượng đặt trên khâu 2:  $m_2 = m_{khau2} + m_{dc3} = 11,8 + 2,54 = 14,34 \text{ (kg)}$

- Khối lượng đặt trên khâu 1:  $m_1 = m_{khau1} + m_{dc2} = 8,2 + 6 = 14,2 \text{ (kg)}$

Suy ra mômen xoắn cực đại đặt tại khớp của khâu 1:  $\tau_{1\max} = 206 \text{ (Nm)}$

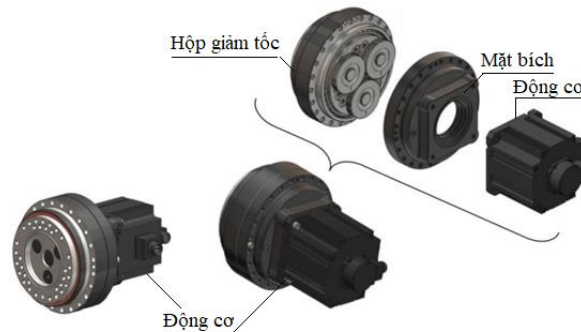
Coi hiệu suất của bộ giảm tốc cyclonal  $\mu=0,9$

Tính toán công suất động cơ: 
$$W_{dc} = \frac{\tau_{1\max} \cdot n_1}{9550 \cdot \mu} = \frac{206.75}{9550 \cdot 0,9} = 1,8 (kW) \quad (2.82)$$

Động cơ lựa chọn:

- Động cơ Panasonic Servo Minas A6;
- Công suất lớn hơn 1800W;
- Kích thước mặt bích: 130x130mm;
- Tốc độ lớn nhất 3000 vg/ph, được gắn liền với hộp giảm tốc;
- Khối lượng động cơ và bộ giảm tốc là 6 kg.

Hình 2.9 thể hiện các bộ phận cơ bản của động cơ Panasonic Servo Minas A6.



**Hình 2.9-** Các bộ phận cơ bản của động cơ Panasonic Servo Minas A6.

### b- Xác định công suất động cơ truyền dẫn khớp quay 2

Tương tự khớp quay 1, động cơ dẫn động khớp quay 2 cũng được thiết kế khi robot chạy không tải với tốc độ tối đa.

Phương trình động lực học:

$$\tau_2 = m_{21}(q)\ddot{q}_1 + m_{22}(q)\ddot{q}_2 + c_{21}(q, \dot{q})\dot{q}_1 \quad (2.83)$$

Với:

$$\begin{aligned} m_{21}(q) &= I_{zz2} + I_{zz3} + \left[ \frac{1}{2} a_1 a_2 \cos(q_2) + \frac{a_2^2}{4} \right] m_2 + [a_2^2 + a_1 a_2 \cos(q_2)] m_3 \\ m_{22}(q) &= I_{zz2} + I_{zz3} + \frac{a_2^2}{4} m_2 + a_2^2 m_3 \\ c_{21}(q, \dot{q}) &= \left( \frac{m_2}{2} + m_3 \right) a_1 a_2 \sin(q_2) \dot{q}_1 \end{aligned} \quad (2.84)$$

Trong đó:

$$\dot{q}_1 = \omega_{1\max} = 7,85 \text{ (rad / s)}$$

$$\ddot{q}_1 = \varepsilon_{1\max} = 25 \text{ (rad / s}^2\text{)}$$

$$\ddot{q}_2 = \varepsilon_{2\max} = 61,6 \text{ (rad / s}^2\text{)} \text{ tại thời điểm}$$

$$t = 0,189 \text{ (s)} \Rightarrow q_2 = \varepsilon_{2\max} \cdot t^2 = 2,2 \text{ (rad)}$$

Mômen quán tính:

$$I_{zz2} = m_{khau2} \cdot l_2^2 / 12; I_{zz3} = m_{vit} \cdot r_3^2 / 2$$

$$a_1 = 350 \text{ (mm)}; a_2 = 2l_2 = 500 \text{ (mm)}; r = d_0 / 2 = 12,5 \text{ (mm)}$$

$$\text{Khối lượng đặt trên khâu 3: } m_3 = m_{vit} + m_{tkep} = 2 + 2 = 4 \text{ (kg)}$$

$$\text{Khối lượng đặt trên khâu 2: } m_2 = m_{khau2} + m_{dc3} = 11,8 + 2,54 = 14,34 \text{ (kg)}$$

$$\text{Mômen xoắn cực đại đặt tại khớp của khâu 2: } \tau_{2\max} = 115 \text{ (Nm)}$$

Coi hiệu suất truyền động của bộ giảm tốc cylon là  $\mu=0,9$

Tính toán công suất động cơ:

$$W_{dc2} = \frac{\tau_{2\max} \cdot n_2}{9550 \cdot \mu} = \frac{115 \cdot 111}{9550 \cdot 0,9} = 1,48 \text{ (kW)}$$

Động cơ lựa chọn:

- Động cơ Panasonic Servo Minas A6;
- Công suất 1500W;
- Kích thước mặt bích: 80x80mm;
- Tốc độ lớn nhất 3000 vòng/phút được gắn kèm với bộ giảm tốc;
- Khối lượng động cơ và bộ giảm tốc là 6 kg.

### c- Xác định công suất động cơ truyền dẫn khớp tịnh tiến 3

Theo nhiệm vụ thiết kế, khâu 3 của robot có thể đạt tới vận tốc lớn nhất  $v_{3\max} = 2780 \text{ (mm/s)}$  khi chạy không tải. Vì thế, trong trường hợp này, lực dọc trục lớn nhất lẫn mômen xoắn và công suất động cơ đều được thiết kế không tải. Như vậy, khối lượng khâu 3 chỉ bao gồm khối lượng trục vít me và khối lượng tay kẹp.

$$F_{a\_max}^{khongtai} = (m_{vit} + m_{tkep})(\ddot{q}_3 - g) = (2 + 2)(44,13 + 9,81) = 215,76(N) \quad (2.85)$$

Mômen xoắn truyền vào trục vít me/ momen của đai ốc:

$$T_3 = \frac{F_a D_{tb} \tan(\gamma + \varphi_t)}{2} \quad (2.86)$$

Trong đó:

- $F_a = 215,76(N)$  là lực dọc trục vít me;
- $D_{tb} = 26,02(mm)$  là đường kính vòng tròn qua các tâm bi;
- $\gamma = 17^\circ$  là góc nâng vít;
- $\varphi_t = 0,035^\circ$  là góc ma sát lăn thay thế.

$$\Rightarrow T_3 = \frac{215,76 \cdot 26,02 \cdot 10^{-3} \cdot \tan(17^\circ + 0,035^\circ)}{2} = 0,86(Nm)$$

Tốc độ quay của đai ốc:

$$n_3 = \frac{60v_{3max}}{Zp} \quad (2.87)$$

Trong đó:

- $v_{3max} = 2,78(m/s)$  là tốc độ lớn nhất của trục vít me;
- $Z=1$  là số mối ren;
- $p = 25(mm) = 0,025(m)$  là bước vít.

$$\Rightarrow n_3 = \frac{60 \cdot 2,78}{1 \cdot 0,025} = 6672(rpm)$$

Chọn tỷ số truyền của bộ truyền động là  $u=1:2$ , tốc độ thực tế của động cơ:

$$n_{dc3} = \frac{n_3}{2} = \frac{6672}{2} = 3336(rpm) \quad (2.88)$$

Tính toán công suất của động cơ:

$$W_{dc3} = \frac{T_3 n_3}{9550 \eta_p} \quad (2.89)$$

Trong đó:

- $T_3 = 0,86(Nm)$  là mômen xoắn của trục vít me;
- $n_3 = 6672(rpm)$  là tốc độ quay của đai ốc;
- $\eta_p = 0,898$  là hiệu suất thực của trục vít me.

$$\Rightarrow W_{dc3} = \frac{0,86.6672}{9550.0,898} = 0,67(kW)$$

Từ các thông số trên, chọn động cơ truyền động cho trục vít me là động cơ AC Servo Motor BPTA007GCA6D1, công suất 750W, khối lượng 2,54kg.



- Tên sản phẩm: Động cơ Servo BPTA007GCA6D1;
- Size: 80;
- Điện áp: 220VAC;
- Công suất: 750 W;
- Model điều khiển Servo DXFE1124007\*;

**Hình 2.10-** Động cơ Servo BPTA007GCA6D1

- Dòng điện định mức - Rated Current (Arms): 4.3;
- Momen xoắn định mức - Rated Torque (N·m): 2.39;
- Momen xoắn tối đa- Max. Torque (N·m): 7.16;
- Tốc độ quay định mức - Rated Speed (rpm): 3000;
- Tốc độ quay tối đa - Max. Speed (rpm): 4000.

#### ***Tính toán thông số và chọn trục vít me- đai ốc bi***

Thông số đầu vào:

- Tải có khối lượng: 20kg;
- Vận tốc lớn nhất của trục vít:  $v_{3max} = 2,78(m/s)$ ;
- Hành trình: 400mm;
- Chọn thép 40CrMn.

Theo phương trình động lực học:

$$\tau_3 = m_{33}(q)\ddot{q}_3 + m_3g + F_z$$

(2.90)

Trong đó:

$$m_{33}(q) = m_3$$

$$m_3 = m_{tai} + m_{vit} + m_{tkep} = 20 + 2 + 2 = 24(kg)$$

( $m_{tai}$  là khối lượng tải,  $m_{vit}$  là khối lượng trục vít me bi,  $m_{tkep}$  là khối lượng tay kẹp)

Lực dọc trục:

$$F_{a\_max} = \tau_{3max} = m_3(\ddot{q}_3 + g) = 24.(44,13 + 9,81) = 1295(N)$$

**Tính toán sơ bộ đường kính ren trong của vít theo độ bền kéo**

Tính toán đường kính ren trong  $d_1$ :

$$d_1 = \sqrt{\frac{4.1,3.F_a}{\pi[\sigma_k]}} \quad (2.91)$$

Trong đó:

-  $[\sigma_k]$  là giới hạn bền kéo của thép 40CrMn, có giới hạn bền kéo

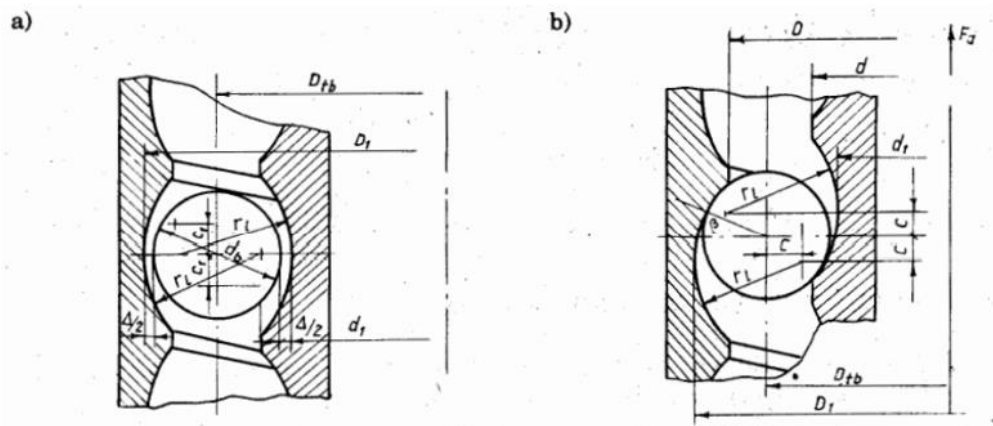
$$[\sigma_k] = [\sigma_{ch}] / 3 = 785 / 3 = 262MPa;$$

-  $F_a = 1295(N)$  là tải trọng dọc trục của vít me.

$$\Rightarrow d_1 \geq \sqrt{\frac{4.1,3.1295}{\pi.262}} = 2,86(mm)$$

Chọn  $d_1=23mm \Rightarrow$  đường kính danh nghĩa  $d_0=25mm$  theo tiêu chuẩn SKF về vít me đai ốc bi loại Rotating nut.

**Tính toán thông số bộ truyền**

**Hình 2.11-** Các kích thước bộ truyền vít me bi

Đường kính bi:  $d_b = (0,08...0,15)d_1 = 0,123 = 2,3(mm)$

Chọn  $d_b = 3(mm)$ .

Bước vít:  $p = d_b + (1...5) = 3 + 2 = 5(mm)$

Chọn  $p=25(mm)$

Bán kính rãnh lăn:

$r_1 = (0,51...0,53)d_b = 0,51.3 = 1,53(mm)$

Khoảng cách từ tâm rãnh lăn đến tâm bi:

$$c = \left( r_1 - \frac{d_b}{2} \right) \cos \beta = \left( 1,53 - \frac{3}{2} \right) \cos 45^\circ = 0,02(mm) \quad (2.92)$$

Đường kính vòng tròn qua tâm bi:

$$D_{tb} = d_1 + 2(r_1 - c) = 23 + 2(1,53 - 0,02) = 26,02(mm) \quad (2.93)$$

Đường kính trong của đai ốc:

$$D_1 = D_{tb} + 2(r_1 - c) = 26,02 + 2(1,53 - 0,02) = 29,04(mm)$$

Chiều sâu profin ren:

$$h_1 = (0,3...0,35)d_b = 0,32.3 = 0,96(mm)$$

Chọn  $h_1 = 1(mm)$ .

Đường kính ngoài của vít d và của đai ốc D:

$$d = d_1 + 2h_1 = 23 + 2.1 = 25(mm)$$

$$D = D_1 - 2h_1 = 29,04 - 2.1 = 27,04(mm)$$

Góc nâng vít:

$$\gamma = \arctan \frac{P}{\pi D_{tb}} = \arctan \frac{25}{\pi \cdot 26,02} = 17^\circ \quad (2.94)$$

Số bi trong các vòng ren làm việc:

$$Z_b = \frac{\pi D_{tb} K}{d_b} - 1 = \frac{\pi \cdot 26,02 \cdot 2,3}{3} = 61,67. \quad (2.95)$$

Chọn  $Z_b=62$  (viên).

Khe hở hướng tâm:

$$\Delta = D_1 - (2d_b + d_1) = 29,04 - (2.3 + 23) = 0,04(mm)$$

Khe hở tương đối:

$$\chi = \frac{\Delta}{d_1} = \frac{0,04}{23} = 0,0017(mm) \quad (2.96)$$

Góc ma sát lăn thay thế:

$$\varphi_1 = \arctan \frac{2f_t}{d_1 \sin \beta} = \arctan \frac{2.0,005}{23 \cdot \sin 45^\circ} = 0,035^\circ \quad (2.97)$$

Với hệ số ma sát lăn  $f_t = 0,005$ .

Hiệu suất lý thuyết biến chuyển động quay thành chuyển động tịnh tiến:

$$\eta = \frac{\tan \gamma}{\tan(\gamma + \varphi_t)} = \frac{\tan 17^\circ}{\tan(17^\circ + 0,035^\circ)} = 0,9978$$

Hiệu suất thực tế:

$$\eta_p = 0,9\eta = 0,9 \cdot 0,9978 = 0,898$$

Từ thông số trên, ta tiến hành lựa chọn trục vít me và đai ốc bi theo tiêu chuẩn của hãng SKF với đường kính danh nghĩa 25(mm).

Khối lượng trục vít me bi:

$$m_{vit} = m_{trục\_vit} + m_{dai\_oc} = D_t \frac{\pi d_0^2 L}{4} + m_{dai\_oc}$$



Trong đó:

-  $D_t = 7850 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  - khối lượng riêng của trục vít

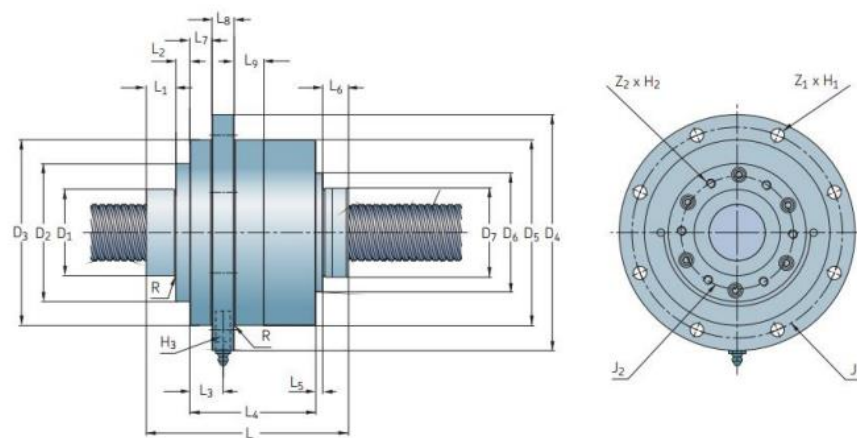
-  $d_0 = 25 \text{ mm}$  - đường kính danh nghĩa

-  $L = 400 \text{ mm}$  – chiều dài trục vít

$$\Rightarrow m_{\text{trục_vit}} = 7850 \cdot \frac{\pi \cdot 0.025^2 \cdot 0,4}{4} = 1,54 \text{ (kg)}$$

- Coi  $m_{\text{đai_oc}} = m_{\text{trục_vit}} / 3 = 0,5 \text{ (kg)}$

$$\Rightarrow m_{\text{vit}} = 2 \text{ (kg)}$$



**Hình 2.12-** Kích thước hình học của trục vít me và đai ốc

**Bảng 2.3-** Thông số kích thước của trục vít me và đai ốc bi

$d_0 \times P_h$	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>	L <sub>7</sub>	L <sub>8</sub>
25x20	121	15	12,4	19,9	2,9	16,8	12,4	15	15
25x25	126,2	15	12,4	19,9	74	2,9	16,8	12,4	15

$d_0 \times P_h$	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5g6</sub>	D <sub>6</sub>	L <sub>9</sub>
25x20	40	72,5	100	133	100	65	15
25x25	40	72,5	100	133	100	65	15

D7	R <sub>max</sub>	J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub> xH <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub> xH <sub>1</sub> (ud)	H <sub>3</sub>
48	0,8	116	55	6xØ9	6xM6x20	M6x1
48	0,8	116	55	6xØ9	6xM6x20	M6x1

### Tính chọn cơ cấu truyền động khâu 3

Trong đồ án này, em sử dụng cơ cấu truyền động cho khâu 3 là đai rang. Do truyền lực bằng ăn khớp, truyền động đai rang có những ưu điểm: không có trượt tỷ số truyền lớn ( $u \leq 12$ , đôi khi  $u < 20$ ), hiệu suất cao, không cần lực căng ban đầu lớn, lực tác dụng lên trục và ổ nhỏ.

#### Xác định mô đun và chiều rộng của đai

Mô đun được xác định theo công thức:

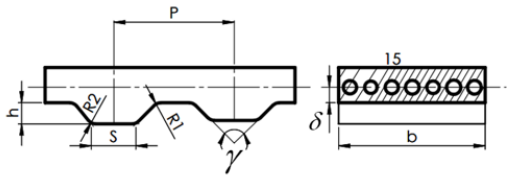
$$m = 35 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_1}{n_1}} \quad (2.98)$$

Trong đó: -  $P_1$  là công suất trên bánh đai chủ động, lấy  $P_1 = W_{dc3} = 75(\text{kW})$ ;

-  $n_1$  là số vòng quay của bánh đai chủ động. Chọn tỷ lệ truyền  $u = 1:2$ , tốc độ thực tế lấy bằng  $n_1 = n_{dc3} = 3336(\text{rpm})$ .

$$\Rightarrow m = 35 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,75}{3336}} = 2,1(\text{mm})$$

**Bảng 2.4-** Các thông số của đai răng

								
Mô đun của đai m, mm	Bước đai p, mm	Chiều dày răng nhỏ nhất S, mm	Chiều cao răng h, mm	Chiều dày đai H, mm	Khoảng cách từ đáy răng đến đường trung bình của lớp chịu tải delta, mm	Góc prôfin răng gamma, o	Bánh kính góc lượn của răng	
							R1	R2
1,0	3,14	1,0	0,8	1,6	0,4	50	0,2	0,2
1,5	4,71	1,5	1,2	2,2	0,4	50	0,3	0,3
2,0	6,28	1,8	1,5	3,0	0,6	50	0,4	0,4
3	9,42	3,2	2,0	4,0	0,6	40	0,5	0,5
4	12,57	4,4	2,5	5,0	0,8	40	1,0	1,0
5	15,71	5,0	3,5	6,5	0,8	40	1,2	1,2
7	21,99	8,0	6,0	11,0	0,8	40	1,5	1,2
10	31,42	12,0	9,0	15,0	0,8	40	2,0	1,2

Theo Bảng 4.27 (trang 68, Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí, tập một - Trịnh Chát, Lê Văn Uyển). Chọn modul = 3(mm), bước đai p = 9,42 (mm).

Chiều rộng đai:

$$b = \psi_d m \quad (2.99)$$

Trong đó:  $\psi_d = 6 \dots 9$  là hệ số chiều rộng đai, chọn giá trị nhỏ khi lấy modul tiêu chuẩn lớn hơn m tính toán và lấy giá trị lớn trong trường hợp ngược lại. Tiêu chuẩn hóa theo bảng sau:

**Bảng 2.5-** Chiều rộng đai răng b

Mô đun của đai m (mm)	Chiều rộng dây đai răng b (mm)
1	3 ; 4 ; 5 ; 8 ; 10 ; 12,5
1,5	3 ; 4 ; 5 ; 8 ; 10 ; 12,5 ; 16 ; 20
2	5 ; 8 ; 10 ; 12,5 ; 16 ; 20
3	16 ; 20 ; 25 ; 32 ; 40 ; 50
4	20 ; 25 ; 32 ; 40 ; 50 ; 63 ; 80
5	25 ; 32 ; 40 ; 50 ; 63 ; 80 ; 100
7	40 ; 50 ; 63 ; 80 ; 100 ; 125
10	50 ; 63 ; 80 ; 100 ; 125 ; 160

Từ bảng trên, với môđun m=3(mm), ta lựa chọn chiều rộng đai b= 16(mm).

#### Xác định thông số của bộ truyền

Số răng của bánh đai chủ động được chọn theo bảng 4.29( trang 70, Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí, tập 1- Trịnh Chát, Lê Văn Uyển) nhằm đảm bảo tuổi thọ cho đai.

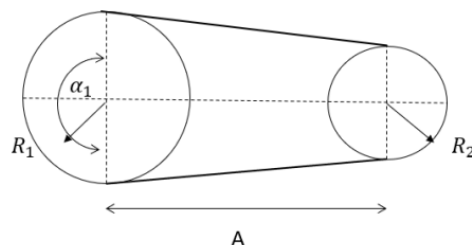
**Bảng 2.6-** Số răng của bánh đai nhỏ

Mô đun của đai m, mm	Số vòng quay bánh đai nhỏ n, vg/ph	z1 không nhỏ hơn	Mô đun của đai m, mm	Số vòng quay bánh đai nhỏ n, vg/ph	z1 không nhỏ hơn
2	500 ... 3000	12	5	500	16
	3500 ... 4500	14		1000 ... 1500	18
	5000 ... 6800	16		2000 ... 3000	20
	7000 ... 7500	18		3500 ... 4000	22
3	500 ... 1000	12	6	500	20
	1500 ... 2000	14		1000	22
	2500 ... 3500	16		1500	24
	4000 ... 5000	18		2000	26
4	500	12* ; 14	7	500	20
	1000	14* ; 16		1000	22
	1500 ... 2000	16* ; 18		1500	24
	2500 .. 3500	18* ; 20		2000	26 ... 28
Chú thích: * Đối với đai dùng dây kim loại					

Do tỷ số truyền lựa chọn là 1:2 nên bánh đai chủ động là bánh đai lớn, bánh đai bị động là bánh nhỏ.

Với mô đun của đai  $m=3(\text{mm})$  và tốc độ bánh đai chủ động  $n_1=n_{dc3}=3336(\text{rpm})$ , ta chọn số răng bánh nhỏ  $z_2=18$ .

Số răng bánh đai chủ động  $z_1=36$ .

**Hình 2.13-** Sơ đồ tính toán khoảng cách trục.

Khoảng cách trục:

$$a_{\min} \leq a \leq a_{\max} \quad (2.100)$$

$$\text{Với: } \begin{cases} a_{\min} = 0,5m(z_1 + z_2) + 2m = 0,5.3.(36+18) + 2.3 = 87(mm) \\ a_{\max} = 2m(z_1 + z_2) = 2.3.(36+18) = 324(mm) \end{cases}$$

Số răng đai:

$$z_d = \frac{2a}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{(z_2 - z_1)^2 p}{40a}$$

$$\Rightarrow z_{d\min} = 46,35(mm); z_{d\max} = 96(mm)$$

Trị số  $z_d$  tính được cần làm tròn đến giá trị gần nhất trong bảng 4.30(trang 70, Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí, tập một- Trịnh Chắt, Lê Văn Uyển).

**Bảng 2.7-** Chiều dài đai răng  $l_d$

Số răng đai $z_d$	Mô đun $m$ , mm					
	2	3	4	5	7	10
32	201	-	-	-	-	-
36	226,1	339,1	-	-	-	-
40	251,2	376,8	502,4	-	-	-
45	282,6	423,9	565,2	706,5	-	-
50	314	471	628	785	989,1	-
56	351,7	527,5	703,4	879,2	1099	1570
63	395,6	593,5	791,3	989,1	1230,9	1758,4
71	445,9	668,8	891,8	1114,7	1384,7	1978,2
80	502,4	753,6	1004,8	1256	1560,6	2229,4
90	565,4	847,8	1130,4	1413	1758,4	2512
100	628	942	1256	1570	1978,2	2826
112	703,4	1055	1406,7	1758,4	2198	3140
125	785	1177,5	1570	1962,5	2461,8	-
140	-	1318,8	1758,4	2198	2747,5	-
160	-	1507,2	2009,6	-	-	-

Chọn  $z_d = 63(mm)$ .

Chiều dài đai răng:

$$l_d = pz_d = 9,42.63 = 593,5(mm)$$

Xác định lại khoảng cách trục:

$$a = \frac{\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 8\Delta^2}}{4} \quad (2.101)$$

Trong đó:

$$\lambda = l_d - p \frac{z_1 + z_2}{2} = 593,5 - 9,42 \cdot \frac{36 + 18}{2} = 339,16$$

$$\Delta = m \frac{z_2 - z_1}{2} = 3 \cdot \frac{18 - 36}{2} = -27$$

$$\Rightarrow a = \frac{339,16 + \sqrt{339,16^2 - 8 \cdot (-27)^2}}{4} = 167,4 (mm)$$

Đường kính vòng chia của các bánh đai:

$$d_1 = mz_1 = 3 \cdot 36 = 108 (mm); d_2 = mz_2 = 3 \cdot 18 = 54 (mm)$$

Đường kính ngoài của bánh đai:

$$d_{a1} = mz_1 - 2\delta = 3 \cdot 36 - 2 \cdot 0,6 = 106,8 (mm)$$

$$d_{a2} = mz_2 - 2\delta = 3 \cdot 18 - 2 \cdot 0,6 = 52,8 (mm)$$

Với  $\delta = 0,6 (mm)$  là khoảng cách từ đáy răng đến đường trung bình lớp chịu tải.

Số răng đồng thời ăn khớp trên bánh chủ động:

$$z_0 = z_1 \alpha_1 / 360^\circ$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - \left[ m(z_2 - z_1) / a \right] \cdot 57,3^\circ = 180^\circ - \left[ 3 \cdot (18 - 36) / 167,4 \right] \cdot 57,3^\circ = 198,48^\circ$$

$$\Rightarrow z_0 = 36 \cdot 198,48^\circ / 360^\circ = 19,85$$

$z_0 \geq 6 \Rightarrow$  thỏa mãn điều kiện.

Tốc độ bánh chủ động:

$$v_1 = \frac{\pi d_1 n_1}{60} = \frac{\pi \cdot 108 \cdot 10^{-3} \cdot 3336}{60} = 18,86 (m/s)$$

Lực căng đai ban đầu:

$$F_0 = 1,3 \cdot F_v = 1,3 q_m b v^2 = 1,3 \cdot 4 \cdot 0,016 \cdot 18,86^2 = 29,6 (N)$$

Lực vòng:

$$F_t = 1000 P_1 / v_1$$

$$P_1 = 0,67 (kW)$$

$$\Rightarrow F_t = 1000 \cdot 0,67 / 18,86 = 35,52 (N)$$

Lực tác dụng lên trục:

$$F_r = 1,2 F_t = 1,2 \cdot 35,52 = 42,62 (N)$$

**Tính chọn ổ bi đỡ chặn khâu 3**

Do vít me được chọn là loại rotating nut như trên nên ổ bi đỡ chặn được lắp chặt với đai ốc của vítme như hình trên, tức là đường kính lỗ d của ổ lăn là  $d=D_1=40(\text{mm})$ .

Hệ số khả năng làm việc tính theo công thức:

$$C_d = Q \sqrt[m]{L} \quad (2.102)$$

Trong đó:

-  $Q = (XVF_v + YF_a) K_t K_d (\text{kN})$  là tải trọng động quy ước

Với  $F_a = 230\text{N} = 0,23(\text{kN})$ ;

Phản lực tại các ổ đỡ:  $F_r = 147,97 (\text{N}) = 0,148(\text{kN})$ ;

V - hệ số kể đến vòng quay, ở đây ta chọn vòng quay  $V = 1$ ;

$K_t$  - hệ số ảnh hưởng của nhiệt độ,  $K_t = 1$ ;

X, Y - hệ số tải trọng hướng tâm và hệ số tải trọng dọc trục. Với ổ bi đỡ chặn một dãy có góc tiếp xúc  $\alpha=12^\circ$  (đối với kiểu 36000) có  $X=0,45$ ;  $Y=1,81$ ;

$$\Rightarrow Q = (0,45 \cdot 1 \cdot 0,148 + 1,81 \cdot 0,23) \cdot 1 \cdot 1,5 = 0,724 (\text{kN})$$

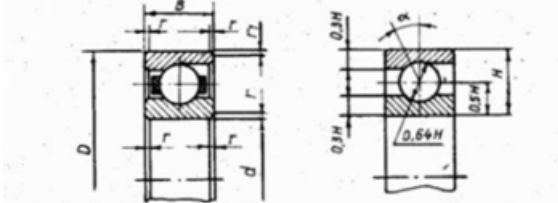
$L = 60nL_h / 10^6 = 60 \cdot 110 \cdot 10000 = 66 \cdot 10^6$  (vòng quay) là tuổi thọ của ổ tính bằng triệu vòng quay

$$\Rightarrow C_d = 0,724 \cdot \sqrt[3]{66 \cdot 10^6} = 2,92 (\text{kN})$$

Từ các thông số trên ta chọn vòng bi kí hiệu 36208 như hình dưới.

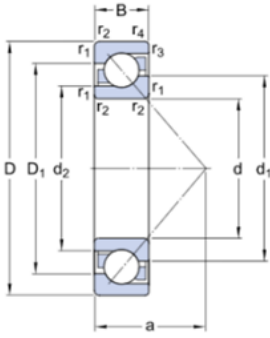
Theo” Bảng P2.12: Ổ BI ĐỖ - CHẶN (THEO GOST 831 – 75) “ ,Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí, tập một- Trịnh Chất, Lê Văn Uyển.

**Bảng 2.8-** Thông số ổ bi đỡ chặn

							
Kí hiệu ổ	d, mm	D, mm	b=T, mm	r, mm	r1, mm	C, kN	Co, kN
<b>Cỡ đặc biệt nhẹ</b>							
36103	17	35	10	0,5	0,3	5,71	3,58
36104	20	42	12	1,0	0,3	8,30	5,42
<b>Cỡ nhẹ hẹp</b>							
36203	17	40	11	1,0	0,5	9,43	6,24
36204	20	47	14	1,5	0,5	12,3	8,47
36205	25	52	15	1,5	0,5	13,1	9,24
36206	30	62	16	1,5	0,5	18,2	13,3
36207	35	72	17	2,0	1,0	24,0	18,1
36208	40	80	18	2,0	1,0	30,6	23,7
36209	45	85	19	2,0	1,0	32,3	25,0
36210	50	90	20	2,0	1,0	33,9	27,6
36211	55	100	21	2,5	1,2	39,4	34,9
36212	60	110	22	2,5	1,2	48,2	40,1
36214	70	125	24	2,5	1,2	63,0	55,9
36216	80	140	26	3,0	1,5	73,5	66,6
36217	85	150	28	3,0	1,5	79,0	72,2
36218	0	160	30	3,0	1,5	92,8	84,6
36220	100	180	34	3,5	2,0	124,0	118,0

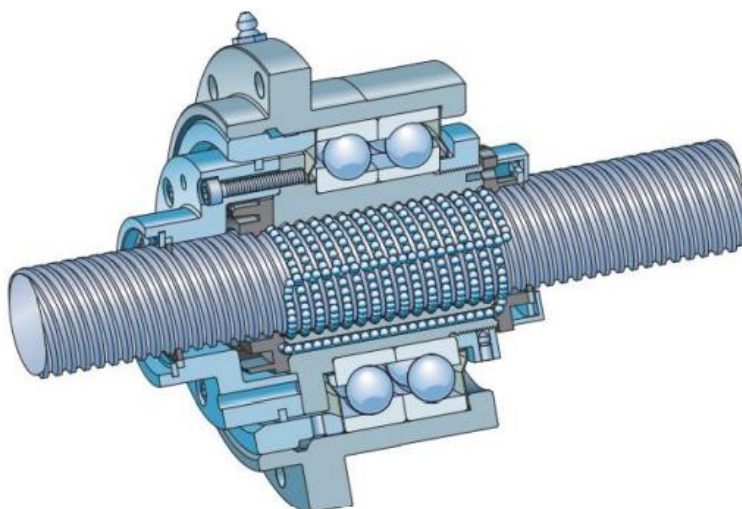
Chọn theo hãng SKF là vòng bi số hiệu 7208 BECBJ.

**Bảng 2.9-** Kích thước hình học ổ bi SKF- 7208 BECBJ

	d	40 mm
	D	80 mm
	B	18 mm
	d1	56,25 mm
	d2	48,08 mm
	D1	65,55 mm
	a	34 mm
	r12	min 1,1 mm
	r34	min 0,6 mm

Cụm kết cấu lắp ráp các chi tiết máy của bộ truyền vít me đai ốc bi:





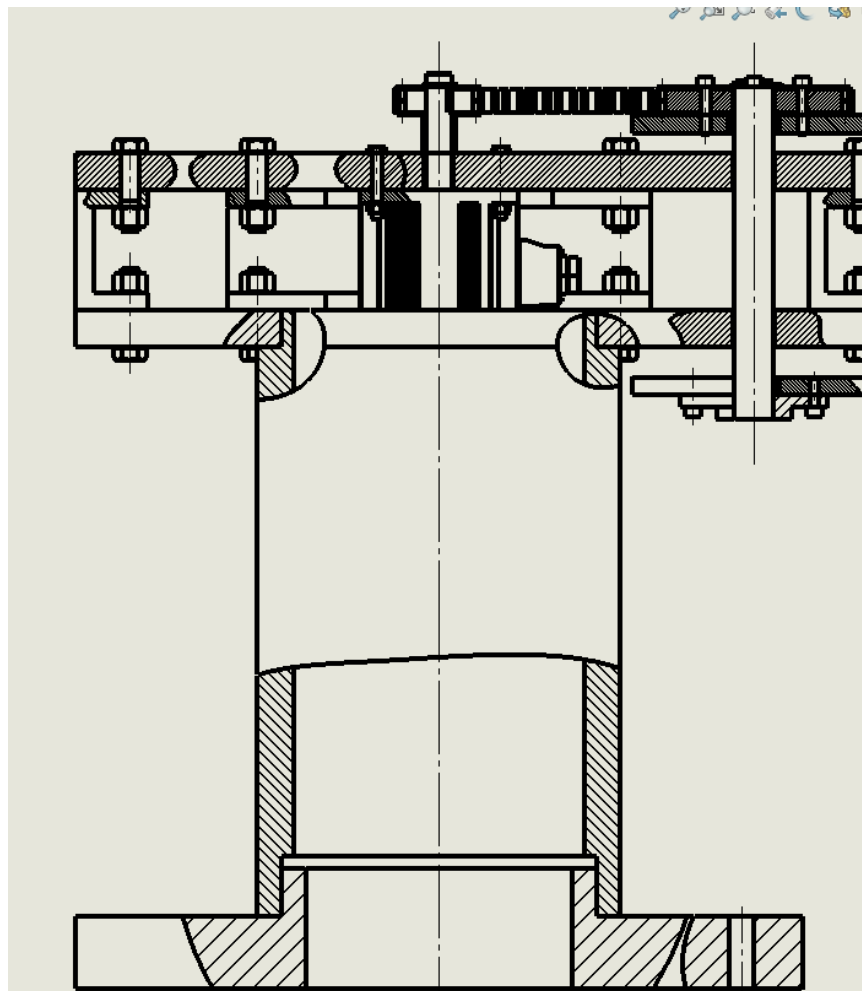
**Hình 2.14-** Kết cấu cụm vít me đai ốc bi

**CHƯƠNG 3- THIẾT KẾ KẾT CẤU TRUYỀN ĐỘNG ROBOT SCARA****3.1- Đặt vấn đề**

Căn cứ vào mô tả nguyên lý làm việc của Robot và theo trình tự xác định từ khâu cuối về gốc cố định, ta có thể xác định được các thành phần của hệ thống dẫn động.

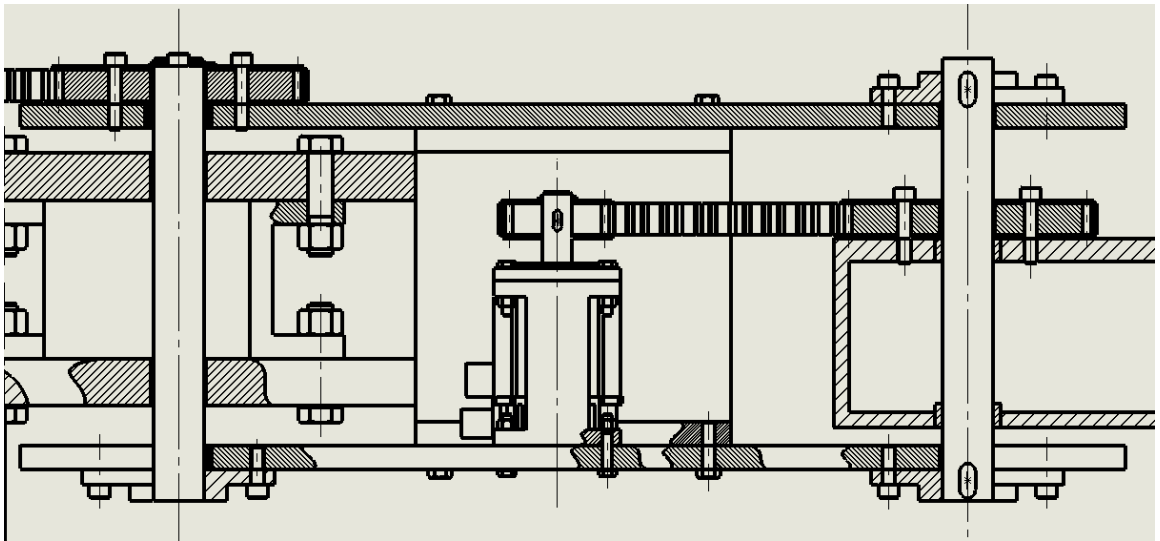
**3.2- Thiết kế kết cấu lắp ghép truyền dẫn robot Scara****3.2.1- Kết cấu lắp ghép khâu 0 (giá trụ cố định) với cụm khớp quay 1**

Khâu 0 là trục cố định và phải chịu tải trọng lớn nhất của cả 4 khâu còn lại vì vậy cần thiết kế có khối lượng và đường kính trục lớn nhất.



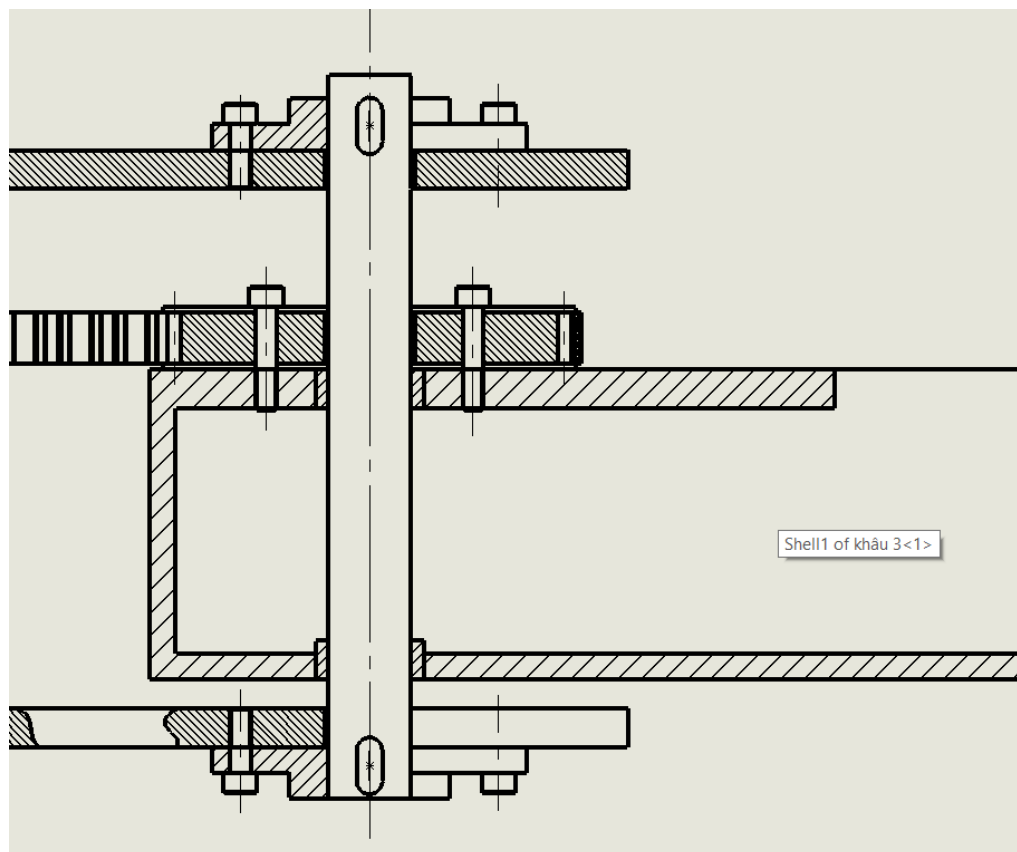
**Hình 3.1-** Cấu tạo khâu 0 gắn với khớp quay 1

### **3.2.2- Kết cấu lắp ghép khớp 1 với cụm khớp quay 2**



**Hình 3.2-** Cấu tạo lắp ghép khớp 1 với cụm khớp quay 2

### **3.2.3- Kết cấu lắp ghép khâu 2 với cụm khớp tịnh tiến 3**



**Hình 3.4-** Truyền động khâu 2 với cụm tịnh tiến 3



## CHƯƠNG 4- THIẾT KẾ MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG ROBOT SCARA

### 4.1- Mục đích, yêu cầu thiết kế; giới thiệu công cụ mô phỏng

#### 4.1.1- Mục đích, yêu cầu thiết kế mô phỏng

Mô hình hóa mô phỏng và phân tích của các hệ thống cơ khí khác nhau được thực hiện cho các mục đích:

- Đạt sự thấu hiểu hoạt động hệ thống;
- Phát triển các chính sách điều hành hoặc tài nguyên để cải thiện hiệu năng hệ thống.
- Thử nghiệm ý tưởng hoặc hệ thống mới được thực thi;
- Đạt được thông tin mà không làm nhiễu loạn hệ thống thực tế.

#### 4.1.2- Giới thiệu công cụ mô phỏng

Để thiết kế mô phỏng hoạt động robot Scara, em sử dụng phần mềm Solidworks.

Solidworks là một phần mềm thiết kế 3D mạnh mẽ và tích hợp nhiều công cụ hỗ trợ đa dạng nên rất được các kỹ sư tin nhiệm. Đồng thời, phần mềm được ứng dụng rộng rãi vào các lĩnh vực từ: xây dựng, đường ống, kiến trúc, nội thất, ...

Công cụ mô phỏng chuyển động Solidworkd Motion

Solidworkd Motion là một công cụ tạo mẫu ảo cung cấp khả năng mô phỏng chuyển động để đảm bảo chức năng thiết kế đúng cách. Từ mô phỏng chuyển động đơn giản đến phức tạp.

Với Solidworkd Motion bạn có thể sử dụng để phân tích các chuyển động từ các lực lượng trong mô hình bao gồm lò xo, bộ giảm chấn, động cơ, và ma sát.

Cụ thể hơn Solidworkd Motion cung cấp các khả năng:

- Kiểm soát vị trí của nhiều chi tiết khác nhau;
- Giúp tạo được nhiều các vị trí yêu cầu nhằm mô phỏng các cơ chế hoạt động thông qua motion;

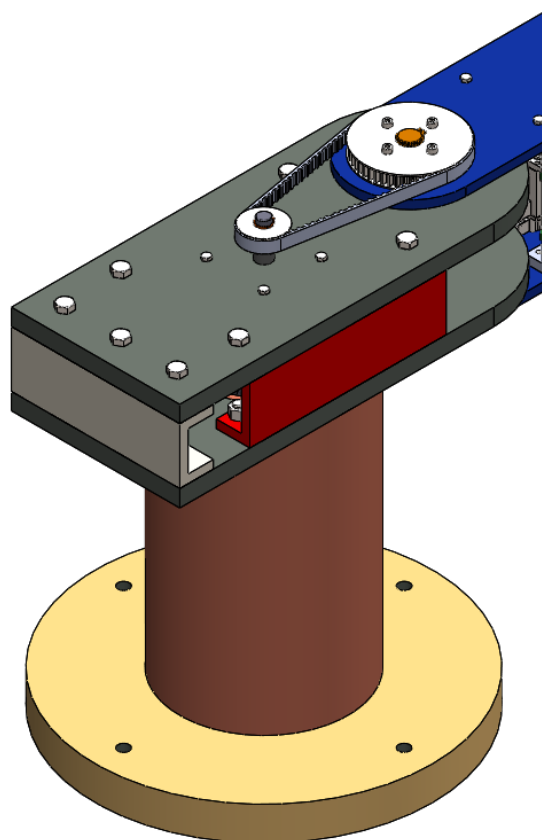
- Có thể tạm thời “unlocked” vì thế các chi tiết có thể được bố trí trực quan từ một khu vực đồ họa;
- Khả năng giao tiếp các chuyển động phức tạp bằng cách tính toán chuyển động trung gian giữa các vị trí.

## **4.2- Thiết kế mô phỏng robot Scara**

### **4.2.1- Thiết kế mô phỏng các phần tử robot Scara**

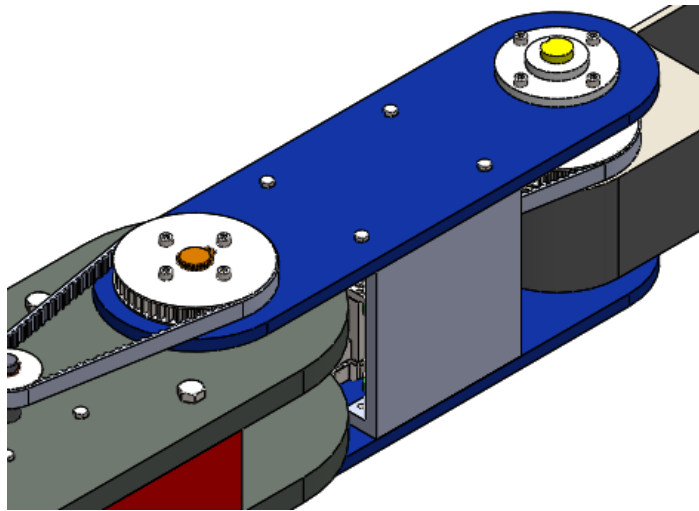
Sử dụng công cụ Solidworks, em mô phỏng các cụm chi tiết theo từng khâu dưới dạng 3D.

Cụm chi tiết khâu 0 cố định:



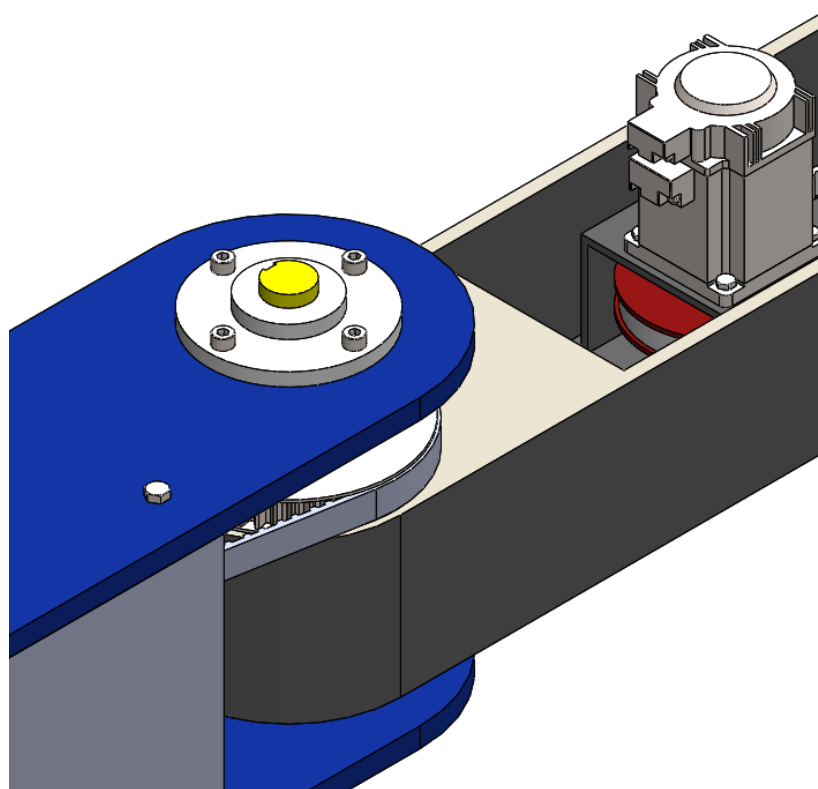
**Hình 4.1-** Mô hình 3D khâu 0 và động cơ truyền động khâu 1

Cụm chi tiết khâu 1:



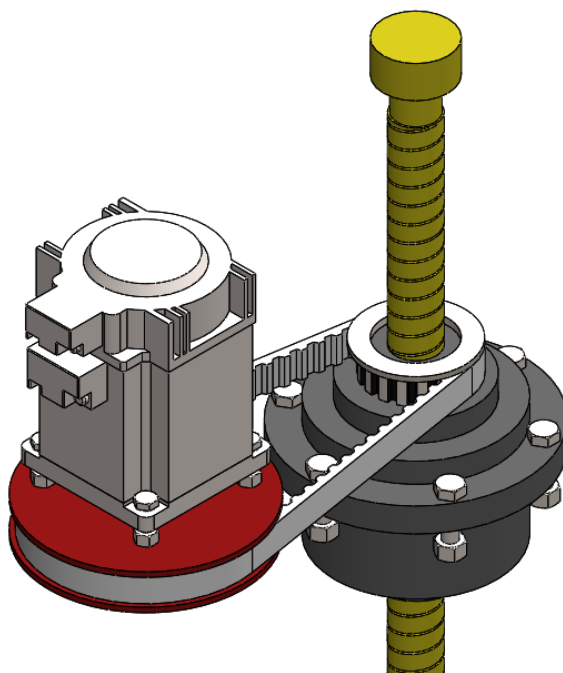
**Hình 4.2-** Mô hình 3D khâu 1

Cụm chi tiết khâu 2 và động cơ dẫn động khâu 2:



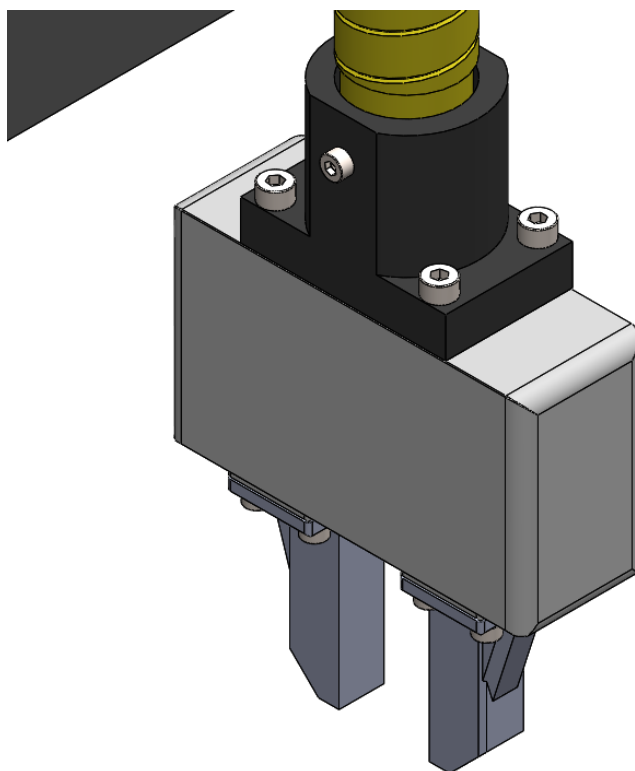
**Hình 4.3-** Mô hình 3D khâu 2 và động cơ dẫn động khâu 2

Cụm chi tiết dẫn động cho khâu 3 tịnh tiến:



**Hình 4.4-** Mô hình 3D cụm dẫn động khâu 3 tịnh tiến

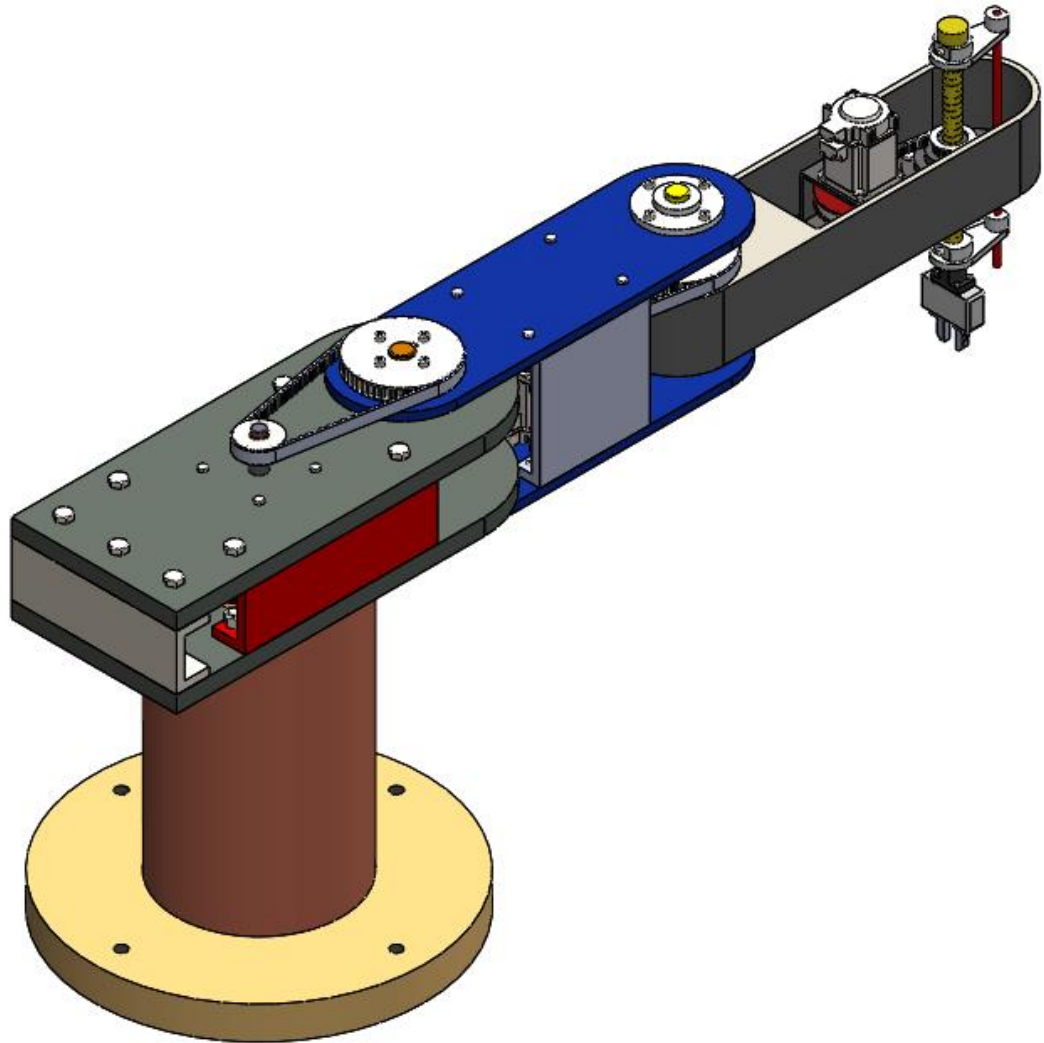
Cơ cấu bàn tay kẹp:



**Hình 4.5-** Mô hình 3D cơ cấu tay kẹp



#### **4.2.2- Thiết kế mô phỏng hoạt động robot Scara trong không gian hoạt động**



**Hình 4.6-** Mô hình robot Scara trên nền tảng Solidworks

## **KẾT LUẬN**

### **a- Những nội dung đã thực hiện và giải quyết trong đồ án**

“Thiết kế robot SCARA 3 bậc tự do” là một đề tài mang tính thực tế cao, khi mà công nghiệp ngày càng phát triển, sự cạnh tranh không ngừng đòi hỏi, năng suất và chất lượng phải được cải thiện nhờ dây chuyền máy móc hiện đại thay thế lao động chân tay của con người.

Như vậy trong học phần “Đồ án Thiết kế hệ thống cơ khí – Robot”, em đã được tìm hiểu được cách xây dựng một mô hình robot SCARA, đồng thời tính toán và thiết kế hệ thống cơ khí cho robot. Công việc cụ thể hoàn thành bao gồm như sau:

- Tổng quan về robot SCARA;
- Xây dựng kết cấu cho robot;
- Xây dựng bản vẽ lắp ráp, chi tiết cho robot;
- Tính toán kích thước, kiểm tra bền các khâu;
- Tính chọn bộ truyền vít me - đai ốc bi;
- Tính chọn hộp giảm tốc, động cơ truyền động, cơ cấu đai truyền động;
- Tính chọn ổ bi.

### **b- Ưu nhược điểm và phương hướng khắc phục, hoàn thiện**

Qua đề tài trên đây, em đã biết cách vận dụng những kiến thức chuyên môn được đào tạo ở Đại học Bách Khoa Hà Nội trong thời gian qua vào thực tế cuộc sống nhất là với công nghiệp. Em cũng học được rất nhiều như kỹ năng làm việc nhóm, giải quyết vấn đề, tìm tài liệu, viết báo cáo... rất có ích cho sau này.

Do giới hạn về thời gian cũng như kiến thức trong đồ án này, em mới chỉ giải quyết một số vấn đề cơ bản trong việc thiết kế một robot. Ngoài ra còn rất nhiều vấn đề cần phải giải quyết để có một sản phẩm robot hoàn thiện vì vậy chúng em rất mong quý thầy cô và các bạn đóng góp ý kiến để đề tài này hoàn thiện hơn nữa.

### **LỜI CẢM ƠN**

Được sự hướng dẫn và giúp đỡ nhiệt tình của TS. Nguyễn Ngọc Thành, em đã hoàn thành đề tài được giao “Thiết kế robot SCARA 3 bậc tự do”. Bởi thời gian và kiến thức có giới hạn, sẽ không tránh khỏi những sai sót ngoài ý muốn. Do vậy em rất mong được sự chỉ bảo và sự đóng góp ý kiến của thầy để đề tài được hoàn thiện hơn.

Em xin chân thành cảm ơn sự hướng dẫn của TS. Nguyễn Ngọc Thành đã giúp em hoàn thành đề tài này.

## PHỤ LỤC

### Không gian làm việc của robot:

```
1 - a1=350;
2 - a2=500;
3 - for i=0:50:400
4 -     for j=-165*pi/180:pi/20:165*pi/180
5 -         for k=-147*pi/180:pi/20:147*pi/180
6 -             xe=a2*cos(j+k)+a1*cos(j);
7 -             ye=a2*sin(j+k)+a1*sin(j);
8 -             ze=-i;
9 -             plot3(xe, ye, ze, '*');
10 -            hold on;
11 -            grid on;
12 -            axis square;
13 -        end
14 -    end
15 - end
16 - xlabel('X (mm)');
17 - ylabel('Y (mm)');
18 - zlabel('Z (mm)');
19 - title('Không gian hoạt động của Scara');
```

‘\*’: kí hiệu tham khảo trên internet.

## **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

Sách giáo trình, bài giảng:

- [1]. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển. Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí, tập một.  
Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam.
- [2]. Nguyễn Trọng Hiệp. Chi tiết máy. Nhà xuất bản giáo dục, 2006. 3. PGS.  
TS. Nguyễn Quang Hoàng. Bài giảng Robotics.

Tài liệu khác:

- [1]. Lựa chọn trục vít me - đai ốc bi, vòng bi hãng SKF, nguồn Internet:  
[www.bscindia.com/catalogue/skfballscrew.pdf](http://www.bscindia.com/catalogue/skfballscrew.pdf)
- [2]. Lựa chọn hộp giảm tốc hãng RV, nguồn Internet:  
[www.motionusa.com.s3-website-us-east-1.amazonaws.com/nabtesco/RV\\_Series\\_Full\\_Catalog.pdf](http://www.motionusa.com.s3-website-us-east-1.amazonaws.com/nabtesco/RV_Series_Full_Catalog.pdf)
- [3]. Lựa chọn động cơ servo hãng Panasonic, nguồn Internet:  
[https://industrial.panasonic.com/content/data/MT/PDF/minas-a52\\_ctlg\\_e.pdf](https://industrial.panasonic.com/content/data/MT/PDF/minas-a52_ctlg_e.pdf)