

**ĐỒ ÁN MÔN HỌC: THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ KHÍ****Mã HP: ME4505**

Thời gian thực hiện: 15 tuần;

Mã đề: VCK03-...

Ngày .../.../20...

Ngày .../.../20...

Ngày .../.../20...

**ĐƠN VỊ CHUYÊN MÔN****NGƯỜI RA ĐỀ****CB Hướng dẫn***(ký, ghi rõ họ tên)**(ký, ghi rõ họ tên)**(ký, ghi rõ họ tên)*

Ngày giao nhiệm vụ: .../.../20...; Ngày hoàn thành: .../.../20...

Họ và tên sv: ..... MSSV: ..... Mã lớp: ..... Chữ ký sv: .....

**I. Nhiệm vụ thiết kế: Thiết kế robot SCARA 3 bậc tự do****II. Số liệu cho trước:**

1. Tải trọng ... kg.
2. Tầm với ... m.
3. Độ chính xác lặp:  $(x, y) = \dots \text{ mm}$ ,  $(z) = \dots \text{ mm}$ .
4. Vận tốc cực đại khâu tác động cuối ....
5. Gia tốc cực đại khâu tác động cuối .....

**III. Nội dung thực hiện:****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

**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. 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

### **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
7	10	1000	200, 300, 400	±0,02	±0,01	450	667	2780	11390	0,31 (với tải 2-kg)	DENSO_HM-G_Series
8	20	1000	200, 300, 400	±0,02	±0,01	450	667	2780	11390	0,31 (với tải 2-kg)	DENSO_HM-G_Series
9	5	350	200, 320	±0,015	±0,01	720	720	2000	7200	0,35 (với tải 2-kg)	DENSO_HS-G_Series
10	5	450	200, 320	±0,02	±0,01	450	720	2000	7200	0,35 (với tải 2-kg)	DENSO_HS-G_Series
11	5	550	200, 320	±0,02	±0,01	450	720	2000	7200	0,35 (với tải 2-kg)	DENSO_HS-G_Series
12	5	400	160	±0,01	±0,01	672	780	1120	7000	0,39 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_TH_Series
13	2	180	120	±0,01	±0,01	533	480	1013	2600	0,35 (với tải 1-kg)	TOSHIBA_TH_Series
14	3	250	120	±0,01	±0,01	540	540	1120	3530	0,41 (với tải 1-kg)	TOSHIBA_TH_Series
15	3	350	120	±0,01	±0,01	337,5	540	1120	3240	0,41 (với tải 1-kg)	TOSHIBA_TH_Series
16	5	450	150	±0,01	±0,01	600	600	2000	7300	0,30 (với tải 1-kg)	TOSHIBA_TH_Series
17	5	550	150	±0,01	±0,01	375	600	2000	6200	0,30 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_TH_Series
18	10	650	200	±0,01	±0,01	340	600	2050	7520	0,31 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_TH_Series
19	20	850	200	±0,01	±0,01	300	420	2050	8130	0,39 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_TH_Series
20	20	1050	200	±0,01	±0,01	300	420	2050	9150	0,39 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_TH_Series
21	20	1200	200	±0,03	±0,02	240	330	1800	7900	0,57 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_TH_Series
22	2	550	150	±0,015	±0,01	375	600	2000	6210	0,29 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_THP_Series
23	10	700	150	±0,03	±0,02	340	600	2050	7800	0,35 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_THP_Series
24	10	500	150	±0,01	±0,015	450	450	2000	6300	0,45 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_THL_Series
25	10	600	150	±0,01	±0,015	450	450	2000	7100	0,45 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_THL_Series
26	10	700	150	±0,01	±0,015	450	450	2000	7900	0,50 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_THL_Series
27	10	800	300	±0,02	±0,015	187,5	217,5	2000	4300	0,47 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_THL_Series
28	10	900	300	±0,02	±0,015	187,5	217,5	2000	4600	0,48 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_THL_Series
29	10	1000	300	±0,02	±0,015	187,5	217,5	2000	5000	0,48 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_THL_Series
30	10	1200	300	±0,05	±0,03	187,5	217,5	2000	5700	0,58 (với tải 2-kg)	TOSHIBA_THL_Series

# Chương 1. Phân tích nguyên lý và thông số kỹ thuật

Sinh viên cần tìm hiểu và trình bày các nội dung như sau:

## 1.1. Nguyên lý hoạt động

- Phân tích nguyên lý hoạt động và các thông số kỹ thuật quan trọng của robot  
- SCARA là một cấu hình tiêu chuẩn giữa các robot. Ở giai đoạn thiết kế sơ bộ, chúng ta có những điểm sau đây:

- Robot SCARA 3 bậc tự do.
- Tải trọng ... kg.
- Tầm với ... m.
- Độ chính xác lặp:  $(x, y) = \dots \text{ mm}$ ,  $(z) = \dots \text{ mm}$ .
- Vận tốc cực đại khâu tác động cuối ....
- Gia tốc cực đại khâu tác động cuối .....
- Sử dụng bộ truyền vít me – đai ốc cho khâu tịnh tiến.

## 1.2. Xác định các thành phần của hệ thống dẫn động

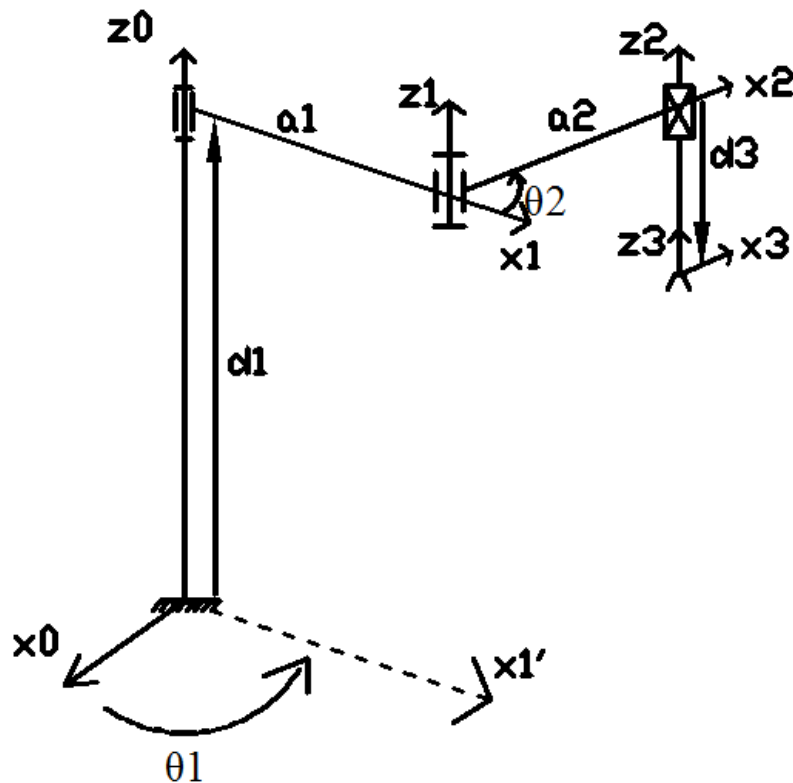
- Lập sơ đồ động học robot scara
- Trình bày về các khâu 1, 2, 3 và khâu cố định
- Các bộ truyền được sử dụng
- Động cơ
- Cảm biến
- Trục
- Khớp nối
- Ổ lăn

## Chương 2. Thiết kế hệ thống cơ khí

### 2.1. Động học robot SCARA

#### 2.1.1. Động học thuận

Sử dụng bảng thông số D-H để giải bài toán động học thuận robot



Hình 2.1 Sơ đồ động học robot SCARA 3 bậc tự do.

Bảng D-H

Khâu	$\theta$	$d$	$\alpha$	$a$
1	$\theta_1$	$d_1$	0	$a_1$
2	$\theta_2$	0	0	$a_2$
3	0	$d_3$	0	0

Tìm vị trí và hướng điểm thao tác

- Vị trí điểm thao tác  $\begin{cases} x = \\ y = \\ z = \end{cases}$

- Ma trận biểu diễn hướng của điểm thao tác  ${}^0R_3$
- Vận tốc của điểm thao tác cuối  ${}^0v_3$
- Gia tốc điểm thao tác cuối  ${}^0a_3$

### 2.1.2. Động học ngược robot

Với vị trí, vận tốc và gia tốc cho trước, giải bài toán động học ngược robot để tìm ra các tọa độ, vận tốc, và gia tốc suy rộng.

## 2.2. Động lực học robot SCARA

### 2.2.1. Động lực học thuận

Để tính toán động lực học Robot, ta sẽ đi 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:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right)^T - \left( \frac{\partial T}{\partial q_i} \right)^T = - \left( \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} \right)^T + Q_i^* \quad (2.1)$$

Với:  $T$  - động năng của Robot,

$\Pi$  - thế năng của Robot,

$Q^*$  - véc tơ lực suy rộng không thế,

$n$  - số bậc tự do.

Phương trình vi phân chuyển động của robot có dạng:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = \tau \quad (2.2)$$

Với  $M$  là ma trận khối lượng,  $C$  là ma trận Coriolis,  $G$  là trọng lực, và  $\tau = [\tau_1 \quad \tau_2 \quad \tau_3]^t$  là lực điều khiển tại các khớp.

### 2.2.2. Động lực học ngược

Thế các biểu thức  $q(t)$ ,  $\dot{q}(t)$ ,  $\ddot{q}(t)$  vào phương trình (2.2) để tìm các lực và ngẫu lực dẫn động tại các khâu 1, 2 và 3 của robot.

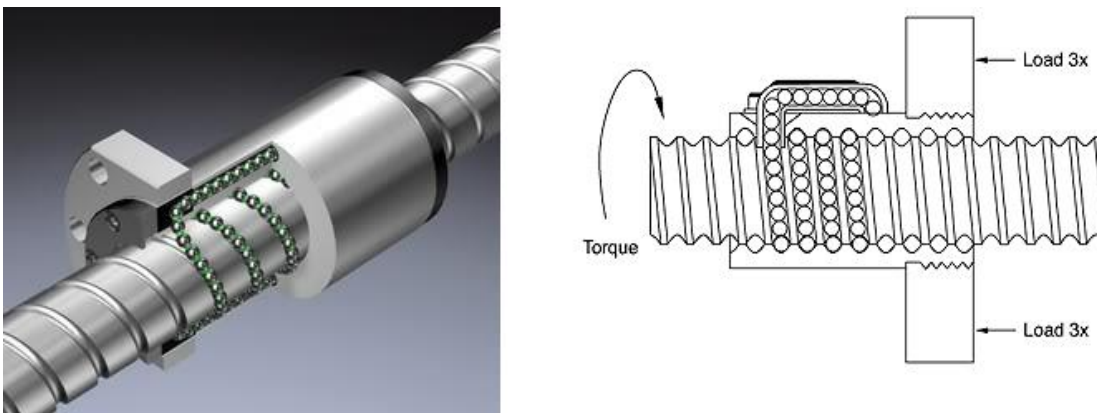
*Chú ý: ngoài việc sử dụng phương trình Lagrange loại II, sinh viên có thể sử dụng phương pháp lập Newton – Euler để giải bài toán động lực học thuận và động lực học ngược.*

## 2.3. Tính toán, thiết kế khâu 3

- Sử dụng bộ truyền vít me - đai ốc bi

Yêu cầu bài toán:

- Tải trọng dọc trục:  $F_a = \dots$  N (tải trọng yêu cầu).
- Quãng đường dịch chuyển:  $l_0 = \dots$  mm



Hình 2.2: Mô hình trục vít me - đai ốc bi.

### 2.3.1. Chọn vật liệu vít và đai ốc

- Vít:
- Đai ốc:

### 2.3.2. Xác định đường kính chân của ren

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{4.1,3.F_a}{\pi.[\sigma_K]}} \quad (2.3)$$

Trong đó  $[\sigma_K] = [\sigma_{ch}]/3$  ( $[\sigma_{ch}]$  - ứng suất chảy cho phép của vít me).

Chọn bộ truyền trục vít me – đai ốc bi với thông số tính ở trên và phải đảm bảo được độ chính xác điều khiển yêu cầu (độ chính xác lắp cho trục z).

### 2.3.3. Kiểm tra bền

- Tải trọng riêng dọc trục:

$$q_a = \frac{F_a}{Z_b d_b^2 \lambda} \quad (2.4)$$

Trong đó

- $Z_b = \pi D_{tb} K / d_b - 1$  là số bi trên các vòng ren làm việc  
 $D_{tb} = \dots$  mm, là đường kính vòng tròn quỹ đạo đi qua tâm bi  
 $K = \dots$  là số vòng ren làm việc theo chiều cao đai ốc
- $\lambda = \dots$  là hệ số phân bố không đều tải trọng của các viên bi

- Khe hở tương đối  $\chi = \Delta / d_2$

Trong đó:

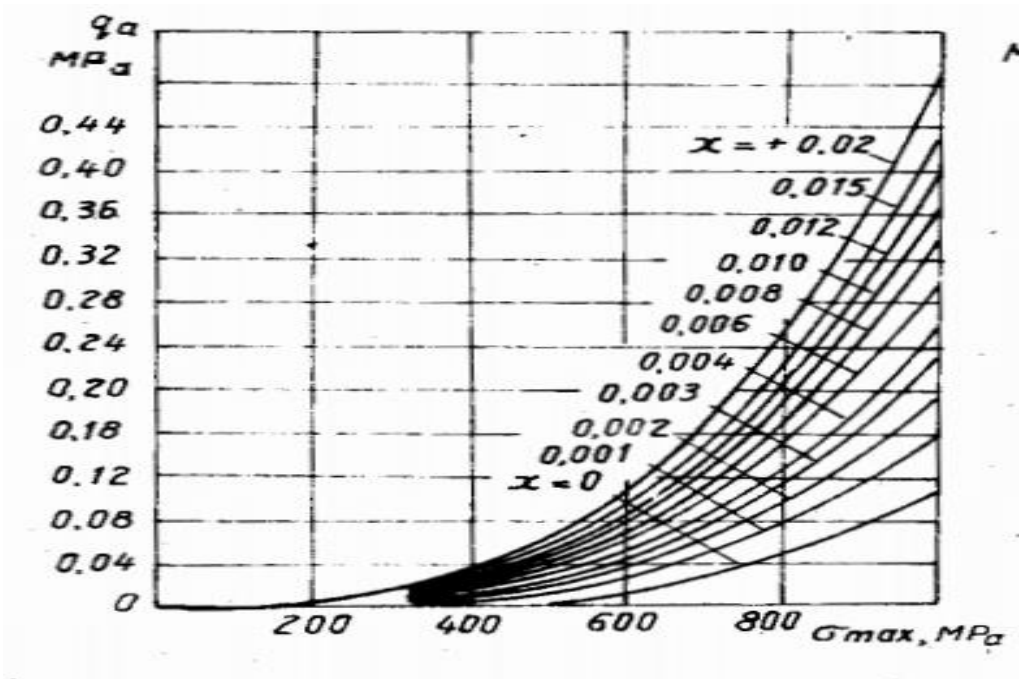
$\Delta = D_1 - (2d_b + d_2) = D_{tb} + 2(r_1 - c) - (2d_b + d_2)$ , là khe hở hướng tâm

$r_1 = \dots$  mm, là bán kính rãnh răng

$c = (r_1 - d_b/2) \cos \beta$  mm, là khoảng cách từ tâm rãnh lăn đến tâm bi. Trong đó  $\beta$  là góc tiếp xúc, chọn bằng  $45^\circ$

- Từ đồ thị dưới đây ta tra được  $\sigma_{max} = \dots$  MPa  $< [\sigma_{max}]$  (= MPa)





Hình 2.3: Đồ thị xác định ứng suất lớn nhất.

#### 2.4. Tính toán, thiết kế khâu 2

- Chiều dài khâu 2:  $L_2 = \dots$  mm
- Chọn dạng tiết diện khâu 2 (mặt cắt ngang hình chữ nhật, hình hộp, vòng xoắn, ...)
- Chọn vật liệu làm khâu 2
- Mô hình tải trọng và lực phân bố trên khâu 2:  
Sơ đồ lực tác dụng lên khâu 2  
Độ võng lớn nhất trên khâu 2
- Điều kiện bền và điều kiện cứng: do robot chỉ cần làm việc với tải trọng tối đa là  $P = \dots$  (N) nên kết cấu của robot luôn thừa bền, để đảm bảo tính chính xác trong quá trình điều khiển robot di chuyển đúng đến vị trí thao tác ta chỉ cần kiểm tra điều kiện cứng, tức là độ võng phải nhỏ hơn độ võng cho phép của khâu 2 (  $[f_2]$  mm có thể chọn dựa trên độ chính xác lắp theo trục z).

Độ võng lớn nhất trên khâu 2 là:

$$y_2 = \dots \leq [f_2] \quad (2.5)$$

Từ công thức trên, lựa chọn kích thước mặt cắt ngang của khâu 2 thỏa mãn độ võng cho phép.

## 2.5. Tính toán, thiết kế khâu 1

- Chiều dài khâu 1:  $L_1 = \dots$  mm
- Chọn dạng tiết diện khâu 1 (mặt cắt ngang hình chữ nhật, hình hộp, vòng xuyên, ...)
- Chọn vật liệu làm khâu 1
- Mô hình tải trọng và lực phân bố trên khâu 1:

Sơ đồ lực tác dụng lên khâu 1

Độ võng lớn nhất trên khâu 1

- Điều kiện bền và điều kiện cứng: do robot chỉ cần làm việc với tải trọng tối đa là  $P = \dots$  (N) nên kết cấu của robot luôn thừa bền, để đảm bảo tính chính xác trong quá trình điều khiển robot di chuyển đúng đến vị trí thao tác ta chỉ cần kiểm tra điều kiện cứng, tức là độ võng phải nhỏ hơn độ võng cho phép của khâu 1 ( $[f_1]$  mm có thể chọn dựa trên độ chính xác lặp theo trục z). Độ võng lớn nhất trên khâu 1 là:

$$y_1 = \dots \leq [f_1] \quad (2.6)$$

Từ công thức trên, lựa chọn kích thước mặt cắt ngang của khâu 1 thỏa mãn độ võng cho phép.

## 2.6. Tính toán, thiết kế khâu 0 – khâu cố định

- Chiều dài khâu:  $\dots$  mm
- Chọn tiết diện khâu 0: (Dạng hình tròn, đường kính  $D$ )
- Mô hình tải trọng và lực phân bố:

Vẽ sơ đồ lực tác dụng lên khâu cố định

Vẽ biểu đồ lực và mô men

- Tính ứng suất  $\sigma \leq [\sigma_{ch}]$
- Xác định kích thước mặt cắt ngang khâu cố định

## 2.7. Tính toán, thiết kế trục nối các khâu

- Tính đường kính trục nối khâu cố định với khâu 1: dựa vào tải trọng tác dụng lên khâu cố định

- Tính đường kính trục nối khâu 1 với khâu 2: dựa vào tải trọng tác dụng lên khâu 1

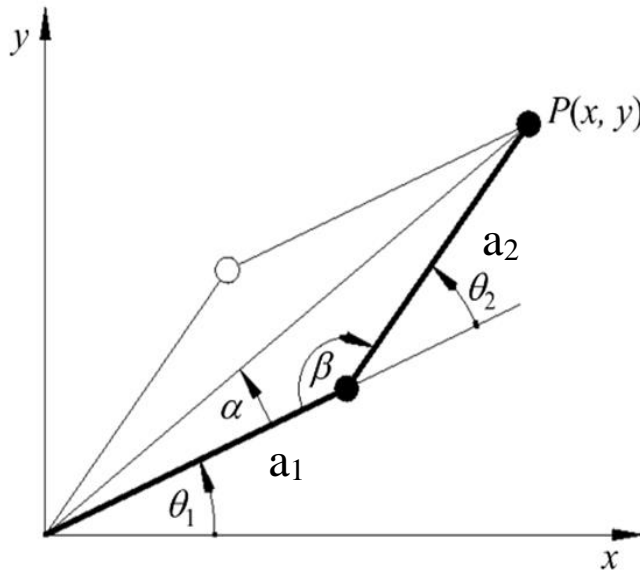
## 2.8. Tính chọn động cơ các khâu

### 2.8.1. Độ phân giải điều khiển

Giả sử tính toán thiết kế cho robot SCARA với các thông số cho trước như sau:

- Tầm với 0,5 m.
- Độ phân giải điều khiển 0,5 mm.

Đối với robot SCARA, trường hợp xấu nhất của độ phân giải điều khiển nằm ở ngoại vi của không gian làm việc. Điều này xảy ra khi cả khuỷu tay và cẳng tay của robot thẳng hàng với nhau. Độ phân giải có thể được tìm như sau.



Hình 2.4 Mô hình khâu 1 và khâu 2 của robot SCARA.

Từ bài toán động học thuận ta có:

$$\begin{cases} x = a_1 \cos \theta_1 + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y = a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (2.7)$$

Lấy đạo hàm vi phân theo thời gian  $t$  ta được:

$$\begin{cases} dx = -a_1 \sin \theta_1 d\theta_1 - a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) (d\theta_1 + d\theta_2) \\ dy = a_1 \cos \theta_1 d\theta_1 + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) (d\theta_1 + d\theta_2) \end{cases} \quad (2.8)$$

Bình phương 2 vế của hệ phương trình (2.8) rồi cộng từng vế ta thu được:

$$(dx)^2 + (dy)^2 = (a_1 d\theta_1)^2 + (a_2(d\theta_1 + d\theta_2))^2 + 2a_1 a_2 d\theta_1 (d\theta_1 + d\theta_2) \cos \theta_2 \quad (2.9)$$

Giả sử sai số điều khiển là:

$$d\theta_1 = d\theta_2 = d\theta \quad (2.10)$$

Giá trị lớn nhất của bình phương sai số:

$$\begin{aligned} \max [(dx)^2 + (dy)^2] &= (a_1 d\theta_1)^2 + (a_2(d\theta_1 + d\theta_2))^2 + 2a_1 a_2 d\theta_1 (d\theta_1 + d\theta_2) \\ &= (d\theta)^2 (a_1 + 2a_2)^2 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Độ phân giải điều khiển là:

$$CR = \sqrt{\max [(dx)^2 + (dy)^2]} = d\theta (a_1 + 2a_2) \quad (2.12)$$

Với  $a_1 + a_2 = 500$  mm, chọn  $a_1 = 300$  mm,  $a_2 = 200$  mm, khi đó độ phân giải điều khiển sẽ là:

$$CR = d\theta (a_1 + 2a_2) = d\theta (300 + 2 * 200) = 700 d\theta \text{ mm}$$

Để đạt độ phân giải là 0,5 mm, độ phân giải điều khiển động cơ khâu 1 và khâu 2 cần thỏa mãn điều kiện:

$$CR \leq 0,5 \text{ mm}$$

$$700 d\theta \leq 0,5$$

$$d\theta \leq 0,000714 \text{ rad} = 0,041 \text{ độ}$$

Như vậy độ phân giải điều khiển của động cơ (hoặc động cơ kết hợp bộ truyền động đai, bánh răng, ...) trong ví dụ này phải nhỏ hơn 0,041 độ.

### 2.8.2. Chọn động cơ khâu 3

- Momen quay đai ốc

$$T_3 = F_a \cdot D_{tb} \cdot \tan(\gamma + \varphi_t) / 2 \quad (2.13)$$

- Góc vít  $\gamma = \arctan \frac{p}{\pi D_{tb}}$

- Góc ma sát lăn thay thế:  $\varphi_t = \arctan \frac{2f_t}{d_2 \cdot \sin \beta}$

Trong đó  $f_t = 0,004$  là hệ số ma sát lăn thay thế.

- Hiệu suất biến đổi chuyển động quay thành chuyển động tịnh tiến

$$\eta = \frac{\tan \gamma}{\tan(\gamma + \varphi_t)} \quad (2.14)$$

- Tính số vòng quay khâu 3:

Từ công thức

$$n_3 = \frac{60 \cdot v}{Z \cdot p} \quad (2.15)$$

- $Z$  chọn = ...
- $p$  = ... mm
- $v$  = ... mm/s

Suy ra  $n_3$  = ... v/ph

- Công suất

$$P_3 = \frac{\tau_3 \cdot \omega_3}{\eta} \quad (2.16)$$

- Chọn loại động cơ: chú ý chọn động cơ phải thỏa mãn **độ phân giải điều khiển** của động cơ kết hợp với bộ truyền trục vít me – đai ốc bi phải nhỏ hơn độ phân giải cho phép (độ chính xác lắp theo phương z).

### 2.8.3. Chọn động cơ khâu 2

- Từ bài toán động lực học ngược ta xác định được mômen xoắn của khâu 2 là  $\tau_2$
- Từ bài toán động học ngược ta xác định được vận tốc góc khâu 2 là  $\omega_2$
- Từ đó suy ra công suất  $P_2 = \tau_2 \cdot \omega_2 = \dots$  W
- Chọn loại động cơ: chú ý chọn động cơ phải thỏa mãn **độ phân giải điều khiển** của động cơ kết hợp với bộ truyền phải nhỏ hơn độ phân giải cho phép được tính từ mục 2.8.1.

### 2.8.4. Chọn động cơ khâu 1

- Từ bài toán động lực học ngược ta xác định được mômen xoắn của khâu 1 là  $\tau_1$
- Từ bài toán động học ngược ta xác định được vận tốc góc khâu 1 là  $\omega_1$
- Từ đó suy ra công suất  $P_1 = \tau_1 \cdot \omega_1 = \dots$  W

- Chọn loại động cơ: chú ý chọn động cơ phải thỏa mãn **độ phân giải điều khiển** của động cơ kết hợp với bộ truyền phải nhỏ hơn độ phân giải cho phép được tính từ mục 2.8.1.

## 2.9. Tính toán bộ truyền động khâu 1, 2 và 3

Bộ truyền động hay được sử dụng trong robot là bộ truyền đai răng.

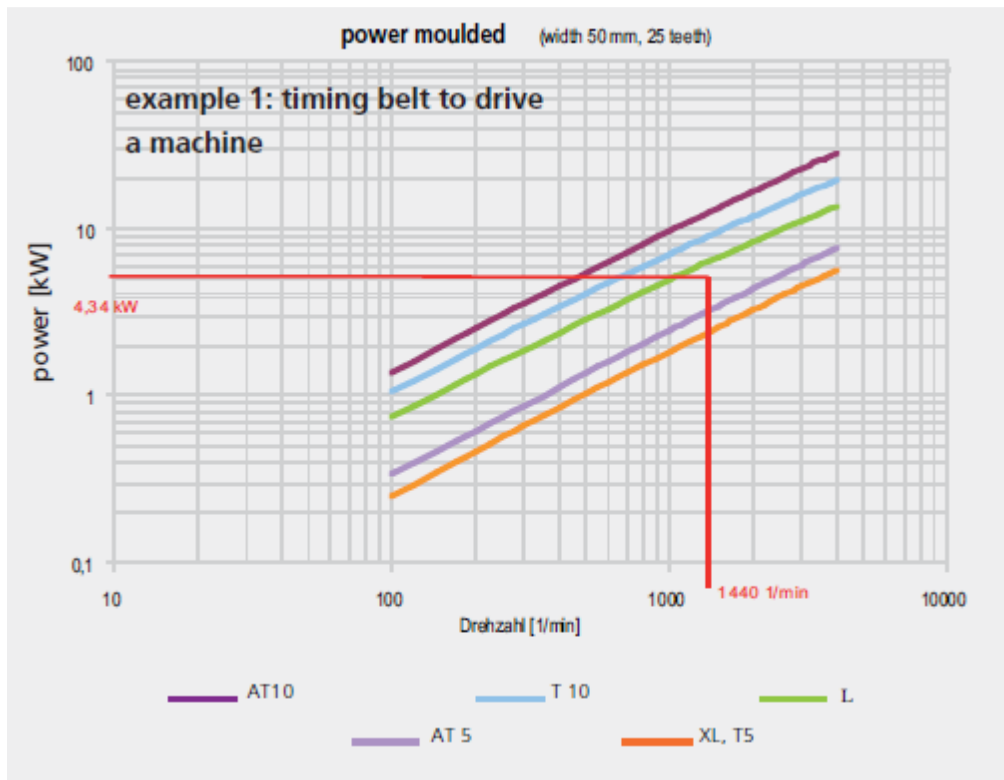
- Bước 1: Tính toán công suất
  - Hệ số công việc  $C_h = 1,2$  với tải trung bình và môi trường làm việc sạch
  - Hệ số phục vụ  $C_s = 0$  với thời gian làm việc 3-8h/ngày
  - Hệ số tải  $C_l = 0,1$  với mô men mở máy trung bình
  - Chiều rộng đai lớn nhất ... mm
  - Khoảng cách trục ... mm
  - Công suất

$$P_{máy} = P_{đc}(1,2 + 0 + 0,1) \quad (2.17)$$

- Bước 2: Chọn loại đai
- Bước 3: Chọn bước đai

*Bảng 2.1: Chiều rộng đai và hệ số chiều rộng tương ứng*

Belt width	Width factor
5 mm	16,60
10 mm	6,89
15 mm	4,54
20 mm	3,03
25 mm	2,27
30 mm	1,81
35 mm	1,51
40 mm	1,29
45 mm	1,13
<b>50 mm</b>	<b>1,00</b>
55 mm	0,81
60 mm	0,68
70 mm	0,61
80 mm	0,57
95 mm	0,53
100 mm	0,48
110 mm	0,44
120 mm	0,39
130 mm	0,36
140 mm	0,32
150 mm	0,30



Hình 2.5: Đồ thị xác định bước đai từ công suất và tốc độ quay.

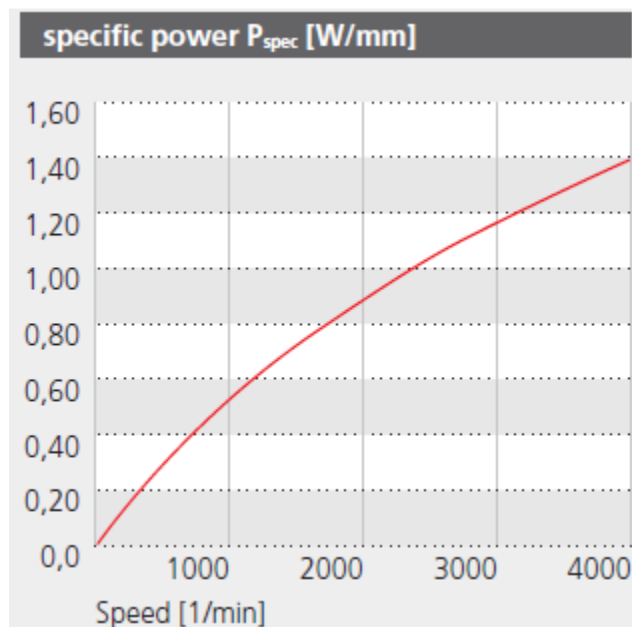
- Nên chọn những đường nằm phía trên điểm mà ta xác định được
- Bước 4: Tính tỉ số truyền: dựa vào độ phân giải điều khiển của động cơ và độ phân giải điều khiển cho phép để xác định tỉ số truyền phù hợp.
- Chọn số răng bánh  $z_1$  và  $z_2$
- Bước 5: Tính chiều rộng bánh răng

$$W_{tb} = \frac{P_{máy}}{t_e * P_{spec}} \quad (2.18)$$

- Trong đó  $t_e$  là số răng ăn khớp tối đa ( $6 \leq t_e \leq 12$ )
- $P_{spec}$  tra theo bảng hoặc đồ thị bên dưới

Bảng 2.2:  $P_{spec}$  tra theo tốc độ

Specific tooth force/power/torque*																			
Speed [1/min]		0	25	50	75	100	150	200	300	400	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	3000	4000
Specific tooth force $F_{spec}$ [N/mm]	■	5,180	5,000	4,855	4,700	4,611	4,443	4,275	4,028	3,836	3,68	3,430	3,163	2,992	2,844	2,724	2,612	2,278	2,039
Specific power $P_{spec}$ [W/mm]	■	0,000	0,021	0,040	0,059	0,077	0,111	0,143	0,201	0,256	0,307	0,429	0,527	0,623	0,711	0,795	0,871	1,139	1,359
Specific torque $T_{spec}$ [Ncm/mm]	■	0,824	0,796	0,773	0,748	0,734	0,707	0,680	0,641	0,611	0,586	0,546	0,503	0,476	0,453	0,434	0,416	0,363	0,325
* max. force/power/torque per tooth in mesh and per mm belt width																			



Hình 2.6: Đồ thị  $P_{spec}$  theo tốc độ.

- Chọn  $W_{tb} = \dots$  mm
- Chọn khoảng cách trục:  $a = \dots$  mm
- Tính chiều dài đai

$$l = 2 * a + \frac{p}{2} (z_1 + z_2) + \frac{p^2}{a} \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right) \quad (2.19)$$

- Theo tiêu chuẩn chọn  $l = \dots$  mm

Bảng 2.3: Thông số chiều dài và số răng tiêu chuẩn



Available dimensions		
length [mm]	number of teeth	max. width [mm]
260	26	300
340	34	300
370	37	300
390	39	300
400	40	300
410	41	300
440	44	300

## 2.10. Tính chọn ổ lăn

- Chọn loại ổ
- Kí hiệu ổ
- Chọn cấp chính xác của ổ: cấp 0
- Chọn kích thước ổ lăn

## **Chương 3. Xây dựng bản vẽ lắp và mô phỏng**

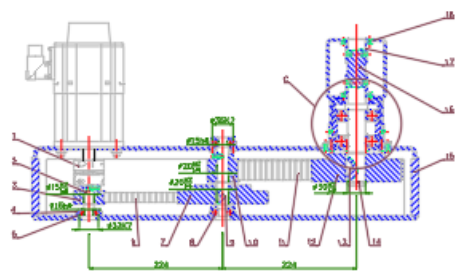
### **3.1. Thiết kế chi tiết và xây dựng bản vẽ lắp**

- Xây dựng bản vẽ lắp 2D/3D
- Lựa chọn dung sai cho mỗi ghép
  - Vòng trong ổ lăn – trục
  - Vòng ngoài ổ lăn – khâu
  - Nắp ổ – khâu
  - Đai ốc bi – bánh đai răng
  - Đai ốc bi – bạc
  - Trục động cơ – bánh đai răng
  - Trục – bánh đai răng
  - Trục – bạc
- Xây dựng các bản vẽ chế tạo các chi tiết chính

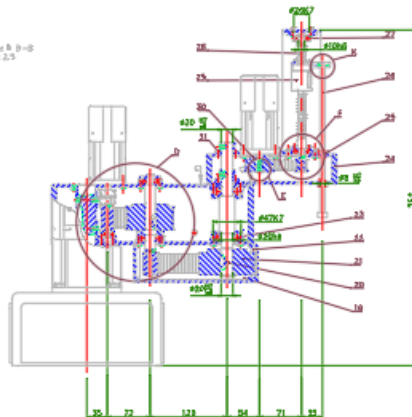
### **3.2. Mô phỏng nguyên lý hoạt động (động học)**

- Mô phỏng chuyển động của hệ thống

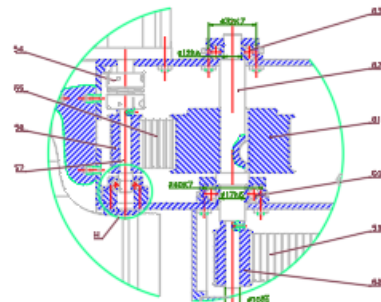
Hình ảnh A-B  
Tỷ lệ 1:1



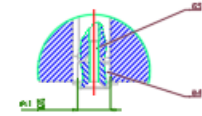
Hình ảnh B-C  
Tỷ lệ 1:1



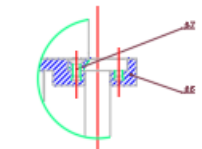
Hình ảnh D  
Tỷ lệ 1:1



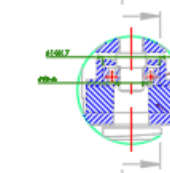
Hình ảnh E  
Tỷ lệ 1:1



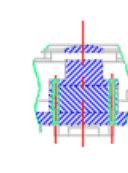
Hình ảnh F  
Tỷ lệ 1:1



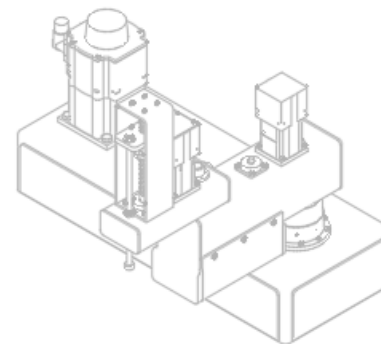
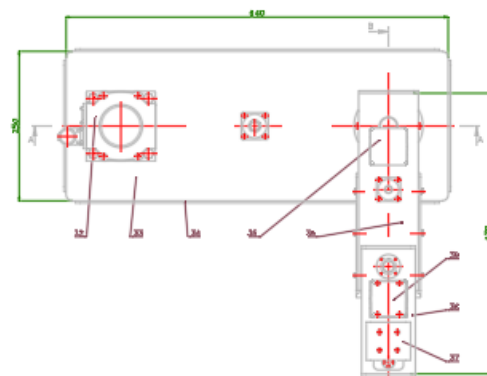
Hình ảnh G  
Tỷ lệ 1:1



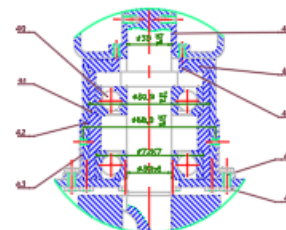
Hình ảnh H-I  
Tỷ lệ 1:1



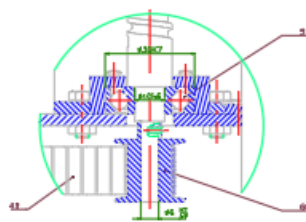
Hình ảnh J  
Tỷ lệ 1:1



Hình ảnh K  
Tỷ lệ 1:1



Hình ảnh L  
Tỷ lệ 1:1



Thông số kỹ thuật:  
Tỷ lệ in: 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128, 1/256, 1/512, 1/1024, 1/2048, 1/4096, 1/8192, 1/16384, 1/32768, 1/65536, 1/131072, 1/262144, 1/524288, 1/1048576, 1/2097152, 1/4194304, 1/8388608, 1/16777216, 1/33554432, 1/67108864, 1/134217728, 1/268435456, 1/536870912, 1/1073741824, 1/2147483648, 1/4294967296, 1/8589934592, 1/17179869184, 1/34359738368, 1/68719476736, 1/137438953472, 1/274877906944, 1/549755813888, 1/1099511627776, 1/2199023255552, 1/4398046511104, 1/8796093022208, 1/17592186044416, 1/35184372088832, 1/70368744177664, 1/140737488355328, 1/281474976710656, 1/562949953421312, 1/1125899906842624, 1/2251799813685248, 1/4503599627370496, 1/9007199254740992, 1/18014398509481984, 1/36028797018963968, 1/72057594037927936, 1/144115188075855872, 1/288230376151711744, 1/576460752303423488, 1/1152921504606846976, 1/2305843009213693952, 1/4611686018427387904, 1/9223372036854775808, 1/18446744073709551616, 1/36893488147419103232, 1/73786976294838206464, 1/147573952589676412928, 1/295147905179352825856, 1/590295810358705651712, 1/1180591620717411303424, 1/2361183241434822606848, 1/4722366482869645213696, 1/9444732965739290427392, 1/18889465931478580854784, 1/37778931862957161709568, 1/75557863725914323419136, 1/151115727451828646838272, 1/302231454903657293676544, 1/604462909807314587353088, 1/1208925819614629174706176, 1/2417851639229258349412352, 1/4835703278458516698824704, 1/9671406556917033397649408, 1/19342813113834066795298816, 1/38685626227668133590597632, 1/77371252455336267181195264, 1/154742504910672534362390528, 1/309485009821345068724781056, 1/618970019642690137449562112, 1/1237940039285380274899124224, 1/2475880078570760549798248448, 1/4951760157141521099596496896, 1/9903520314283042199192993792, 1/19807040628566084398385987584, 1/39614081257132168796771975168, 1/79228162514264337593543950336, 1/158456325028528675187087900672, 1/316912650057057350374175801344, 1/633825300114114700748351602688, 1/1267650600228229401496703205376, 1/2535301200456458802993406410752, 1/5070602400912917605986812821504, 1/10141204801825835211973625643008, 1/20282409603651670423947251286016, 1/40564819207303340847894502572032, 1/81129638414606681695789005144064, 1/162259276829213363391578010288128, 1/324518553658426726783156020576256, 1/649037107316853453566312041152512, 1/1298074214633706907132624082305024, 1/2596148429267413814265248164610048, 1/5192296858534827628530496329220096, 1/10384593717069655257060992658440192, 1/20769187434139310514121985316880384, 1/41538374868278621028243970633760768, 1/83076749736557242056487941267521536, 1/166153499473114484112975882535043072, 1/332306998946228968225951765070086144, 1/664613997892457936451903530140172288, 1/1329227995784915872903807060280344576, 1/2658455991569831745807614120560689152, 1/5316911983139663491615228241121378304, 1/10633823966279326983230456482242756608, 1/21267647932558653966460912964485513216, 1/42535295865117307932921825928971026432, 1/85070591730234615865843651857942052864, 1/170141183460469231731687303715884105728, 1/340282366920938463463374607431768211456, 1/680564733841876926926749214863536422912, 1/1361129467683753853853498429727072845824, 1/2722258935367507707706996859454145691648, 1/5444517870735015415413993718908291383296, 1/10889035741470030830827987437816582766592, 1/21778071482940061661655974875633165533184, 1/43556142965880123323311949751266331066368, 1/87112285931760246646623899502532662132736, 1/174224571863520493293247799005065324265472, 1/348449143727040986586495598010130648530944, 1/696898287454081973172991196020261297061888, 1/1393796574908163946345982392040522594123776, 1/2787593149816327892691964784081045188247552, 1/5575186299632655785383929568162090376495104, 1/11150372599265311570767859136324180752990208, 1/22300745198530623141535718272648361505980416, 1/44601490397061246283071436545296723011960832, 1/89202980794122492566142873090593446023921664, 1/178405961588244985132285746181186892047843328, 1/356811923176489970264571492362373784095686656, 1/713623846352979940529142984724747568191373312, 1/1427247692705959881058285969449495136382746624, 1/2854495385411919762116571938898990272765493248, 1/5708990770823839524233143877797980545530986496, 1/11417981541647679048466287755595961091061972992, 1/22835963083295358096932575511191922182123945984, 1/45671926166590716193865151022383844364247891968, 1/91343852333181432387730302044767688728495783936, 1/182687704666362864775460604089535377456991567872, 1/365375409332725729550921208179070754913983135744, 1/730750818665451459101842416358141509827966271488, 1/1461501637330902918203684832716283019655932542976, 1/2923003274661805836407369665432566039311865085952, 1/5846006549323611672814739330865132078623730171904, 1/11692013098647223345629478661730264157247460343808, 1/23384026197294446691258957323460528314494920687616, 1/46768052394588893382517914646921056628989841375232, 1/93536104789177786765035829293842113257979682750464, 1/187072209578355573530071658587684226515959365500928, 1/374144419156711147060143317175368453031918731001856, 1/748288838313422294120286634350736906063837462003712, 1/1496577676626844588240573268701473812127674924007424, 1/2993155353253689176481146537402947624255349848014848, 1/5986310706507378352962293074805895248510699696029696, 1/11972621413014756705924586149611790497021399392059392, 1/23945242826029513411849172299223580994042798784118784, 1/47890485652059026823698344598447161988085597568237568, 1/95780971304118053647396689196894323976171195136475136, 1/191561942608236107294793378393788647952342390272950272, 1/383123885216472214589586756787577295904684780545900544, 1/766247770432944429179173513575154591809369561091801088, 1/1532495540865888858358347027150309183618739122183602176, 1/3064991081731777716716694054300618367237478244367204352, 1/6129982163463555433433388108601236734474956488734408704, 1/12259964326927110866866776217202473468949912977468817408, 1/24519928653854221733733552434404946937899825954937634816, 1/49039857307708443467467104868809893875799651909875269632, 1/98079714615416886934934209737619787751599303819750539264, 1/196159429230833773869868419475239575503198607639501078528, 1/392318858461667547739736838950479151006397215279002157056, 1/784637716923335095479473677900958302012794430558004314112, 1/1569275433846670190958947355801916604025588861116008628224, 1/3138550867693340381917894711603833208051177722232017256448, 1/6277101735386680763835789423207666416102355444464034512896, 1/12554203470773361527671578846415332832204710888928069025792, 1/25108406941546723055343157692830665664409421777856138051584, 1/50216813883093446110686315385661331328818843555712276103168, 1/100433627766186892221372630771322662657637687111424552206336, 1/200867255532373784442745261542645325315275374222849104412672, 1/401734511064747568885490523085290650630550748445698208825344, 1/803469022129495137770981046170581301261101496891396417650688, 1/1606938044258990275541962092341162602522202993782792835301376, 1/3213876088517980551083924184682325205044405987565585670602752, 1/6427752177035961102167848369364650410088811975131171341205504, 1/12855504354071922204335696738729300820177623950262342682411008, 1/25711008708143844408671393477458601640355247900524685364822016, 1/51422017416287688817342786954917203280710495801049370729644032, 1/102844034832575377634685573909834406561420991602098741459288064, 1/205688069665150755269371147819668813122841983204197482918576128, 1/411376139330301510538742295639337626245683966408394965837152256, 1/822752278660603021077484591278675252491367932816789931674304512, 1/1645504557321206042154969182557350504982735865633579863348609024, 1/3291009114642412084309938365114701009965471731267159726697218048, 1/6582018229284824168619876730229402019930943462534319453394436096, 1/13164036458569648337239753460458804039861886925068638906788872192, 1/26328072917139296674479506920917608079723773850137277813577744384, 1/52656145834278593348959013841835216159447547700274555627155488768, 1/105312291668557186697918027683670432318895095400549111254310975536, 1/210624583337114373395836055367340864637790190801098222508621951072, 1/421249166674228746791672110734681729275580381602196445017243902144, 1/842498333348457493583344221469363458551160763204392890034487804288, 1/1684996666896914987166688442938726917102321526408785780068975608576, 1/3369993333793829974333376885877453834204643052817571560137951217152, 1/6739986667587659948666753771754907668409286105635143120275902434304, 1/13479973335175319897333507543509815336818572211270286240551804868608, 1/26959946670350639794667015087019630673637144422540572481103609737216, 1/53919893340701279589334030174039261347274288845081144962207219474432, 1/107839786681402559178668060348078522694548577690162289924414439548864, 1/215679573362805118357336120696157045389097155380324579848828879097728, 1/431359146725610236714672241392314090778194310760649159697657758195456, 1/862718293451220473429344482784628181556388621521298319395315516390912, 1/1725436586902440946858688965569256363112777243042596638790631032781824, 1/3450873173804881893717377931138512726225554486085193277581262065563648, 1/6901746347609763787434755862277025452451108972170386555162524131127296, 1/13803492695219527574869511724554050904902217944340773110325048262254592, 1/27606985390439055149739023449108101809804435888681546220650096524509184, 1/55213970780878110299478046898216203619608871777363092441300193049018368, 1/110427941561756220598956093796432407239217743554726184882600386098036736, 1/220855883123512441197912187592864814478435487109452369765200772196073472, 1/441711766247024882395824375185729628956870974218904739530401544392146944, 1/883423532494049764791648750371459257913741948437809479060803088784293888, 1/1766847064988099529583297500742918515827483896875618958121606177568587776, 1/3533694129976199059166595001485837031654967793751237916243212355137175552, 1/7067388259952398118333190002971674063309935587502475832486424710274351104, 1/14134776519904796236666380005943348126619871175004951664972849420548702208, 1/28269553039809592473332760011886696253239742350009903329945698841097404416, 1/56539106079619184946665520023773392506479484700019806659891397682194808832, 1/113078212159238369893331040047546785012958969400039613319782795364389617664, 1/226156424318476739786662080095093570025917938800079226639565590728779235328, 1/452312848636953479573324160190187140051835877600158453279131181457558470656, 1/904625697273906959146648320380374280103671755200316906558262362915116941312, 1/1809251394547813918293296640760748560207343510400633813116524725830232882624, 1/3618502789095627836586593281521497120414687020801267626233049451660465765248, 1/7237005578191255673173186563042994240829374041602535252466098903320931530496, 1/14474011156382511346346373126085988481658748083205070504932197806641863060992, 1/28948022312765022692692746252171976963317496166410141009864395613283726121984, 1/57896044625530045385385492504343953926634992332820282019728791226567452243968, 1/115792089251060090770770985008687907853269984665640564039457582453134904487936, 1/231584178502120181541541970017375815706539969331281128078915164906269808975872, 1/463168357004240363083083940034751631413079938662

## Tài liệu tham khảo

1. Trịnh Chất: “*Cơ sở thiết kế máy và chi tiết máy*,” nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 2001.
2. Trịnh Chất – Lê Văn Uyển: “*Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí tập I và tập II*,” nhà xuất bản giáo dục, 1998.
3. Sagar Behere: “*The Design and Implementation of a SCARA robot arm*,” Bachelor thesis, University of Pune, 2002.
4. Timing belts catalogue of Ammeraal Beltech, Nguồn Internet:  
[http://www.tttuma.cz/files/Katalog\\_remenu.pdf](http://www.tttuma.cz/files/Katalog_remenu.pdf)
5. Ball screw catalogue of SBC linear, Nguồn Internet:  
<http://www.rwh.hu/data/files/L7RL93WkI70uSVjHXIke70UNbAqKDxqP.pdf>
6. AC servo catalogue of Mitsubishi, Nguồn Internet:  
<http://www.mitsubishielectric.com/fa/dctlg/catalog/02/pdf/drv.pdf>