

**BỘ GIÁO DỤC & ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
TP. HỒ CHÍ MINH KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ  
BỘ MÔN ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG**

-----□Δ□-----



**BÁO CÁO MÔN HỌC  
THỰC TẬP KỸ THUẬT ROBOT  
ĐỀ TÀI: THIẾT KẾ VÀ ĐIỀU KHIỂN CÁN H TAY  
ROBOT 3 BẬC TỰ DO GẮP THẢ VẬT**

**GVHD: TS. Nguyễn Văn Thái**

**SVTH**

**MSSV**

**Nguyễn Duy Khánh**

**20151383**

**Đặng Thánh Huy**

**20151378**

**Tp. Hồ Chí Minh, tháng 1 năm 2024**

## LỜI CẢM ƠN

Sinh viên thực hiện đề tài xin chân thành cảm ơn:

Thầy TS. Nguyễn Văn Thái đã tận tình hướng dẫn, giúp đỡ cũng như tạo những điều kiện thuận lợi để cả nhóm có thể thực hiện hoàn thành đề tài môn học này.

Tuy đã cố gắng tìm hiểu, học tập nhưng chắc chắn nhóm sẽ không tránh khỏi những thiếu sót, vì vậy nhóm rất mong nhận được sự thông cảm của thầy.

Tp.HCM, Tháng 1 năm 2024

## NHẬN XÉT CỦA GIÁO VIÊN HƯỚNG DẪN

This image shows a full page of white paper with horizontal black ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a template for handwriting practice or general writing. There are no margins, text, or other markings on the page.

**Giáo viên hướng dẫn**

**TS. Nguyễn Văn Thái**

# MỤC LỤC

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN ĐỀ TÀI.....	1
1.1.    Đặt vấn đề.....	1
1.2.    Mục tiêu đề tài.....	2
1.3.    Giới hạn đề tài .....	2
1.4.    Nội dung nghiên cứu .....	2
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT.....	3
2.1.    Ứng dụng cánh tay robot trong quá trình sản xuất .....	3
2.2.    Bậc tự do của cơ cấu robot .....	3
2.3 Bài toán động học của robot.....	4
2.3.1 Động học thuận của robot.....	4
2.3.2 Động học nghịch của robot .....	5
2.3.3 Động cơ bước .....	5
CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ MÔ HÌNH ROBOT 3 BẬC TỰ DO .....	8
3.1    Tính toán thiết kế.....	8
3.1.1 Yêu cầu thiết kế .....	8
3.1.2 Yêu cầu điều khiển .....	9
3.2    Thiết kế solid cho robot .....	9
CHƯƠNG 4: TÍNH TOÁN ĐỘNG HỌC ROBOT.....	10
4.1.    Tính toán động học cho robot.....	10
4.1.1 Tính toán động học thuận .....	10
4.1.2 Tính toán động học nghịch.....	13
4.2.    Về không gian làm việc và quy hoạch quỹ đạo cho robot.....	14
4.2.1. Không gian làm việc.....	14
4.2.2. Quy hoạch quỹ đạo.....	14
CHƯƠNG 5: THI CÔNG MÔ HÌNH .....	16
5.1. Thi công lắp ráp robot .....	16
5.1.1 Linh kiện cơ khí.....	16
5.2. Sơ đồ khối.....	22
5.3 Giao diện điều khiển.....	23
Chương 6. Kết quả và nhận xét .....	23
6.1. Kết quả đạt được.....	23
6.2. Nhận xét .....	25
6.3 Kết luận và hướng phát triển .....	25
6.3.1 Kết luận .....	25
6.3.2 Hạn chế.....	26
6.3.3 Hướng phát triển.....	26

## Mục lục hình ảnh

Hình 1 Sơ đồ nguyên lý hoạt động của động cơ bước.....	6
Hình 2 Robot 3 bậc tự do vẽ trên solidwork.....	8
Hình 3 Đế robot.....	9
Hình 4 Khớp 1 robot.....	9
Hình 5 Khớp 2 robot.....	10
Hình 6 Khớp 3 robot.....	10
Hình 7 Chọn hệ trục tọa độ cũng như góc quay các khớp robot .....	11
Hình 8 Ốc, vít.....	17
Hình 9 Trụ đồng trục, cái.....	16
Hình 10 Mica.....	16
Hình 11 Puly GT2 16 răng .....	16
Hình 12 Puly 20 răng.....	17
Hình 13 Puly GT2 60 răng .....	17
Hình 14 Puly 80 răng.....	17
Hình 15 Mô hình dây đai quanh 2 Puly.....	17
Hình 16 Dây Curoa.....	18
Hình 17 Động cơ bước Step motor 42x42x48 (nema 17) .....	19
Hình 18 Arduino Uno.....	20
Hình 19 Shield CNC V3.....	21
Hình 20 Module điều khiển động cơ A4988 .....	21
Hình 21 Công tắc hành trình V155.....	22
Hình 22 Adapter cấp nguồn.....	22
Hình 23 Sơ đồ khối điều khiển.....	23
Hình 24 Giao diện điều khiển robot .....	23
Hình 25 Mô hình hoàn chỉnh robot thực tế .....	24
Hình 26 Robot gấp vật.....	24
Hình 27 Tay gấp robot.....	25
Hình 28 Robot ở vị trí sethome .....	25

# CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN ĐỀ TÀI

## 1.1. Đặt vấn đề

Trong cuộc cách mạng công nghiệp 4.0, robot ngày càng trở thành một phần thiết yếu của cuộc sống. Robot không chỉ thay thế con người trong việc đáp ứng các nhu cầu của thao tác liên tục và lặp lại, mà còn thực hiện các tác vụ thông minh như một con người thực sự. Bởi sở hữu tốc độ nhanh và trí thông minh nhân tạo, robot có thể dễ dàng hoàn thành các nhiệm vụ trong thăm dò, làm việc tại những nơi nguy hiểm, cứu người trong tai nạn, hoặc lĩnh vực chuẩn đoán của thuốc. Tại Việt Nam, thị trường Robot công nghiệp được cho là sẽ phát triển mạnh trong thời gian tới. Robot công nghiệp tăng trưởng nhiều nhất ở ngành: Sản xuất ô tô (83%), Việt Nam hiện cũng được các chuyên gia đánh giá là thị trường tiềm năng của Robot công nghiệp với nhiều các nhà máy sản xuất sử dụng Robot như: Vinfast, Thaco... Để hoàn thành các nhiệm vụ như vậy, ít nhất các robot cần một bộ điều khiển tốt để giải quyết các yêu cầu được giao ở cả khía cạnh độ chính xác và đáp ứng nhanh. Tuy nhiên, các điều kiện hoạt động thực tế phức tạp và khác nhau là những trở ngại chính trong việc thiết kế các bộ điều khiển có độ chính xác cao cho các hệ thống robot.

Robot ứng dụng rộng rãi và đóng vai trò quan trọng trong sản xuất cũng như trong đời sống. Robot là cơ cấu đa chức năng có khả năng lập trình được dùng để di chuyển nguyên vật liệu, các chi tiết, các dụng cụ thông qua các truyền động được lập trình trước. Khoa học robot chủ yếu dựa vào các phép toán về đại số ma trận.

Robot có cánh tay nhiều bậc tự do và có thể thực hiện các chuyển động như con người và điều khiển được bằng máy tính hoặc có thể điều khiển bằng chương trình nạp sẵn trong chip bo mạch. Để hệ điều khiển robot đáng tin cậy, độ chính xác cao, hạ giá thành và tiết kiệm năng lượng thì nhiệm vụ cơ bản là hệ điều khiển robot phải đảm bảo giá trị yêu cầu của các đại lượng điều chỉnh và điều khiển. Ngoài ra, hệ điều khiển robot phải đảm bảo ổn định động và tĩnh, chống được nhiễu trong và ngoài, đồng thời không gây ra tác hại môi trường như: tiếng ồn quá mức quy định, sóng hài của điện áp và dòng điện quá lớn cho lưới điện từ,...

Vì vậy qua những điều trên và những vấn đề đã học ở môn Thực tập Robot, nhóm chúng em quyết định tìm hiểu và nghiên cứu để chọn ra đề tài mà nhóm chúng em làm là: “THIẾT KẾ CÁNH TAY ROBOT 3 BẬC TỰ DO”.

### **1.2. Mục tiêu đề tài**

Thiết kế mô hình cánh tay robot 3 bậc tự do với SolidWorks.

Chế tạo cánh tay robot 3 bậc tự do gồm 3 khớp xoay để di chuyển đến vị trí trong không gian Oxyz và gấp vật.

Hoàn thiện, lắp ráp phần cứng dựa trên ý tưởng đã vẽ trên phần mềm SolidWork.

Nghiên cứu điều khiển các góc quay của động cơ bước cho các khớp của cánh tay robot bằng Arduino Uno.

Tính toán động học thuận và động học nghịch của cánh tay robot để điều khiển robot tới vị trí mong muốn.

Thiết kế tối ưu, nhỏ gọn, thẩm mỹ hợp lí và hoạt động ổn định, dễ thao tác và sử dụng.

### **1.3. Giới hạn đề tài**

Đề tài chú trọng vào việc nghiên cứu, mô phỏng và điều khiển mô hình thực với các giới hạn như sau:

- Robot sẽ chỉ hoạt động theo quỹ đạo đặc biệt đã được tạo ra trong không gian làm việc của Robot.
- Robot chỉ hoạt động dựa trên gốc tọa độ đã đặt trước.
- Các sai số phát sinh từ các băng tải, pulley nằm ngoài phạm vi nghiên cứu của đề tài.

### **1.4. Nội dung nghiên cứu**

Đồ án bao gồm những nội dung chính sau:

- Chương 1: Tổng quan đề tài.
- Chương 2: Cơ sở lý thuyết
- Chương 3: Thiết kế mô hình robot 3 bậc tự do
- Chương 4: Tính toán động học robot

- Chương 5: Thi công mô hình
- Chương 6: Kết quả và nhận xét

## CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1. Ứng dụng cánh tay robot trong quá trình sản xuất

Ứng dụng của cánh tay robot trong công nghiệp rất đa dạng, tùy thuộc vào những ngành nghề, công việc khác nhau mà ta có thể áp dụng những robot công nghiệp riêng biệt. Dưới đây ta có một số ngành trong hệ thống sản xuất mà áp dụng robot công nghiệp.

- Công nghiệp đúc: Cánh tay robot làm nhiệm vụ rót kim loại nóng chảy vào khuôn, cắt mép thừa, làm sạch vật đúc hoặc làm tăng bề mặt vật đúc bằng cách phun cát.
- Ngành gia công áp lực: Các quá trình hàn và nhiệt luyện thường bao gồm nhiều công việc độc hại và ở nhiệt độ cao, điều kiện làm việc khá nặng nề, dễ gây mệt mỏi nhất là trong các phân xưởng rèn dập.
- Ngành gia công và lắp ráp: Cánh tay robot thường được sử dụng vào những việc như tháo lắp phôi và sản phẩm cho các máy gia công bánh răng, máy khoan, máy tiện bán tự động.

### 2.2. Bậc tự do của cơ cấu robot

Bậc tự do của cơ cấu robot là số thông số độc lập hay số thông số cần cho trước để vị trí của cơ cấu hoàn toàn xác định. Ta có thể tìm được một công thức tổng quát tính bậc tự do của cơ cấu theo số khâu, số khớp và loại khớp tạo thành cơ cấu.

$$M = 6(n - 1) - \sum_{j=1}^m (6 - f_j)$$

Trong đó:

- M: Số bậc tự do của hệ.
- n: Số khâu của hệ kể cả giá (đất).
- m: Số lượng các khớp.



$f_j$ : Số các liên kết bậc  $j$ .

$j$ : Bậc của liên kết là số bậc tự do mà liên kết hạn chế.

## 2.3 Bài toán động học của robot

Bài toán động học của robot bao gồm các bài toán về vị trí, về vận tốc, về gia tốc. Trong bài toán về vị trí thì việc xác định vị trí và hướng của điểm tác động cuối tại những thời điểm khác nhau là vấn đề cốt lõi. Để có thể giải quyết được bài toán, thì như ta đã biết robot là một hệ nhiều vật rắn ghép nối với nhau bằng các khớp, chủ yếu là khớp quay và khớp tịnh tiến, do vậy cần phải xác định được các hệ tọa độ gắn với các khâu của robot.

### 2.3.1 Động học thuận của robot

Mục đích của bài toán động học thuận là xác định vị trí của khâu tác động cuối của tay máy khi biết các biến khớp của tay máy. Để thiết lập phương trình động học thuận cho tay máy, thực hiện các bước sau:

**Bước 1:** Chọn hệ tọa độ cơ bản và gán các hệ tọa độ không gian khác:

- + Giả sử vị trí ban đầu của Robot là vị trí các biến khớp thường bằng 0.
- + Chọn trục  $Z_0, Z_1 \dots$  theo nguyên tắc chung.
- + Chọn các trục  $X_0, X_1 \dots$

Vì ma trận  $T_i = \text{Rot}(z, \theta) \cdot \text{Trans}(x, a) \cdot \text{Trans}(z, d) \cdot \text{Rot}(x, \alpha)$  nên trục  $X_{n-1}$  chính là trục quay  $Z_{n-1}$  thành trục  $Z_n$ .

Trong quá trình gán hệ tọa độ thì khi xuất hiện các phép biến đổi:  $\text{Trans}(0, y, 0)$  và  $\text{Rot}(y, \theta)$  thì vị trí giả định ban đầu là không đúng, cần thay đổi vị trí mới.

**Bước 2:** Lập bảng thông số D-H.

**Bước 3:** Xác định các ma trận  $T_i$ .

**Bước 4:** Tính các ma trận  $T$  từ ngọn tới gốc.  $T_4 = T_1 T_2 T_3 T_4$ .

**Bước 5:** Viết phương trình động học Robot.

### 2.3.2 Động học nghịch của robot

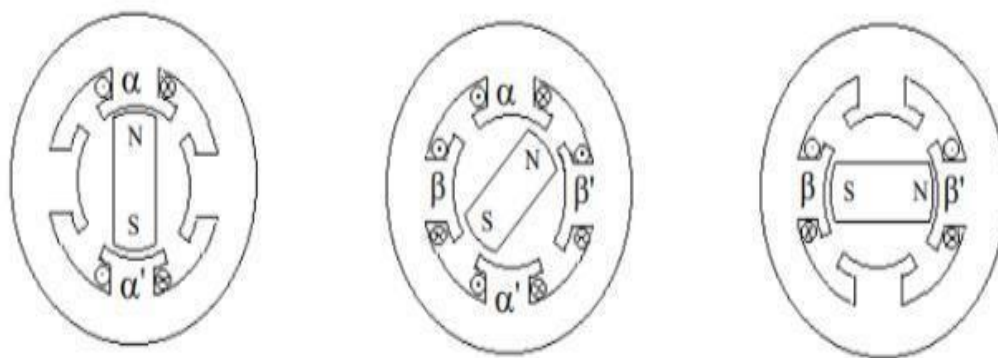
Cho trước cơ cấu và quy luật chuyển động của điểm trên khâu tác động cuối (hoặc quy luật chuyển động của khâu cuối bao gồm vị trí và hướng của nó) được biểu diễn trong hệ trục tọa độ vuông góc, ta phải xác định quy luật chuyển động của các khâu thành viên thể hiện thông qua các tọa độ suy rộng  $\theta$ .

Đôi khi, bài toán trong thực tế được đặt ra gần như một bài toán tổng hợp động học cơ cấu, nghĩa là bài toán chỉ cho trước yêu cầu hoặc quy luật chuyển động của khâu cuối: Ta phải xác định cấu tạo cơ cấu tay máy và quy luật chuyển động  $\theta$  của các khâu thành viên. Thông thường bài toán thuận có lời giải duy nhất, trong khi đó bài toán ngược có vô số lời giải (bài toán vô định) khi cho trước quy luật chuyển động của điểm trên khâu tác động cuối bên trong vùng không gian hoạt động của tay máy. Riêng đối với các vị trí trên biên của vùng không gian hoạt động, trong một số trường hợp ta mới có lời giải duy nhất. Ngoài ra, ở cả hai bài toán động học, ta không chỉ quan tâm đến tọa độ của một điểm thuộc khâu tác động cuối mà còn quan tâm đến cả vị trí và hướng của nó trong hệ tọa độ vuông góc; Do đó, ngoài các thông số tọa độ của một điểm P nào đó thuộc khâu tác động cuối ta còn phải bổ sung ba góc quay Euler quanh ba trục tọa độ ( $\Phi/Z$ ,  $\theta/Y$  và  $\psi/X$ ) để xác định hướng của nó.

Khi giải quyết vấn đề có nhiều lời giải bài toán ngược người ta đưa ra các ràng buộc về mặt động học đối với các tay máy hoạt động bên trong vùng không gian làm việc của nó (gọi là không gian có bậc tự do thừa - redundancy) hoặc đặt ra vấn đề phải tối ưu hoá hoạt động của tay máy theo một hàm mục tiêu nào đó để chọn lời giải phù hợp nhất. Để tìm lời giải cho bài toán ngược, người ta thường đưa thêm các ràng buộc cho các biến vị trí, các biến di chuyển và chọn những nghiệm nào thoả mãn các ràng buộc trên.

### 2.3.3 Động cơ bước

Động cơ bước là một động cơ đồng bộ dùng để biến đổi các tín hiệu điều khiển dưới dạng các xung điện rời rạc kế tiếp nhau thành các chuyển động góc quay hoặc các chuyển động của roto và có khả năng cố định roto vào những vị trí cần thiết.



Hình 1 Sơ đồ nguyên lý hoạt động của động cơ bước

Bên trong động cơ bước có 4 cuộn dây Stator được sắp xếp theo cặp đối xứng qua tâm. Rotor là nam châm vĩnh cửu có nhiều răng. Động cơ bước hoạt động trên cơ sở lý thuyết từ trường các cực cùng dấu đẩy nhau và các cực khác dấu hút nhau. Từ trường của Stator là do dòng điện chạy qua lõi cuộn dây tạo ra, khi đó hướng của dòng thay đổi thì cực từ trường cũng thay đổi theo gây nên chuyển động đảo chiều của động cơ.

Động cơ bước làm việc nhờ bộ chuyển mạch điện tử đưa các tín hiệu vào Stator theo một thứ tự và một tần số nhất định. Số lần chuyển mạch sẽ bằng tổng số góc quay của Rotor, chiều quay và tốc độ quay của rotor cũng phụ thuộc vào thứ tự chuyển đổi và tần số chuyển đổi. Động cơ bước được sử dụng trong điều khiển vòng hở (không phản hồi) không cần trang bị cảm biến để phản hồi về vị trí và vận tốc vì mỗi xung tác động đã được thiết kế và kiểm soát để rotor của động cơ bước quay một góc xác định.

Ưu nhược điểm:

- Khi dùng động cơ bước không cần mạch phản hồi cho cả điều khiển vị trí và vận tốc.
- Thích hợp với các thiết bị điều khiển số. Với khả năng điều khiển số trực tiếp, động cơ bước trở thành thông dụng trong các thiết bị cơ điện tử hiện đại. Tuy nhiên phạm vi ứng dụng động cơ bước là ở vùng công suất nhỏ và trung bình.

Việc nghiên cứu nâng cao công suất động cơ bước đang là vấn đề rất được quan tâm

hiện nay.

Các thông số cơ bản của động cơ bước:

- Góc quay Động cơ bước quay một góc xác định ứng với mỗi xung kích thích. Góc bước  $\theta$  càng nhỏ thì độ phân giải vị trí càng cao. Số bước  $s$  là một thông số quan trọng:

$$s = \frac{360^\circ}{\theta}$$

- Tốc độ quay và tần số xung: Tốc độ quay của động cơ bước phụ thuộc vào số bước trong một giây. Đối với hầu hết các động cơ bước, số xung cấp cho động cơ bằng số bước (tính theo phút) nên tốc độ có thể tính theo tần số xung  $f$ . Tốc độ quay của động cơ bước tính theo công thức sau:

$$n = \frac{60f}{s} \quad (f: \text{bước/phút}) / (s: \text{bước/vòng})$$

Trong đó:

$n$  – tốc độ quay (vòng/phút)

$f$  – tần số xung (Hz)

$s$  – số bước trong 1 vòng quay

Ngoài ra còn các thông số quan trọng khác như độ chính xác vị trí, momen và quán tính của động cơ,...

Các loại động cơ bước tùy theo kiểu của roto, động cơ bước được chia thành các loại sau:

- Động cơ bước kiểu từ trở biến đổi (VR: Variable Resistance)
- Động cơ bước nam châm vĩnh cửu (PM: Permanent Magnet)

Động cơ bước kiểu lai (Hybrid) tùy theo số cuộn dây độc lập trên stato động cơ bước được chia thành các loại: 2 pha, 3 pha hoặc 4 pha. Roto động cơ bước có nhiều cực (còn

gọi là răng). Số cực của roto phối hợp với số cực của stato xác định giá trị góc bước  $\theta$ . Phần lớn những động cơ bước hiện nay có số bước  $s = 200$ , nên  $\theta = 1,80$ .

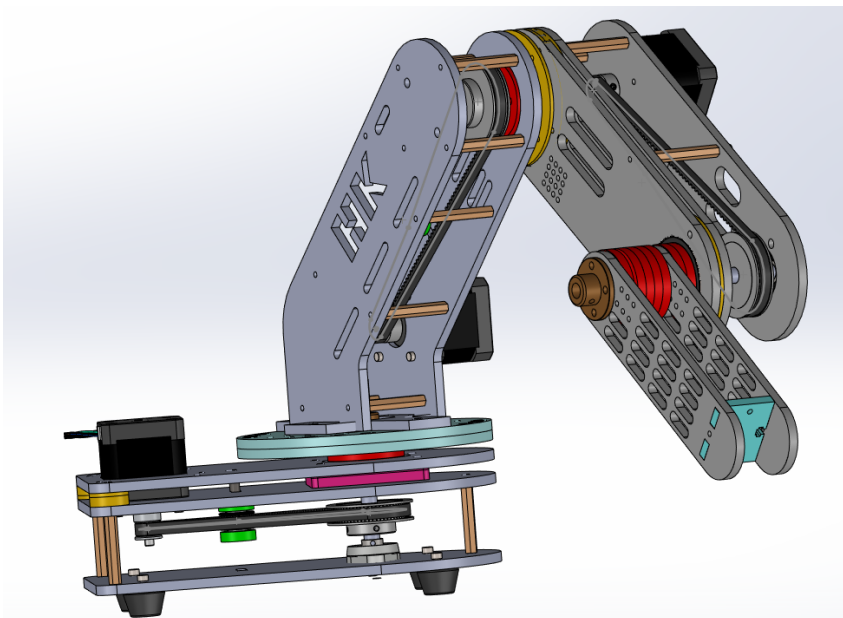
Số bước càng lớn độ phân giải càng cao và định vị càng chính xác. Nhưng trong thực tế, không thể tăng số bước lên quá cao. Tuy nhiên có thể dùng công nghệ vi bước để chia bước thành các bước nhỏ hơn. Phương pháp này tạo nhiều vị trí trung gian bằng cách cung cấp những giá trị dòng khác nhau cho mỗi cuộn dây. Động cơ được tạo bước nhỏ có độ phân giải tinh hơn nhiều.

## CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ MÔ HÌNH ROBOT 3 BẬC TỰ DO

### 3.1 Tính toán thiết kế

#### 3.1.1 Yêu cầu thiết kế

- Quá trình thiết kế gồm các công đoạn nhỏ để hình thành nên mô hình cánh tay robot.
- Thiết kế này bao gồm 3 khớp xoay.
- Vật liệu cơ khí và thiết bị điều khiển thực hiện chắc chắn, nhẹ, dễ sử dụng.



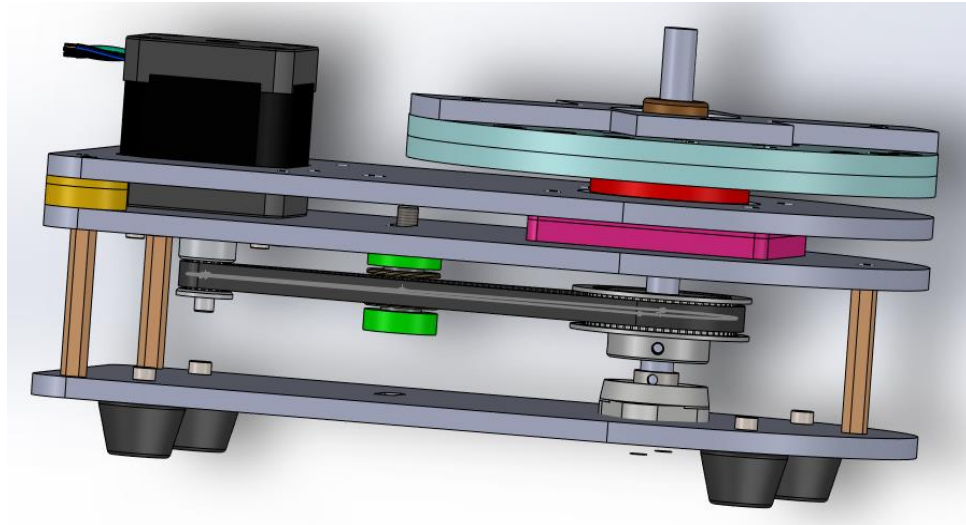
Hình 2 Robot 3 bậc tự do vẽ trên solidwork

### 3.1.2 Yêu cầu điều khiển

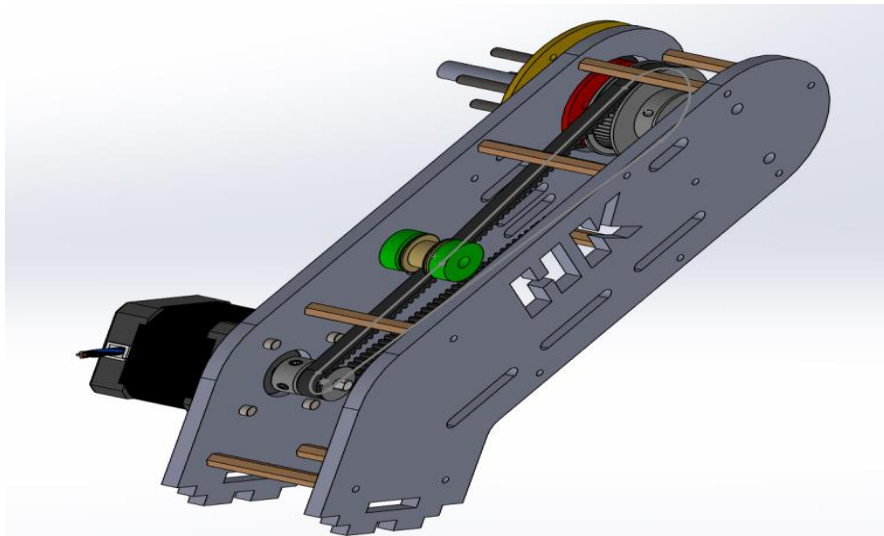
Tính toán chính xác được động học robot.

Tính toán kiểm chứng robot theo lý thuyết động học.

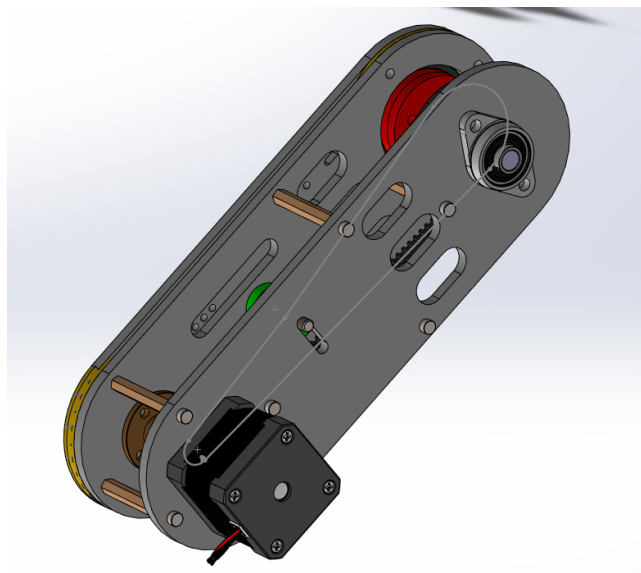
### 3.2 Thiết kế solid cho robot



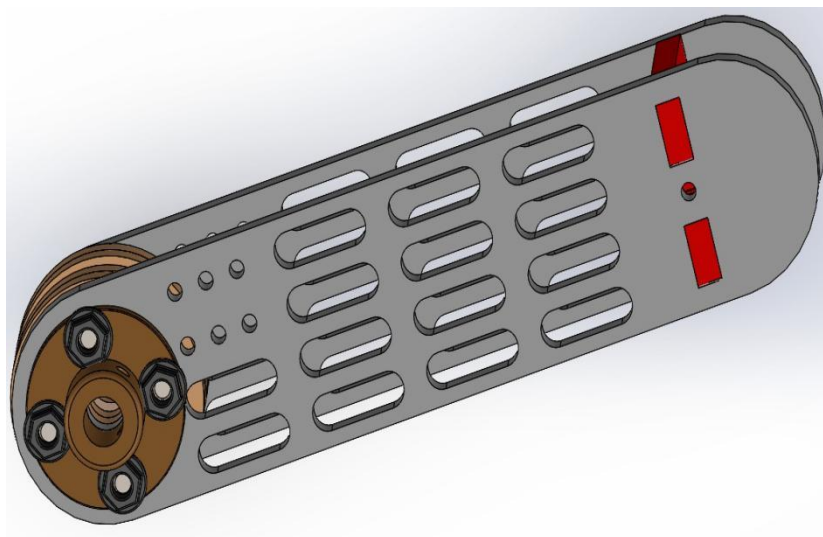
Hình 3 Đế robot



Hình 4 Khớp 1 robot



Hình 5 Khớp 2 robot



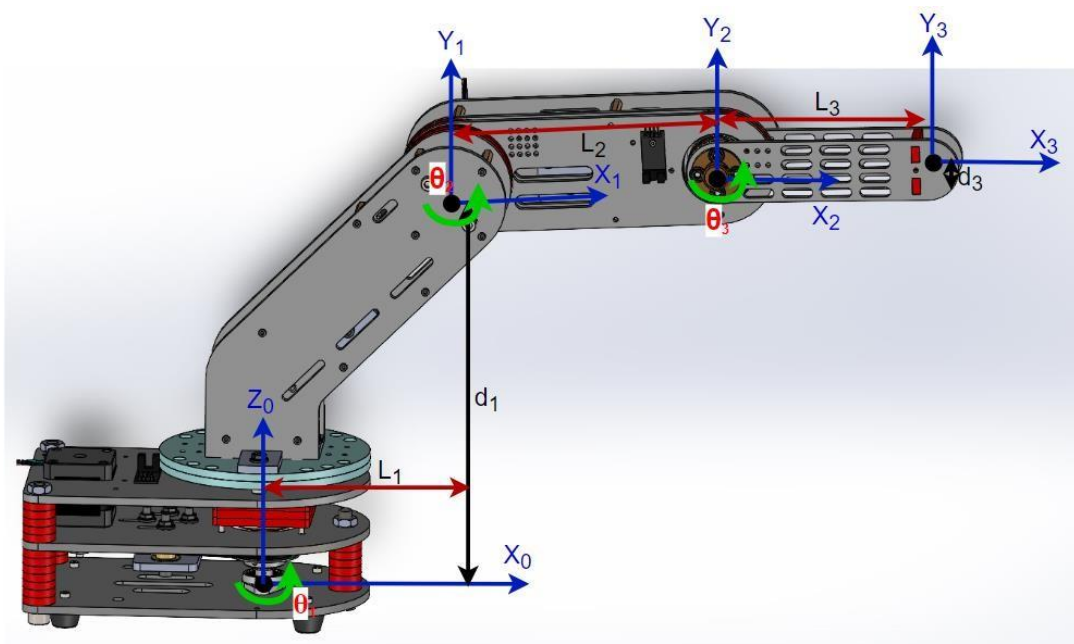
Hình 6 Khớp 3 robot

## CHƯƠNG 4: TÍNH TOÁN ĐỘNG HỌC ROBOT

### 4.1. Tính toán động học cho robot

#### 4.1.1 Tính toán động học thuận

**Bước 1:** Chọn hệ tọa độ cơ bản và gán các hệ tọa độ không gian khác



Hình 7 Chọn hệ trục tọa độ cũng như góc quay các khớp robot

Bảng 4.1. Bảng thông số vật lý của mô hình:

Thông số	Ý nghĩa
$L_1 = 107 \text{ mm}$	Chiều dài của khâu 1
$L_2 = 162 \text{ mm}$	Chiều dài của khâu 2
$L_3 = 130 \text{ mm}$	Chiều dài của khâu 3
$d_1 = 232 \text{ mm}$	Độ lệch của khớp
$d_3 = 55 \text{ mm}$	Độ lệch của khớp

**Bước 2:** Lập bảng thông số D-H

Bảng 4.2. Bảng D-H

$a$	$\alpha$	$d$	$\theta$
$L_1$	90	$d_1$	$\theta_1$
$L_2$	0	0	$\theta_2$
$L_3$	0	$d_3$	$\theta_3$



Trong đó:

- $a$  là chiều dài của mỗi khâu được xác định bằng **chiều dài đường vuông chung** giữa hai trục  $z_i$  và  $z_{i+1}$  theo chiều từ  $x_i$
- $\alpha$  là độ xoắn của mỗi khâu được xác định bằng **góc lệch** giữa hai trục  $z_i$  và  $z_{i+1}$  theo chiều từ  $x_i$
- $d$  là độ lệch của khớp được xác định bằng **chiều dài đường vuông góc chung** giữa 2 trục  $x_{i-1}$  và  $x_i$  theo chiều từ  $z_{i-1}$
- $\theta$  là góc khớp được xác định bằng **góc lệch** giữa hai khâu liên kế  $x_{i-1}$  và  $x_i$  theo chiều từ  $z_{i-1}$

**Bước 3:** Xác định các ma trận Ti.

Ta có ma trận chuyển vị tổng quát từ hệ i sang i+1

$$T_{i+1}^i = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta)\cos(\alpha) & \sin(\theta)\sin(\alpha) & a\cos(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta)\cos(\alpha) & -\cos(\theta)\sin(\alpha) & a\sin(\theta) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Ma trận chuyển đổi từ hệ 0 sang hệ 1

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & \sin(\theta_1) & L_1\cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) & 0 & -\cos(\theta_1) & L_1\sin(\theta_1) \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Ma trận chuyển đổi từ hệ 1 sang hệ 2

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & L_2\cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & L_2\sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Ma trận chuyển đổi từ hệ 2 sang hệ 3

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 & L_3\cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 & L_3\sin(\theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

Ma trận chuyển đổi tổng quát từ hệ 0 sang hệ 3 như sau:

$$T_3^0 = T_1^0 \times T_2^1 \times T_3^2 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & P_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & P_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

Trong ma trận này chứa 2 thành phần vị trí và hướng của cơ cấu cuối nên ta suy ra tọa độ vị trí cơ cấu cuối

$$P_x = L_1\cos(\theta_1) + d_3\sin(\theta_1) + L_2\cos(\theta_1)\cos(\theta_2) + L_3\cos(\theta_1)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) - L_3\cos(\theta_1)\sin(\theta_2)\sin(\theta_3)$$

$$\begin{aligned}
P_y &= L_1 \sin(\theta_1) - d_3 \cos(\theta_1) + L_2 \cos(\theta_2) \sin(\theta_1) + L_3 \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) \sin(\theta_1) \\
&\quad - L_3 \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) \sin(\theta_3) \\
P_z &= d_1 + L_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + L_2 \sin(\theta_2) \quad (1.6)
\end{aligned}$$

#### 4.1.2 Tính toán động học nghịch

Mục đích của bài toán động học nghịch là tìm các biến khớp của tay máy khi biết vị trí khâu tác động cuối của tay máy. Có 2 phương pháp để giải bài toán động học nghịch là phương pháp hình học và phương pháp đại số. Ở đây nhóm đã áp dụng phương pháp đại số để giải. Các bước thực hiện được trình bày dưới đây:

**Bước 1:** Từ (1.5) ta nhân hai vế của đẳng thức cho ma trận  $T_1$  nghịch đảo.

$${}^1_0T^{-1} \times {}^3_0T = {}^1_0T^{-1} \times (T_1^0 \times T_2^1 \times T_3^2) \quad (1.7)$$

Kết quả cho các thành phần (\*) giống nhau và các thành phần khác nhau như  $n_1, m_1, m_2$

$$\begin{bmatrix} * & * & * & n_1 \\ * & * & * & n_2 \\ * & * & * & n_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} * & * & * & m_1 \\ * & * & * & m_2 \\ * & * & * & m_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

Trong đó:

$$\begin{cases} n_1 = P_x \cos(\theta_1) - L_1 + P_y \sin(\theta_1) \\ n_2 = P_z - d_1 \\ n_3 = P_x \sin(\theta_1) - P_y \cos(\theta_1) \end{cases} \quad \text{và} \quad \begin{cases} m_1 = L_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + L_2 \cos(\theta_2) \\ m_2 = L_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + L_2 \sin(\theta_2) \\ m_3 = d_3 \end{cases}$$

**Bước 2:** Tính  $\theta_1$

Ta có:  $n_3 = m_3 \Rightarrow P_x \sin(\theta_1) - P_y \cos(\theta_1) = d_3$

$$\Rightarrow \frac{P_x}{\sqrt{(P_x)^2 + (P_y)^2}} \sin(\theta_1) - \frac{P_y}{\sqrt{(P_x)^2 + (P_y)^2}} \cos(\theta_1) = \frac{d_3}{\sqrt{(P_x)^2 + (P_y)^2}} \quad (1.9)$$

$$\text{Đặt } \cos(\alpha) = \frac{P_x}{\sqrt{(P_x)^2 + (P_y)^2}}; \sin(\alpha) = -\frac{P_y}{\sqrt{(P_x)^2 + (P_y)^2}}; \alpha \in [0; 2\pi]$$

$$\text{Từ 1.9 ta có: } \cos(\alpha) \sin(\theta_1) + \sin(\alpha) \cos(\theta_1) = \frac{d_3}{\sqrt{(P_x)^2 + (P_y)^2}}$$

$$\Rightarrow \sin(\theta_1 + \alpha) = \frac{d_3}{\sqrt{(P_x)^2 + (P_y)^2}} \Leftrightarrow (\theta_1 + \alpha) = \arcsin\left(\frac{d_3}{\sqrt{(P_x)^2 + (P_y)^2}}\right)$$

$$\Rightarrow \theta_1 = \arcsin\left(\frac{d_3}{\sqrt{(P_x)^2 + (P_y)^2}}\right) - \alpha \quad (1.10)$$

Với:

$$\begin{cases} \alpha = \arcsin\left(-\frac{P_y}{\sqrt{(P_x)^2 + (P_y)^2}}\right), (P_x > 0, P_y > 0) \\ \alpha = \arccos\left(\frac{P_x}{\sqrt{(P_x)^2 + (P_y)^2}}\right), (P_x < 0, P_y < 0) \end{cases} \quad (1.11)$$

### Bước 3: Tính $\theta_2$

Ta có:

$$P_z = d_1 + L_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + L_2 \sin(\theta_2)$$

Đặt  $\theta = \theta_2 + \theta_3 \Rightarrow \theta_3 = \theta - \theta_2$ , góc  $\theta$  ta tự cho trước

Khi đó phương trình 1.12 được viết lại như sau

$$P_z = d_1 + L_3 \sin(\theta) + L_2 \sin(\theta_2)$$

$$\Rightarrow \sin(\theta_2) = \frac{P_z - d_1 - L_3 \sin(\theta)}{L_2}$$

$$\Rightarrow \theta_2 = \arcsin\left(\frac{P_z - d_1 - L_3 \sin(\theta)}{L_2}\right)$$

### Bước 4: Tính $\theta_3$

$$\text{Từ } \theta = \theta_2 + \theta_3 \Rightarrow \theta_3 = \theta - \theta_2$$

## 4.2. Vẽ không gian làm việc và quy hoạch quỹ đạo cho robot

### 4.2.1. Không gian làm việc

### 4.2.2. Quy hoạch quỹ đạo

Quy hoạch quỹ đạo trong robot là quá trình xác định cách điều khiển chuyển động của các khớp thông qua việc lập kế hoạch cho quỹ đạo chuyển động. Điều này đòi hỏi xác định các điểm nút và điểm cuối, áp dụng ràng buộc, và sử dụng phương pháp đa thức bậc 5 để xây dựng hàm quỹ đạo. Mục tiêu là tạo ra chuyển động mượt mà, nhẹ nhàng, và tuân thủ các ràng buộc an toàn. Các bước cụ thể bao gồm xác định điểm xuất phát và điểm đích, áp dụng ràng buộc, xây dựng hàm quỹ đạo và kiểm tra để đảm bảo rằng robot di chuyển

theo cách mong muốn. Có nhiều phương pháp để xây dựng hàm đa thức quỹ đạo như phương pháp hình thang, đa thức bậc 3, đa thức bậc 5... Ở đây nhóm sử dụng phương pháp đa thức bậc 5 để tạo quỹ đạo chuyển động cho robot. Dưới đây là các bước hình thành hàm quỹ đạo đa thức bậc:

Ta có hàm quỹ đạo bậc 5:

$$x(t) = a(t)^5 + b(t)^4 + c(t)^3 + d(t)^2 + et + f \quad (1.14)$$

### Các điều kiện ban đầu

$$\begin{cases} x(t_0) = x_0, x(t_f) = x_1 \\ \dot{x}(t_0) = 0, \dot{x}(t_f) = 0 \\ \ddot{x}(t_0) = 0, \ddot{x}(t_f) = 0 \end{cases} \quad (1.15)$$

$$\begin{cases} x(t_0) = x(0) = f = x_0 \\ x(t_f) = a(t_f)^5 + b(t_f)^4 + c(t_f)^3 + d(t_f)^2 + et_f = x_1 - x_0 \end{cases} \quad (1.16)$$

Đạo hàm bậc nhất phương trình (1.14) ta được

$$\begin{cases} \dot{x}(t_0) = e = 0 \\ \dot{x}(t_f) = 5a(t_f)^4 + 4b(t_f)^3 + 3c(t_f)^2 + 2d(t_f) = 0 \end{cases} \quad (1.17)$$

Đạo hàm bậc hai phương trình (1.14) ta được

$$\begin{cases} \ddot{x}(t_0) = \ddot{x}(0) = 2d = 0 \\ \ddot{x}(t_f) = 20a(t_f)^3 + 12b(t_f)^2 + 6c(t_f) = 0 \end{cases} \quad (1.18)$$

Từ (1.14), (1.15), (1.16) ta có hệ phương trình:

$$\Rightarrow \begin{cases} a(t_f)^5 + b(t_f)^4 + c(t_f)^3 + d(t_f)^2 + et_f = x_1 \\ 5a(t_f)^4 + 4b(t_f)^3 + 3c(t_f)^2 + 2d(t_f) = 0 \\ 20a(t_f)^3 + 12b(t_f)^2 + 6c(t_f) = 0 \end{cases} \quad (1.19)$$

Giải phương trình (1.19) ta được:

$$\Rightarrow \begin{cases} a = \frac{6(x_1 - x_0)}{t_f^5} \\ b = \frac{-15(x_1 - x_0)}{t_f^4} \\ c = \frac{10(x_1 - x_0)}{t_f^3} \end{cases} \quad (1.20)$$

Thay (1.20) vào (1.14) ta suy ra phương trình tổng quát hàm đa thức quỹ đạo bậc 5 là:

$$x(t) = \frac{6(x_1 - x_0)}{t_f^5} t^5 - \frac{15(x_1 - x_0)}{t_f^4} t^4 + \frac{10(x_1 - x_0)}{t_f^3} t^3 \quad (1.21)$$

## CHƯƠNG 5: THI CÔNG MÔ HÌNH

### 5.1. Thi công lắp ráp robot

#### 5.1.1 Linh kiện cơ khí



Hình 8 Ốc, vít



Hình 9 Trụ đồng đực, cái



Hình 10 Mica

#### 5.1.2 Linh kiện truyền động

- Pully GT2:



Hình 11 Puly GT2 16 răng

- Số răng: 16 răng
- Bề rộng đai: 6mm
- Bước răng 2mm
- Chất liệu: nhôm
- Trọng lượng: 3g



Hình 12 Puly 20 răng

- Số răng: 20 răng
- Đường kính trục: 6mm.
- Đường kính bánh răng: 12mm
- Bước răng 2mm
- Chất liệu: nhôm
- Trọng lượng: 3g
- Chiều cao: 16mm



Hình 13 Puly GT2 60 răng

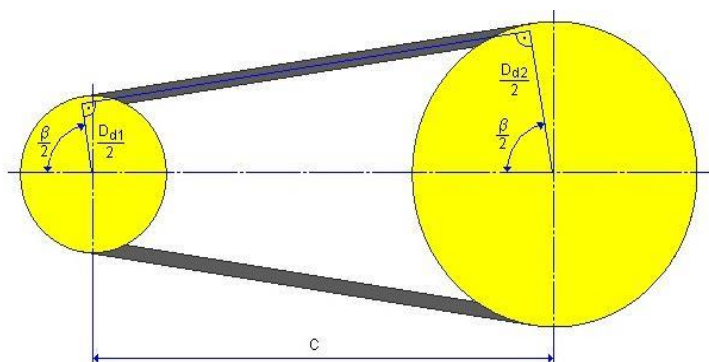
- Số răng: 60 răng
- Đường kính trục: 6mm
- Đường kính bánh răng: 37.76mm
- Bước ren: 2mm
- Chiều cao: 16.2mm



Hình 14 Puly 80 răng

- Số răng: 80 răng
- Bề rộng đai: 6mm
- Đường kính ngoài: 54mm
- Đường kính bánh răng: 50.5mm
- Bước ren: 2mm
- Chiều cao: 20mm
- Chất liệu: nhôm

- Dây Curoa



Hình 15 Mô hình dây đai quanh 2 Puly

Ta có công thức lựa chọn dây curoa là:

$$L = 2a + \frac{\pi(d_2 + d_1)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}$$

Với:

L: là chiều dài dây Curoa

a: là khoảng cách 2 tâm của Pully

d1: đường kính của Pully 1

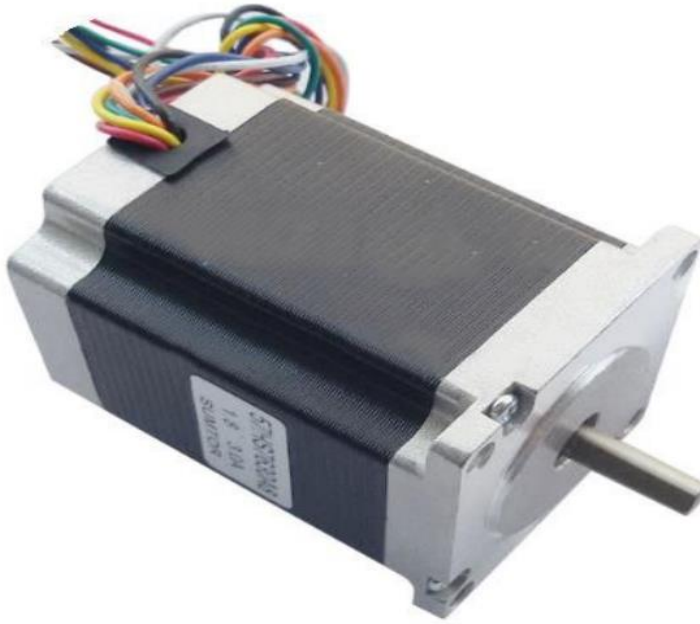
d2: đường kính của Pully 2

Từ đó tính được độ dài dây curoa cần sử dụng là 303mm ở đế và 407.36mm ở link 1,2



Hình 16 Dây Curoa

### 5.1.3 Linh kiện điều khiển



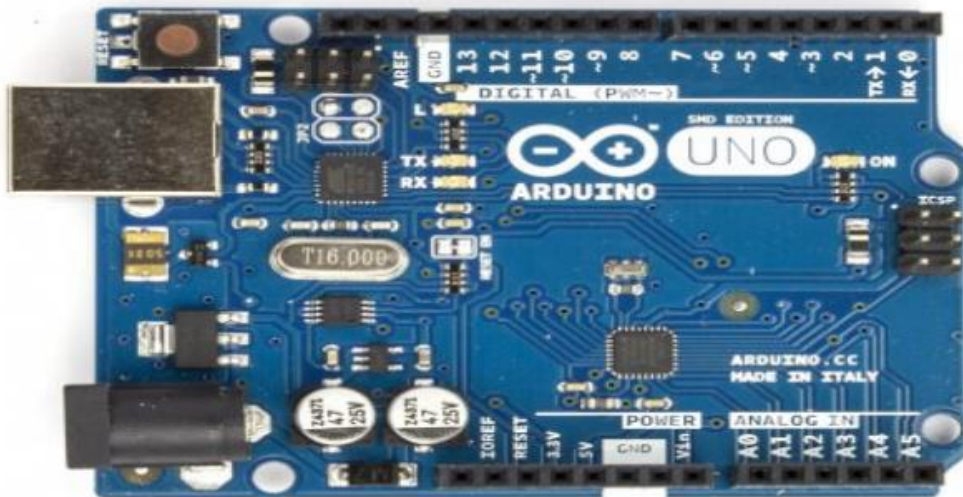
Hình 17 Động cơ bước Step motor 42x42x48 (nema 17)

**Thông số kỹ thuật: Động cơ bước 2 pha-6 dây.**

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Kích thước mặt bích	42*42	mm
Chiều dài thân	42	mm
Dòng hoạt động	2.0	A
Áp hoạt động	24	V
Trục (Côn)	6.35	mm

Bảng 5.1 Thông số kỹ thuật của động cơ bước NEMA 17



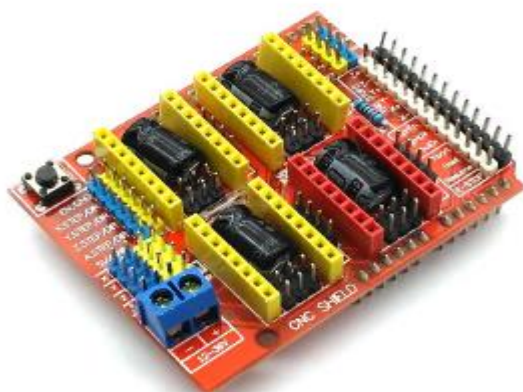


Hình 18 Arduino Uno

**Thông số kỹ thuật:**

Bảng 5.2 Thông số kỹ thuật của Arduino Uno

Vi điều khiển	ATmega328P
Điện áp hoạt động	5V
Điện áp vào khuyến dùng	7-12V
Điện áp vào giới hạn	6-20V
Digital I/O pin	14 (trong đó 6 pin có khả năng băm xung)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
Cường độ dòng điện trên mỗi I/O pin	20 mA
	50 mA
Cường độ dòng điện trên mỗi 3.3V pin Flash Memory	32 KB (ATmega328P) 0.5 KB được sử dụng bởi bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Tốc độ	16 MHz
Chiều dài	68.6 mm
Chiều rộng	53.4 mm
Trọng lượng	25 g



Hình 19 Shield CNC V3

Thông số kỹ thuật:

Hỗ trợ firmware GRBL

Điều khiển tối đa 4 động cơ bước

Tương thích driver: A4988 hoặc DRV8825

Thêm jumper để điều khiển full step, haft step, 1/4, 1/8, 1/16

Công tắc hành trình các trục X, Y, Z, E

Điều khiển đầu khắc CNC, đầu khắc laser

Điều khiển quạt tản nhiệt

Nguồn cấp: 12-36V (nguồn độc lập với với Arduino Uno)

Kích thước: 70 x 55mm



Hình 20 Module điều khiển động cơ A4988

Thông số kỹ thuật:

Công suất ngõ ra lên tới 35V, dòng định 2A.

Có 5 chế độ: Full bước, 1/2 bước, 1/4 bước, 1/8 bước, 1/16 bước

Điều chỉnh dòng ra bằng triết áp, nằm bên trên  $\text{Current Limit} = V_{\text{REF}} \times 2.5$

Tự động ngắt điện khi quá nhiệt.

Nhóm sử dụng 3 Module điều khiển động cơ A4988 để điều khiển 3 động cơ bước Nema17 và module này phù hợp để gắn vào shield cnc mà em đã chọn.

Các tính năng của module này:

Thích hợp để điều khiển động cơ bước dưới 8V ~ 35V 2A.

Nhiều chế độ bước khác nhau: full, half, 1/4, 1/8 và 1/16.

Có thể điều chỉnh đầu ra dòng điện tối đa, giúp động cơ tăng công suất.

Chế độ bảo vệ sẽ tự động ngắt điện khi quá nóng.  
Nhỏ gọn, giao tiếp và điều khiển đơn giản với Arduino.



Hình 21 Công tắc hành trình V155

**Thông số kỹ thuật:**

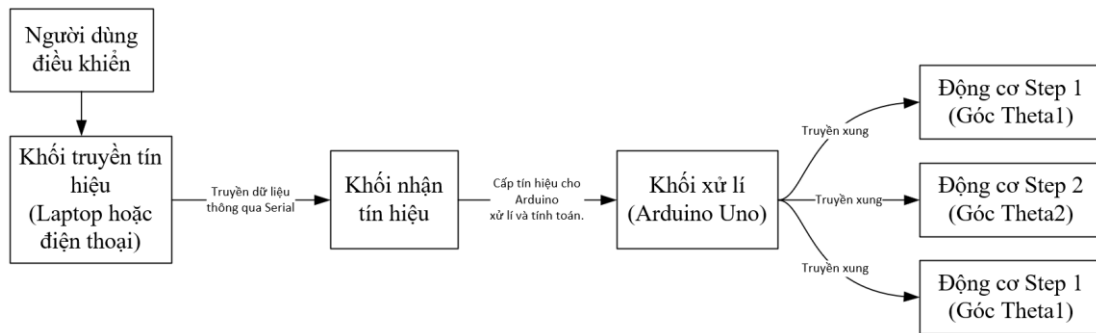
- Dòng điện tối đa: 15A
- Công suất AC: 15A / 125 - 250VAC
- Công suất DC: 0.6A/125VDC - 0.3A/250VDC
- Tuổi thọ: > 1 triệu lần nhấn



Hình 22 Adapter cấp nguồn

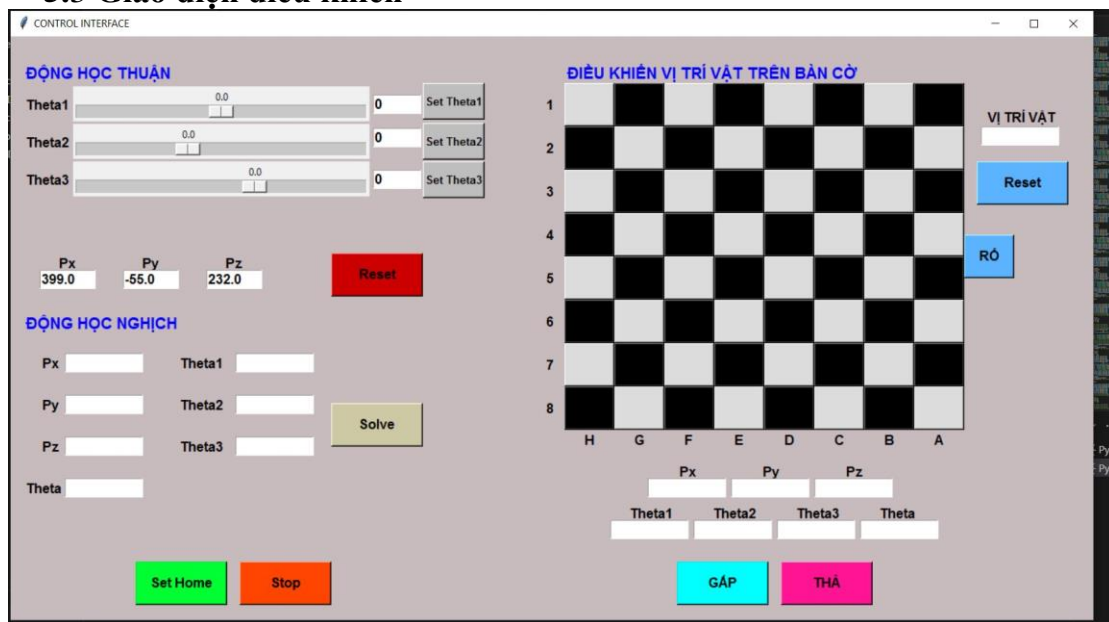
## 5.2. Sơ đồ khối

Hệ thống điều khiển cánh tay robot 3 bậc tự do được tổ chức thành ba khối chức năng chính. Khối giao diện cho phép tương tác và đặt các thông số, gửi dữ liệu thông qua giao tiếp serial. Khối vi điều khiển nhận và xử lý dữ liệu từ khối giao diện, tính toán góc cần thiết cho từng bậc tự do. Khối điều khiển động cơ tạo ra xung để điều khiển động cơ step thông qua mạch Arduino CNC Shield V3. Qua quy trình này, hệ thống có khả năng nhận lệnh, xử lý dữ liệu và điều khiển động cơ để thực hiện chuyển động mong muốn của cánh tay robot.



Hình 23 Sơ đồ khối điều khiển

### 5.3 Giao diện điều khiển



Hình 24 Giao diện điều khiển robot

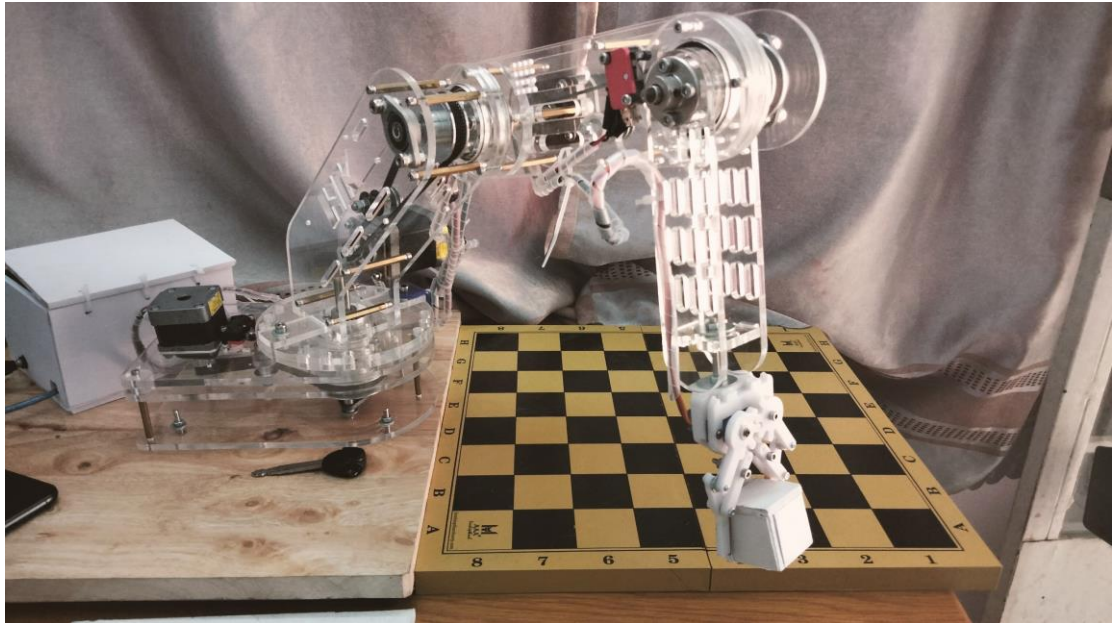
## Chương 6. Kết quả và nhận xét

### 6.1. Kết quả đạt được

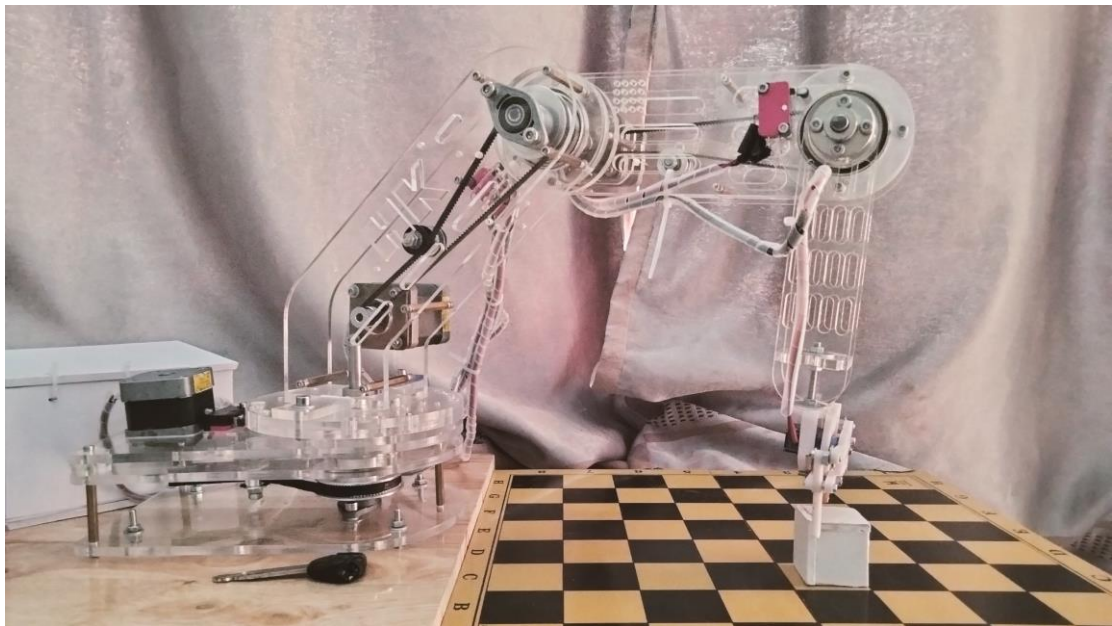
Tính toán thiết kế được mô hình robot trên Solidwork.

Thiết kế hoàn thiện mô hình thực tế.

Tính toán được động học robot.

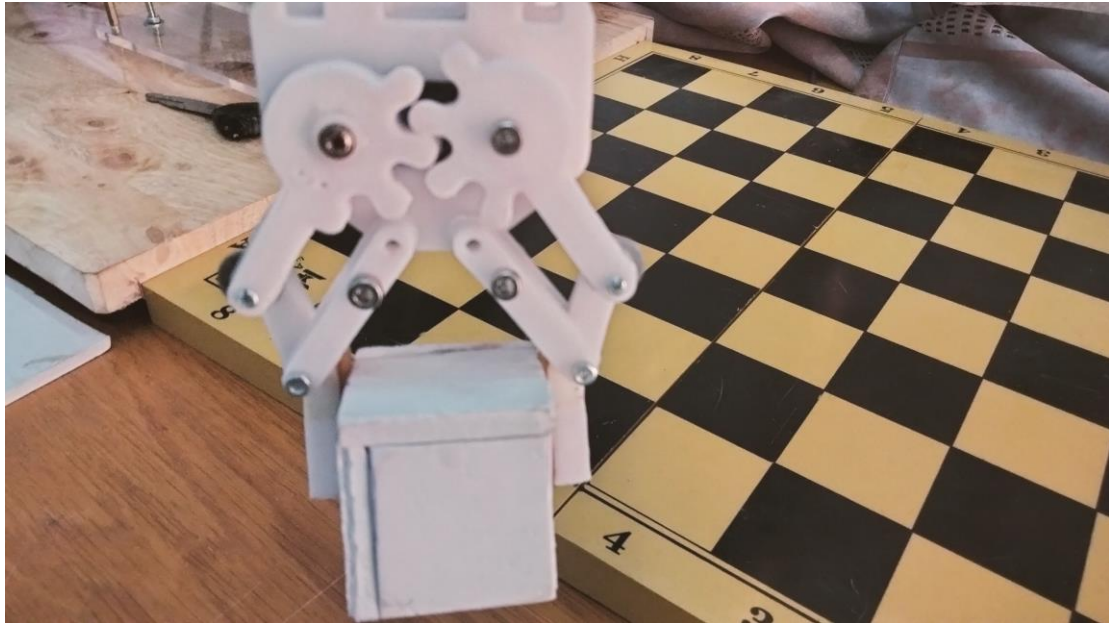


Hình 25 Mô hình hoàn chỉnh robot thực tế

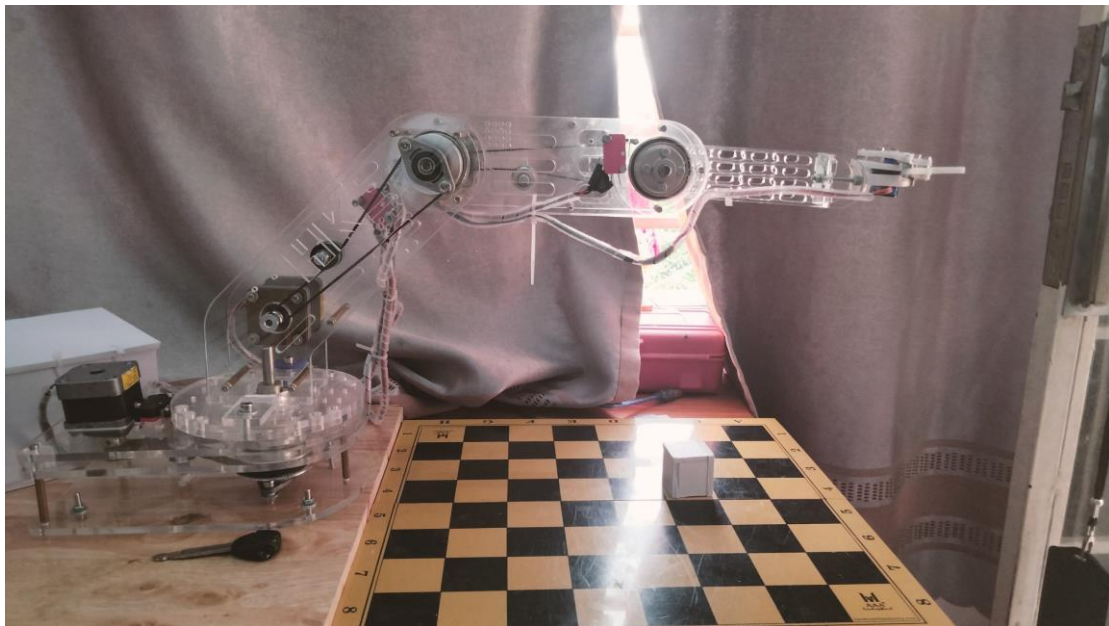


Hình 26 Robot gấp vật





Hình 27 Tay gấp robot



Hình 28 Robot ở vị trí sethome

## 6.2. Nhận xét

Kết quả chạy thực tế khá giống so với việc chạy mô phỏng. Tuy nhiên hoạt động cánh tay chưa hoàn toàn chính xác, vẫn gặp tình trạng đáp ứng chậm hơn so với tín hiệu điều khiển, sai số nhỏ trong quá trình hoạt động.

## 6.3 Kết luận và hướng phát triển

### 6.3.1 Kết luận

Trong quá trình thực hiện tìm hiểu và nghiên cứu, nhóm đã được một số kết quả:

- Tìm hiểu về lý thuyết Robot và lựa chọn được mô hình Robot 3DOF
- Tính toán động học thuận động học nghịch của Robot.

- Thiết kế và thi công được mô hình Robot 3 DOF.
- Robot hoạt động đúng như yêu cầu điều khiển.
- Quy hoạch Robot chuyển động theo quỹ đạo

#### **6.3.2 Hạn chế**

- Mô hình thiết kế chưa được tối ưu về chi phí.
- Không gian làm việc của robot bị hạn chế.
- Mô hình chưa có tính ứng dụng cao, chưa có mục đích cụ thể.
- Đáp ứng tính hiệu điều khiển còn chậm.
- Robot chuyển động theo quỹ đạo có độ chính xác chưa cao.
- Robot chưa có tính thẩm mỹ cao.

#### **6.3.3 Hướng phát triển**

- Thiết kế Robot bằng in 3D tăng tính thẩm mỹ.
- Tăng số bậc tự do để Robot hoạt động được linh hoạt hơn.
- Thiết kế quỹ đạo chuyển động cho Robot.
- Thiết kế bộ phận công tác cho Robot.