

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI  
.....o0o.....



## BÁO CÁO MÔN KỸ THUẬT ROBOT

**Đề tài: ROBOT MPL800 II**

**Giảng viên hướng dẫn: PGS. TS. Nguyễn Phạm Thục Anh**

**Sinh viên thực hiện:**

Họ và tên

MSSV

Trịnh Minh Nhật

20170144

Nguyễn Đình Minh

20170031

Nguyễn Xuân Khải

20173970

Phạm Nguyễn Minh Đức

20173038

Hà Nội 2020

# LỜI NÓI ĐẦU

Ngày nay công nghiệp hóa hiện đại hóa phát triển ngày một mạnh mẽ, dần dần lao động chân tay sẽ được thay thế bằng tự động hóa. Và robot là một lực lượng sinh ra để giảm lao động cho con người, nó càng ngày càng đóng vai trò quan trọng trong công nghiệp và đời sống. Vì vậy, chúng em làm bài tập lớn này nhằm đáp ứng nhu cầu phát triển này.

Ở trong bài tập lớn này chúng em xin trình bày tìm hiểu của mình về Robot MPL800II do hãng Yaskawa sản xuất. Tuy vậy, trong lúc tìm hiểu chúng em không tránh khỏi những thiếu sót, kính mong cô bổ sung và sửa chữa để bài tập lớn của chúng em thêm hoàn thiện hơn.

Cuối cùng, chúng em xin cảm ơn cô Nguyễn Phạm Thục Anh đã tận tình giảng dạy, giúp đỡ bọn em khi thực hiện bài tập lớn này ạ.

**Nhóm sinh viên thực hiện : KSTN – ĐKTĐ K62**

**Trịnh Minh Nhật – 20170144**

**Nguyễn Đình Minh – 20170031**

**Nguyễn Xuân Khải – 20173970**

**Phạm Nguyễn Minh Đức – 20173038**

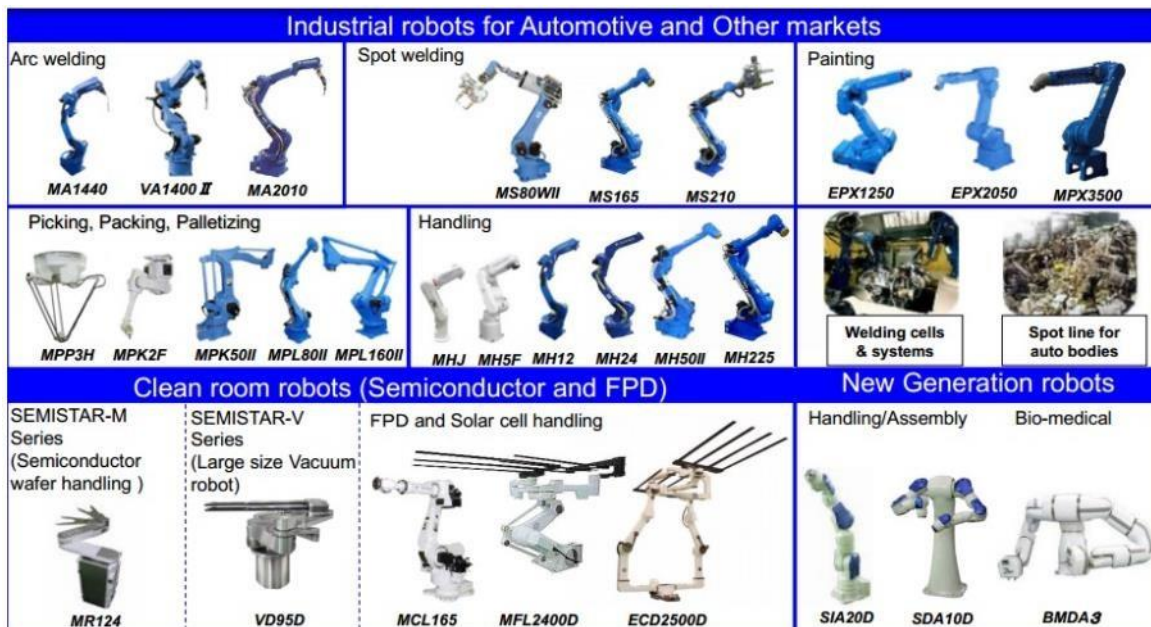
# MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	1
MỤC LỤC	2
CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU ROBOT MPL800 II	3
1.1 Giới thiệu	3
1.2 Ứng dụng của Robot MPL800 II trong công nghiệp	5
1.3 Kết cấu cơ khí	6
1.4 Thông số kỹ thuật	8
CHƯƠNG 2 : ĐỘNG HỌC THUẬN CỦA ROBOT MPL800 II	9
2.1 Tính toán công thức	9
2.2 Giao diện tính toán động học thuận trên MATLAB	13
CHƯƠNG 3 : MA TRẬN JACOBY	14
3.1 Tính toán công thức	14
3.2 Giao diện tính toán ma trận Jacoby trên MATLAB	16
CHƯƠNG 4 : ĐỘNG HỌC ĐẢO CỦA ROBOT MPL800II	17
CHƯƠNG 5: THIẾT KẾ QUỸ ĐẠO BẬC 3 CHO CÁC KHỚP ROBOT	21
5.1 Tính toán quỹ đạo của khớp quay 1	22
5.2 Tính toán quỹ đạo của khớp quay 2	23
5.3 Tính toán quỹ đạo của khớp quay 3	25
5.4 Tính toán quỹ đạo của khớp quay 4	27
CHƯƠNG 6: XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CHO ROBOT MPL800II	30
6.1 Xây dựng công thức:	30
6.2 Xây dựng phương trình động lực học cho Robot MPL800II:	32
6.3 Mô hình 3D mô phỏng Robot MPL800II	40
6.4 Mô hình Simmechanics/Matlab:	43
KẾT LUẬN	47
TÀI LIỆU THAM KHẢO	48

# CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU ROBOT MPL800 II

## 1.1 Giới thiệu

Robot MPL800 II được sản xuất bởi hãng Robot nổi tiếng Yaskawa. Yaskawa là tập đoàn hàng đầu thế giới trong sản xuất và cung cấp các sản phẩm trong lĩnh vực robot công nghiệp, biến tần, truyền động điện... Trong lĩnh vực robot công nghiệp, hãng đã sản xuất tất cả các loại robot như: robot gắp (Handling), robot nâng bốc, đóng gói (Picking/packing, palletizing) Robot hàn, hàn điểm (Arc handling, spot welding), Robot sơn (Painting), Robot lắp ráp (Assembly/distributing)...



Hình 1.1.1 Một số loại Robot của hãng Yaskawa.

Robot công nghiệp MPL800 II là loại robot có tốc độ cao, tính linh hoạt và hiệu suất làm việc lớn, đảm bảo độ tin cậy chính xác.



Hình 1.1.2 Robot MPL800 II.

Robot MPL800 II có các đặc điểm chính là:

- Số bậc tự do: 4 bậc.
- Có cơ cấu, khung thiết kế vững chắc, có khả năng mang các tải từ 80kg đến 800kg ở tốc độ cao. Những robot này cho phép đạt được cân bằng quán tính cao nhất cho ứng dụng bốc xếp hàng.
- Chiều ngang 3.1 m và chiều dọc 3 m cùng khả năng xoay 360 độ, cho phép chúng có thể tích hợp làm việc cùng lúc với nhiều băng tải và các vị trí xếp pallet khác nhau.
- Ống dẫn khí nén và cáp điều khiển các trục cũng như cáp tín hiệu fieldbus được tích hợp đi ngầm bên trong tay máy, thiết kế này giúp nâng cao sự an toàn và duy trì sự bền bỉ, giảm thiểu tối đa khả năng va chạm với các thiết bị ngoại vi.
- Robot MPL tương thích với bộ điều khiển DX200 hoặc nền tảng MLX200 tích hợp PLC.

## 1.2 Ứng dụng của Robot MPL800 II trong công nghiệp

Đây là loại robot phù hợp với các ứng dụng về đóng gói (điều khiển dỡ và đóng gói vào khay, hộp, thùng carton, túi, ...).

Các hoạt chất bôi trơn ở trong hộp số robot dòng MPL được chứng nhận tiêu chuẩn an toàn NSF-H1. Đây là tiêu chuẩn đặc biệt quan trọng trong ngành thực phẩm và đồ uống. Do vậy Robot MPL có thể áp dụng rộng rãi trong nhiều ngành công nghiệp như: thực phẩm và nước giải khát, nhà kho và các sản phẩm công nghiệp khác.



Hình 1.2.1 Ứng dụng của Robot MPL800 II trong công nghiệp.

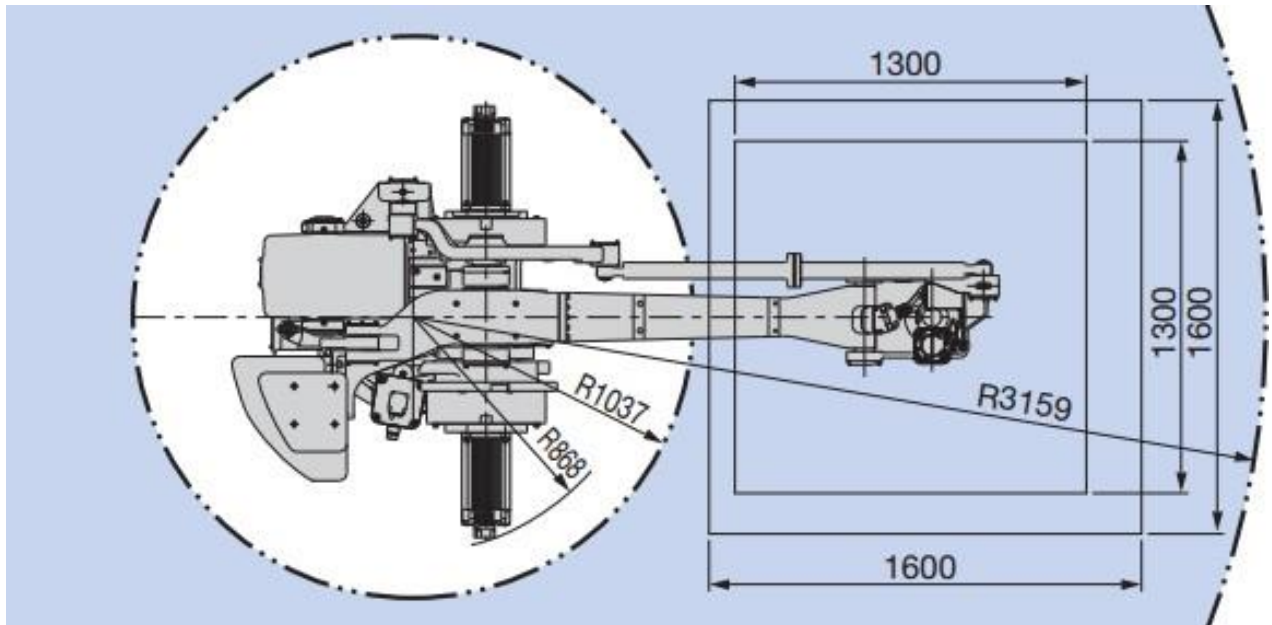
Tuy nhiên thì robot MPL là dòng robot chuyên dụng, thích hợp và được ưu tiên dùng



cho các ứng dụng nâng bốc, di chuyển hàng có khối lượng lớn lên đến 800kg, sử dụng trong rất nhiều ngành như : nước giải khát, thực phẩm, gạch, xi măng, ... do các đặc điểm chuyên dụng của robot MPL800II.

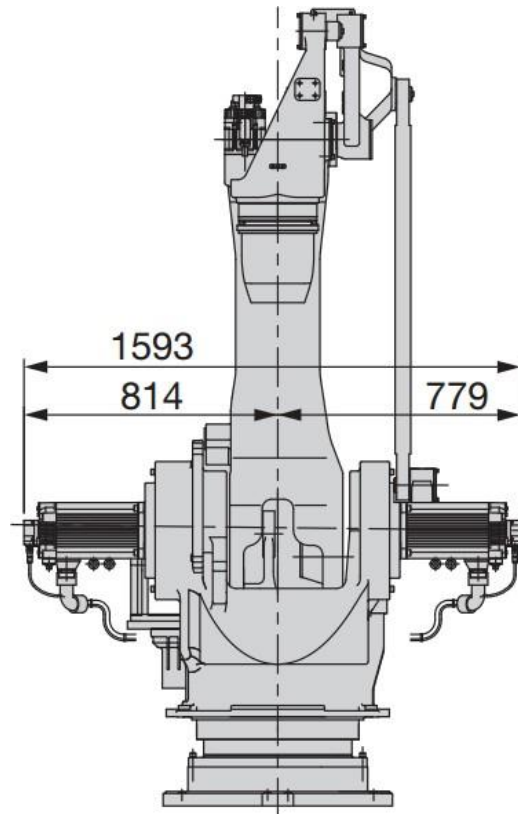
### 1.3 Kết cấu cơ khí

Kết cấu cơ khí của robot thể hiện như trong hình vẽ:



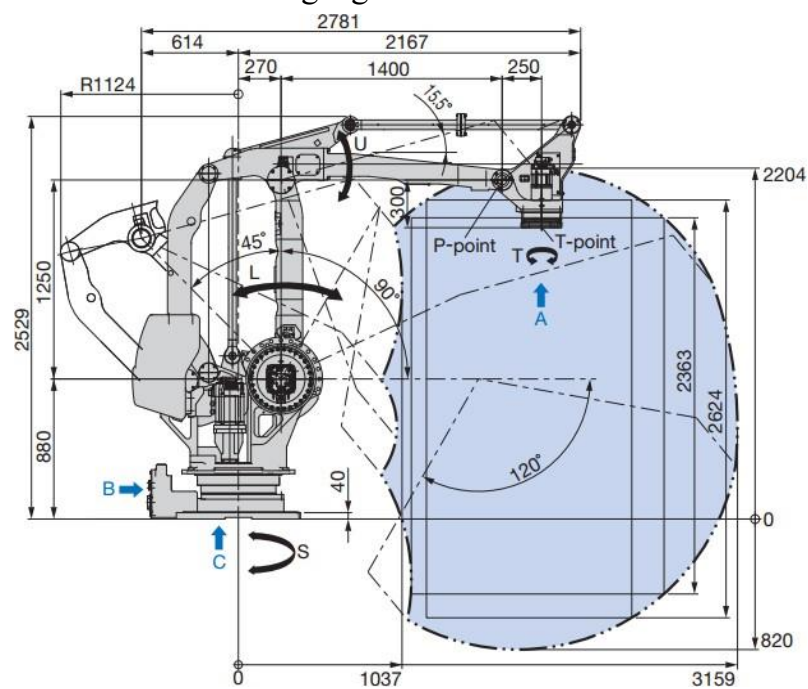
Hình 1.3.1 Robot MPL800 II khi nhìn từ trên xuống.

Kết cấu cơ khí của Robot MPL800 II nhìn từ đằng sau:



Hình 1.3.2 Robot MPL800 II khi nhìn từ đằng sau.

Kết cấu cơ khí của robot khi nhìn ngang:



Hình 1.3.3 Robot MPL800 II khi nhìn ngang.



## 1.4 Thông số kỹ thuật

Các thông số kỹ thuật chính của Robot MPL800 II được trình bày trong bảng sau:

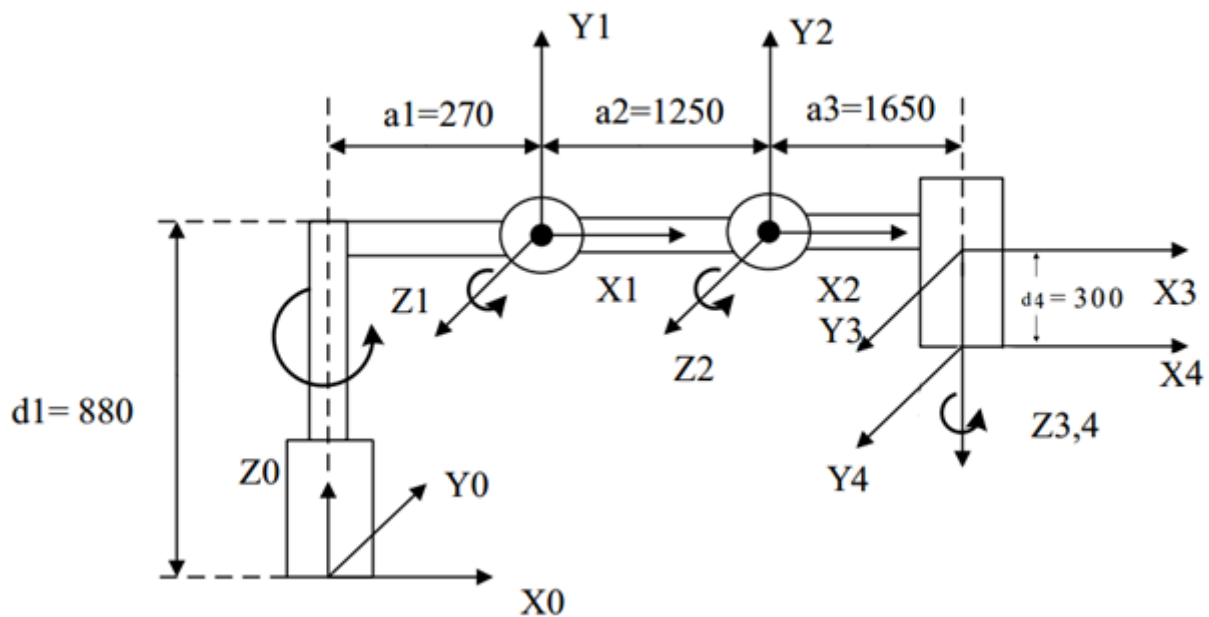
Mẫu		MOTOMAN-MPL800 II
Kiểu		YR-MPL0800-J00
Trục điều khiển		4 khớp nối theo chiều dọc
Tải trọng nâng		800kg
Khả năng lặp lại		$\pm 0.5\text{mm}$
Phạm vi chuyển động	Trục S – quay	$-180^\circ - +180^\circ$
	Trục L – cánh tay dưới	$-45^\circ - +90^\circ$
	Trục U – cánh tay trên	$-120^\circ - +15.5^\circ$
	Trục T – cổ tay	$-360^\circ - +360^\circ$
Tốc độ tối đa	Trục S – quay	1.13 rad/s, $65^\circ/\text{s}$
	Trục L – cánh tay dưới	1.13 rad/s, $65^\circ/\text{s}$
	Trục U – cánh tay trên	1.13 rad/s, $65^\circ/\text{s}$
	Trục T – cổ tay	2.18 rad/s, $125^\circ/\text{s}$
Quán tính cho phép	Trục T – cổ tay	$500\text{kg}\cdot\text{m}^2$
Khối lượng		2550kg
Điều kiện môi trường	Nhiệt độ	$0^\circ\text{C}$ đến $+45^\circ\text{C}$
	Độ ẩm	20 - 80% RH (không ngưng tụ)
	Độ rung	$4.9\text{m/s}^2$ hoặc ít hơn
	Khác	Không có khí hoặc chất lỏng ăn mòn, hoặc các khí gây nổ
		Không có nước, dầu hoặc bụi
		Không có nhiễu điện quá mức (plasma)
Yêu cầu nguồn		8kVA

## CHƯƠNG 2 : ĐỘNG HỌC THUẬN CỦA ROBOT MPL800 II

### 2.1 Tính toán công thức

Giả sử tại vị trí ban đầu, các khớp và trục quay ở vị trí như hình 2.1 phía dưới :

Đơn vị : mm



Hình 2.1.1 Mô hình Robot MPL800II

Như vậy, ta có bảng Denavit – Hartenberg :[1-3]

$i$	$a_i$	$\alpha_i$	$\theta_i$	$d_i$
1	270	$90^\circ$	$\theta_1$	880
2	1250	$0^\circ$	$\theta_2$	0
3	1650	$90^\circ$	$\theta_3$	0
4	0	$0^\circ$	$\theta_4$	300

Bảng 2.1.1 : Bảng Denavit – Hartenberg

Trong đó :

$a$  : khoảng cách giữa 2 khớp liên tiếp theo phương  $x_i$

$\alpha$  : góc quay quanh trục  $x_i$  giữa  $z_{i-1}$  và  $z_i$

$\theta$  : góc quay quanh trục  $z_{i-1}$  giữa  $x_{i-1}$  và  $x_i$

$d$  : khoảng cách giữa 2 khớp liên tiếp theo phương  $z_{i-1}$

Tính toán các ma trận :

$$\begin{aligned}
 T_1^0 &= Rot(\theta_1).Tran_z(d_1).Tran_z(a_1).Rot_x(\alpha_1) \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_1) & -\sin(\alpha_1) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & \sin(\theta_1) & a_1 \cdot \cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) & 0 & -\cos(\theta_1) & a_1 \cdot \sin(\theta_1) \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_2^1 &= Rot_z(\theta_2).Tran_x(a_2) \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & a_2 \cdot \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & a_2 \cdot \sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_3^2 &= Rot_z(\theta_3).Tran_x(a_3).Rot_x(\alpha_3) \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_3) & -\sin(\alpha_3) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & 0 & \sin(\theta_3) & a_3 \cdot \cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & 0 & -\cos(\theta_3) & a_3 \cdot \sin(\theta_3) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$T_4^3 = Rot_z(\theta_4)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos(\theta_4) & -\sin(\theta_4) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_4) & \cos(\theta_4) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Suy ra :

$$T_4^0 = T_1^0.T_2^1.T_3^2.T_4^3$$

$$= \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & \sin(\theta_1) & a_1.\cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) & 0 & -\cos(\theta_1) & a_1.\sin(\theta_1) \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & a_2.\cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & a_2.\sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & 0 & \sin(\theta_3) & a_3.\cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & 0 & -\cos(\theta_3) & a_3.\sin(\theta_3) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos(\theta_4) & -\sin(\theta_4) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_4) & \cos(\theta_4) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Trong đó :

$$n_x = \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_4) \cdot \cos(\theta_{23}) + \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_4)$$

$$n_y = \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_{23}) \cdot \cos(\theta_4) - \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_4)$$

$$n_z = \sin(\theta_{23}) \cdot \cos(\theta_4)$$

$$o_x = -\cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_{23}) \cdot \sin(\theta_4) + \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_4)$$

$$o_y = -\sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_{23}) \cdot \sin(\theta_4) - \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_4)$$

$$o_z = -\sin(\theta_{23}) \cdot \sin(\theta_4)$$

$$a_x = \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_{23})$$

$$a_y = \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_{23})$$

$$a_z = -\cos(\theta_{23})$$

$$p_x = a_3 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_{23}) + a_2 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) + a_1 \cdot \cos(\theta_1) + d_4 c_1 s_{23}$$

$$p_y = a_3 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_{23}) + a_2 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) + a_1 \cdot \sin(\theta_1) + d_4 s_1 s_{23}$$

$$p_z = a_3 \cdot \sin(\theta_{23}) + d_1 + a_2 \cdot \sin(\theta_2) - d_4 c_{23}$$

Chú thích viết tắt :

$$\theta_{23} = \theta_2 + \theta_3$$

$$\cos(\theta_{23}) = \cos(\theta_2 + \theta_3)$$

$$\sin(\theta_{23}) = \sin(\theta_2 + \theta_3)$$

## 2.2 Giao diện tính toán động học thuận trên MATLAB

**TÍNH TOÁN ĐỘNG HỌC THUẬN ROBOT**

**Kết quả :**

Nhập phi1 : 10	0.82543	-0.27605	0.4924	2977.6231
Nhập phi2 : 20	-0.36217	-0.92806	0.086824	525.0353
Nhập phi3 : 10	0.43301	-0.25	-0.86603	1872.7176
Nhập phi4 : 30	0	0	0	1

Tính toán      Đóng

Hình 2.2.1 Giao diện lập trình trên MATLAB tính toán động học thuận



## CHƯƠNG 3 : MA TRẬN JACOBY

### 3.1 Tính toán công thức

Từ phần này, do công thức khá dài nên chúng em xin phép viết tắt như sau để tiện theo dõi công thức :

$$s_1 \Leftrightarrow \sin(\theta_1), c_1 \Leftrightarrow \cos(\theta_1)$$

$$s_{12} \Leftrightarrow \sin(\theta_{12}) \Leftrightarrow \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

$$c_{12} \Leftrightarrow \cos(\theta_{12}) \Leftrightarrow \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

Tương tự đối với  $\cos(\theta_2), \cos(\theta_3), \cos(\theta_4), \dots, \cos(\theta_2 + \theta_3), \dots$

Tìm các ma trận  $T_4^0, T_3^0, T_2^0, T_1^0$

Ta tính như sau:

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & S_1 & a_1 C_1 \\ S_1 & 0 & -C_1 & a_1 S_1 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ suy ra } R_1^0 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & S_1 \\ S_1 & 0 & -C_1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$T_2^0 = \begin{bmatrix} C_1 C_2 & -C_1 S_2 & S_1 & a_2 C_1 C_2 + a_1 C_1 \\ S_1 C_2 & -S_1 S_2 & -C_1 & a_2 S_1 C_2 + a_1 S_1 \\ S_2 & C_2 & 0 & a_2 S_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ suy ra } R_2^0 = \begin{bmatrix} C_1 C_2 & -C_1 S_2 & S_1 \\ S_1 C_2 & -S_1 S_2 & -C_1 \\ S_2 & C_2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$T_3^0 = \begin{bmatrix} C_1 C_{23} & S_1 & C_1 S_{23} & C_1(a_3 C_{23} + a_2 C_2 + a_1) \\ S_1 C_{23} & -C_1 & S_1 S_{23} & S_1(a_3 C_{23} + a_2 C_2 + a_1) \\ S_{23} & 0 & -C_{23} & a_3 S_{23} + a_2 S_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{suy ra } R_3^0 = \begin{bmatrix} C_1 C_{23} & S_1 & C_1 S_{23} \\ S_1 C_{23} & -C_1 & S_1 S_{23} \\ S_{23} & 0 & -C_{23} \end{bmatrix}$$

$$T_4^0 = \begin{bmatrix} C_1 C_{23} C_4 + S_1 S_4 & -C_1 C_{23} S_4 + S_1 C_4 & C_1 S_{23} & C_1(a_3 C_{23} + a_2 C_2 + a_1) \\ S_1 C_{23} C_4 - C_1 S_4 & -S_1 C_{23} S_4 - C_1 S_4 & S_1 S_{23} & S_1(a_3 C_{23} + a_2 C_2 + a_1) \\ S_{23} C_4 & -S_{23} S_4 & -C_{23} & a_3 S_{23} + a_2 S_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Để tính ma trận Jacobi ta sử dụng bảng ảnh hưởng của dịch chuyển các khớp đến tọa độ tay robot như bảng sau:

	Khớp tịnh tiến	Khớp quay
Tác động lên $dx, dy, dz$	$R_{i-1}^0 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$	$R_{i-1}^0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times (d_n^0 - d_{i-1}^0)$
Tác động lên $\delta x, \delta y, \delta z$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$R_{i-1}^0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$

và từ bảng đó, áp dụng vào bài toán của chúng ta, ta sẽ tính được ma trận Jacobi:

$$J = \begin{bmatrix} R_0^0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times (d_4^0 - d_0^0) & R_1^0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times (d_4^0 - d_1^0) & R_2^0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times (d_4^0 - d_2^0) & R_3^0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times (d_4^0 - d_3^0) \\ R_0^0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} & R_1^0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} & R_2^0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} & R_3^0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Với các ma trận  $R_1^0, R_2^0, R_3^0, R_4^0$  đã tính được ở trên, ta có thể dễ dàng tính được ma trận Jacobi J:

$$J = \begin{bmatrix} -S_1(a_3C_{23} + a_2C_2 + a_1) & C_1(-a_3S_{23} - a_2C_2) & -C_1a_3S_{23} & 0 \\ C_1(a_3C_{23} + a_2C_2 + a_1C_1) & S_1(-a_3S_{23} - a_2S_2) & -S_1a_3S_{23} & 0 \\ 0 & a_3C_{23} + a_2C_2 & a_3C_{23} & 0 \\ 0 & S_1 & S_1 & C_1S_{23} \\ 0 & -C_1 & -C_1 & S_1S_{23} \\ 1 & 0 & 0 & -C_{23} \end{bmatrix}$$

Thay số  $a_1 = 270, a_2 = 1250, a_3 = 1650$  ta được:

$$J = \begin{bmatrix} -S_1(1650C_{23} + 1250C_2 + 270) & C_1(-1650S_{23} - 1250C_2) & -1650C_1S_{23} & 0 \\ C_1(1650C_{23} + 1250C_2 + 270) & S_1(-1650S_{23} - 1250S_2) & -1650S_1S_{23} & 0 \\ 0 & 1650C_{23} + 1250C_2 & 1650C_{23} & 0 \\ 0 & S_1 & S_1 & C_1S_{23} \\ 0 & -C_1 & -C_1 & S_1S_{23} \\ 1 & 0 & 0 & -C_{23} \end{bmatrix}$$

### 3.2 Giao diện tính toán ma trận Jacoby trên MATLAB

The screenshot shows the 'jacobimatrix' GUI with the following data:

Input	Value
Nhap theta1	15
Nhap theta2	10
Nhap theta3	20
Nhap theta4	30

Row	Col 1	Col 2	Col 3	Col 4
1	-758.327	-1985.95	-796.889	0
2	2830.12	-269.705	-213.526	0
3	0	2659.95	1428.94	0
4	0	0.258819	0.258819	0.482963
5	0	-0.965926	-0.965926	0.12941
6	1	0	0	-0.866025

Hình 3.2.1 Giao diện tính toán ma trận Jacoby trên MATLAB

## CHƯƠNG 4 : ĐỘNG HỌC ĐẢO CỦA ROBOT MPL800II

$$T_4^0 = T_1^0 \cdot T_2^1 \cdot T_3^2 \cdot T_4^3 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (0.1)$$

Với:

$$\begin{aligned} n_x &= \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_4) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_4) \\ o_x &= -\cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) \cdot \sin(\theta_4) + \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_4) \\ a_x &= \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) \\ p_x &= a_3 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) + a_1 \cdot \cos(\theta_1) \\ n_y &= \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) \cdot \cos(\theta_4) - \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_4) \\ o_y &= -\sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) \cdot \sin(\theta_4) - \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_4) \\ a_y &= \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) \\ p_y &= a_3 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) + a_1 \cdot \sin(\theta_1) \\ n_z &= \sin(\theta_2 + \theta_3) \cdot \cos(\theta_4) \\ o_z &= -\sin(\theta_2 + \theta_3) \cdot \sin(\theta_4) \\ a_z &= -\cos(\theta_2 + \theta_3) \\ p_z &= a_3 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) + d_1 + a_2 \cdot \sin(\theta_2) \end{aligned}$$

Áp dụng phương pháp phân ly biến:

$$VT = (T_1^0)^{-1} T_4^0 = T_1^0 \cdot T_2^1 \cdot T_3^2 \cdot T_4^3 = VP \quad (0.2)$$

Ta có:

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & \sin(\theta_1) & a_1 \cdot \cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) & 0 & -\cos(\theta_1) & a_1 \cdot \sin(\theta_1) \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (0.3)$$

Suy ra:

$$(T_1^0)^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & \sin(\theta_1) & 0 & -a_1 \\ 0 & 0 & 1 & -d_1 \\ \sin(\theta_1) & -\cos(\theta_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (0.4)$$

$$VT_1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1).n_x + \sin(\theta_1).n_y & \cos(\theta_1).o_x + \sin(\theta_1).o_y & \cos(\theta_1).a_x + \sin(\theta_1).a_y & \cos(\theta_1).p_x + \sin(\theta_1).p_y - a_1 \\ \sin(\theta_1).n_x - \cos(\theta_1).n_y & \sin(\theta_1).o_x - \cos(\theta_1).o_y & \sin(\theta_1).a_x - \cos(\theta_1).a_y & \sin(\theta_1).p_x - \cos(\theta_1).p_y \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (0.5)$$

$$VP_1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2 + \theta_3). \cos(\theta_4) & -\cos(\theta_2 + \theta_3). \sin(\theta_4) & \sin(\theta_2 + \theta_3) & a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2 + \theta_3). \cos(\theta_4) & -\sin(\theta_2 + \theta_3). \sin(\theta_4) & -\cos(\theta_2 + \theta_3) & a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \sin(\theta_2) \\ \sin(\theta_4) & \cos(\theta_4) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (0.6)$$

Cân bằng 2 vế ta có các phương trình sau:

$$\sin(\theta_1).p_x - \cos(\theta_1).p_y = 0 \quad (0.7)$$

Suy ra:

$$\theta_1 = \text{ATAN2}(p_y, p_x)$$

$$\theta_1 = \text{ATAN2}(-p_y, -p_x)$$

$$\begin{cases} \sin(\theta_4) = \sin(\theta_1).n_x - \cos(\theta_1).n_y \\ \cos(\theta_4) = \sin(\theta_1).o_x - \cos(\theta_1).o_y \end{cases} \quad (0.8)$$

Suy ra:

$$\theta_4 = \text{ATAN2}(\sin(\theta_1).n_x - \cos(\theta_1), \sin(\theta_1).o_x - \cos(\theta_1).o_y)$$

$$\begin{cases} \cos(\theta_1).p_x + \sin(\theta_1).p_y - a_1 = a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos(\theta_2) \\ p_z - d_1 = a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \sin(\theta_2) \end{cases} \quad (0.9)$$

Đặt:

$$\begin{cases} m = a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos(\theta_2) \\ n = a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \sin(\theta_2) \end{cases}$$

Bình phương cả 2 vế ta được:

$$\begin{cases} m^2 = (a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3))^2 + 2.a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3).a_2 \cos(\theta_2) + (a_2 \cos(\theta_2))^2 \\ n^2 = (a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3))^2 + 2.a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3).a_2 \sin(\theta_2) + (a_2 \sin(\theta_2))^2 \end{cases}$$

Cộng hai phương trình ta được:

$$m^2 + n^2 = a_3^2 + a_2^2 + 2a_3a_2 \cos(\theta_3) \quad (0.10)$$

Suy ra:

$$\cos(\theta_3) = \frac{m^2 + n^2 - a_3^2 - a_2^2}{2a_3a_2}$$

$$\sin(\theta_3) = \pm \sqrt{1 - (\cos(\theta_3))^2}$$

$$\Rightarrow \theta_3 = \text{ATAN2}(\sin(\theta_3), \cos(\theta_3))$$

Sử dụng phép đảo vị trí Robot Planar ta có:

$$\theta_2 = \text{ATAN2}(p_2, p_1) - \text{ATAN2}(a_3.\sin(\theta_3), a_2 + a_3 \cos(\theta_3))$$

Trong đó:

$$p_1 = \cos(\theta_1).p_x + \sin(\theta_1).p_y - a_1$$

$$p_2 = p_z - d_1$$

Điều kiện góc quay của từng khớp:

$$\begin{cases} -180^\circ \leq \theta_1 \leq 180^\circ \\ 0^\circ \leq \theta_2 \leq 135^\circ \\ -120^\circ \leq \theta_3 \leq 15.5^\circ \\ -360^\circ \leq \theta_4 \leq 360^\circ \end{cases}$$

Kết luận giá trị góc 1,2,3,4 chỉ phụ thuộc vào  $p_x, p_y, p_z, n_x, n_y, o_x, o_y$ ,

Điều kiện các thông số nhập vào phải thỏa mãn các điều kiện sau:

$$-(a_1 + a_2 + a_3) \leq p_x, p_y \leq a_1 + a_2 + a_3$$

$$d_1 \leq p_z \leq a_1 + a_2 + d_1$$

$$-1 \leq n_x, n_y, o_x, o_y \leq 1$$

Và các giá trị vecto  $n, o, a$  tương ứng tạo thành một tam diện thuận.

Kiểm tra lại công thức bằng code Matlab :

Tính toán  $p_x, p_y, p_z, n_x, n_y, o_x, o_y, a_x, a_y, a_z$  bằng động học thuận với 4 góc phi bất kì, sau đó dựa vào các công thức tính toán động học đảo phía trên để tính ngược lại 4 góc phi, so sánh xem các công thức tính toán động học đảo có đúng hay không :

Giả sử  $p_1, p_2, p_3, p_4$  là 4 góc phi ban đầu nhập vào để tính  $p_x, p_y, p_z, n_x, n_y, o_x, o_y, a_x, a_y, a_z$  bằng công thức động học thuận

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$  là 4 góc được tính theo công thức động học đảo từ  $p_x, p_y, p_z, n_x, n_y, o_x, o_y, a_x, a_y, a_z$  đã tính được phía trên

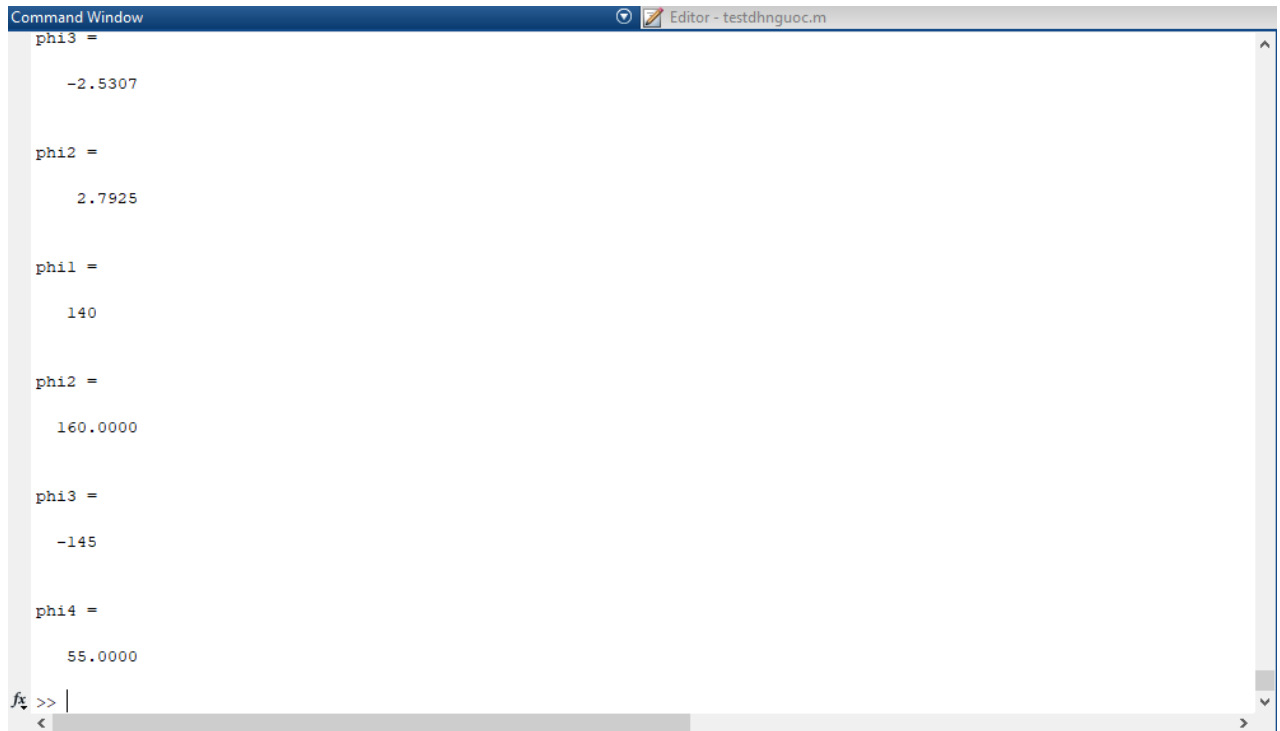
```

1 - p1=140, p2=160, p3=-145, p4=55
2
3 - a1=270
4 - a2=1250
5 - a3=1650
6 - d1=880
7 - d4=300
8
9 - px=1650*cosd(p1)*cosd(p2+p3)+1250*cosd(p1)*cosd(p2)+270*cosd(p1)+300*cosd(p1)*sind(p2+p3)
10 - py=1650*sind(p1)*cosd(p2+p3)+1250*sind(p1)*cosd(p2)+270*sind(p1)+300*sind(p1)*sind(p2+p3)
11 - pz=1650*sind(p2+p3)+880+1250*sind(p2)-300*cosd(p2+p3)
12 - nx=cosd(p1)*cosd(p4)*cosd(p2+p3)+sind(p1)*sind(p4)
13 - ny=sind(p1)*cosd(p2+p3)*cosd(p4)-cosd(p1)*sind(p4)
14 - ox=-cosd(p1)*cosd(p2+p3)*sind(p4)+sind(p1)*cosd(p4)
15 - oy=-sind(p1)*cosd(p2+p3)*sind(p4)-cosd(p1)*cosd(p4)
16 - ax=cosd(p1)*sind(p2+p3)
17 - ay=sind(p1)*sind(p2+p3)
18 - az=-cosd(p2+p3)
19
20 - phi1=atan2(py,px)
21 - phi4=atan2(sin(phi1)*nx-cos(phi1)*ny,sin(phi1)*ox-cos(phi1)*oy)
22 - s3=((cos(phi1)*px+sin(phi1)*py-a1)*(cos(phi1)*ax+sin(phi1)*ay)+(pz-d1)*az-d4)/a2
23 - phi3=atan2(s3,-sqrt(1-s3^2))
24 - phi2=atan2(cos(phi1)*ax+sin(phi1)*ay,-az)-atan2(s3,-sqrt(1-s3^2))
25 - phi1=phi1*180/pi
26 - phi2=phi2*180/pi
27 - phi3=phi3*180/pi
28 - phi4=phi4*180/pi

```



Kết quả tính toán :



```
Command Window
phi3 =
    -2.5307

phi2 =
    2.7925

phi1 =
    140

phi2 =
    160.0000

phi3 =
    -145

phi4 =
    55.0000

fx >> |
<
```

Như vậy, kết quả tính toán động học đảo trùng khớp với 4 góc phi ( $p1, p2, p3, p4$ ) được nhập vào lúc đầu.

# CHƯƠNG 5: THIẾT KẾ QUỸ ĐẠO BẬC 3 CHO CÁC KHỚP ROBOT

## Bài toán: Thiết kế quỹ đạo chuyển động cho các khớp của Robot theo quỹ đạo dạng bậc 3

Giả sử điểm tác động cuối của robot đi từ điểm đầu A và điểm cuối B trong thời gian là  $t = 5$  (s) giây đều có vận tốc bằng 0, có tọa độ đầu vào dạng  $A(p_x, p_y, p_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z)$  tương ứng với ma trận  $q_A = [\theta_{1A}, \theta_{2A}, \theta_{3A}, \theta_{4A}]^T$

Giả sử 2 điểm A và B có tọa độ:

$$\begin{cases} q_A = [0, 0, 0, 0]^T \\ q_B = [15, -30, 45, 60]^T \end{cases}$$

Giả sử quỹ đạo của từng khớp có dạng như sau:

$$\begin{cases} \theta_1(t) = a_{10} + a_{11}t + a_{12}t^2 + a_{13}t^3 \\ \theta_2(t) = a_{20} + a_{21}t + a_{22}t^2 + a_{23}t^3 \\ \theta_3(t) = a_{30} + a_{31}t + a_{32}t^2 + a_{33}t^3 \\ \theta_4(t) = a_{40} + a_{41}t + a_{42}t^2 + a_{43}t^3 \end{cases}$$

Suy ra phương trình vận tốc:

$$\begin{cases} \dot{\theta}_1(t) = a_{11} + 2a_{12}t + 3a_{13}t^2 \\ \dot{\theta}_2(t) = a_{21} + 2a_{22}t + 3a_{23}t^2 \\ \dot{\theta}_3(t) = a_{31} + 2a_{32}t + 3a_{33}t^2 \\ \dot{\theta}_4(t) = a_{41} + 2a_{42}t + 3a_{43}t^2 \end{cases}$$

Suy ra phương trình gia tốc:

$$\begin{cases} \ddot{\theta}_1(t) = 2a_{12} + 6a_{13}t \\ \ddot{\theta}_2(t) = 2a_{22} + 6a_{23}t \\ \ddot{\theta}_3(t) = 2a_{32} + 6a_{33}t \\ \ddot{\theta}_4(t) = 2a_{42} + 6a_{43}t \end{cases}$$

## 5.1 Tính toán quỹ đạo của khớp quay 1

Tại thời điểm ban đầu  $t = 0$ , robot đang ở vị trí A và có vận tốc bằng 0

Từ phương trình quỹ đạo và vận tốc của khớp 1 suy ra:

$$\begin{cases} \theta_1(0) = 0 \\ \dot{\theta}_1(0) = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a_{10} = 0 \\ a_{11} = 0 \end{cases}$$

Tại thời điểm cuối  $t = 5$ , robot đang ở vị trí B và có vận tốc bằng 0

$$\begin{cases} \theta_1(5) = 15 \\ \dot{\theta}_1(5) = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a_{10} + 5a_{11} + 25a_{12} + 125a_{13} = 15 \\ a_{11} + 10a_{12} + 75a_{13} = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 25a_{12} + 125a_{13} = 15 \\ 10a_{12} + 75a_{13} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a_{12} = 1,8 \\ a_{13} = -0,24 \end{cases}$$

Suy ra phương trình quỹ đạo của khớp 1:

$$\theta_1(t) = 1,8t^2 - 0,24t^3$$

Phương trình vận tốc của khớp 1:

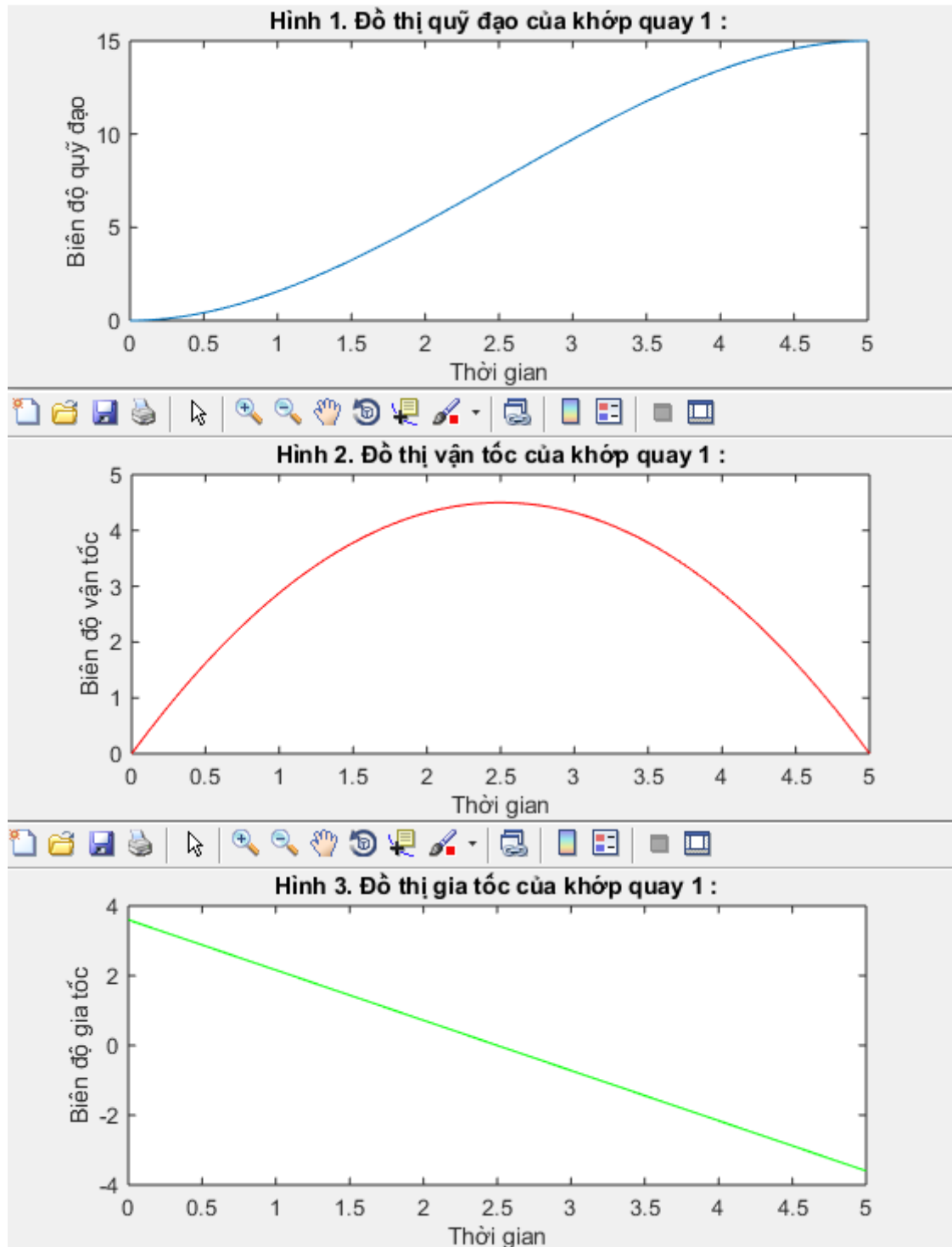
$$\dot{\theta}_1(t) = 3,6t - 0,72t^2$$

Phương trình gia tốc của khớp 1:

$$\ddot{\theta}_1(t) = 3,6 - 1,44t$$

Kết quả mô phỏng đồ thị quỹ đạo, vận tốc và gia tốc của khớp quay 1 trên MATLAB:

snip



Hình 5.1.1 Đồ thị quỹ đạo, vận tốc và gia tốc của khớp quay 1

## 5.2 Tính toán quỹ đạo của khớp quay 2

Tại thời điểm ban đầu  $t = 0$ , robot đang ở vị trí A và có vận tốc bằng 0

Từ phương trình quỹ đạo và vận tốc của khớp 2 suy ra:

$$\begin{cases} \theta_2(0) = 0 \\ \dot{\theta}_2(0) = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a_{20} = 0 \\ a_{21} = 0 \end{cases}$$

Tại thời điểm cuối  $t = 5$ , robot đang ở vị trí B và có vận tốc bằng 0

$$\begin{cases} \theta_2(5) = -30 \\ \dot{\theta}_2(5) = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a_{20} + 5a_{21} + 25a_{22} + 125a_{23} = -30 \\ a_{21} + 10a_{22} + 75a_{23} = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 25a_{22} + 125a_{23} = -30 \\ 10a_{22} + 75a_{23} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a_{22} = -3,6 \\ a_{23} = 0,48 \end{cases}$$

Suy ra phương trình quỹ đạo của khớp 2:

$$\theta_2(t) = -3,6t^2 + 0,48t^3$$

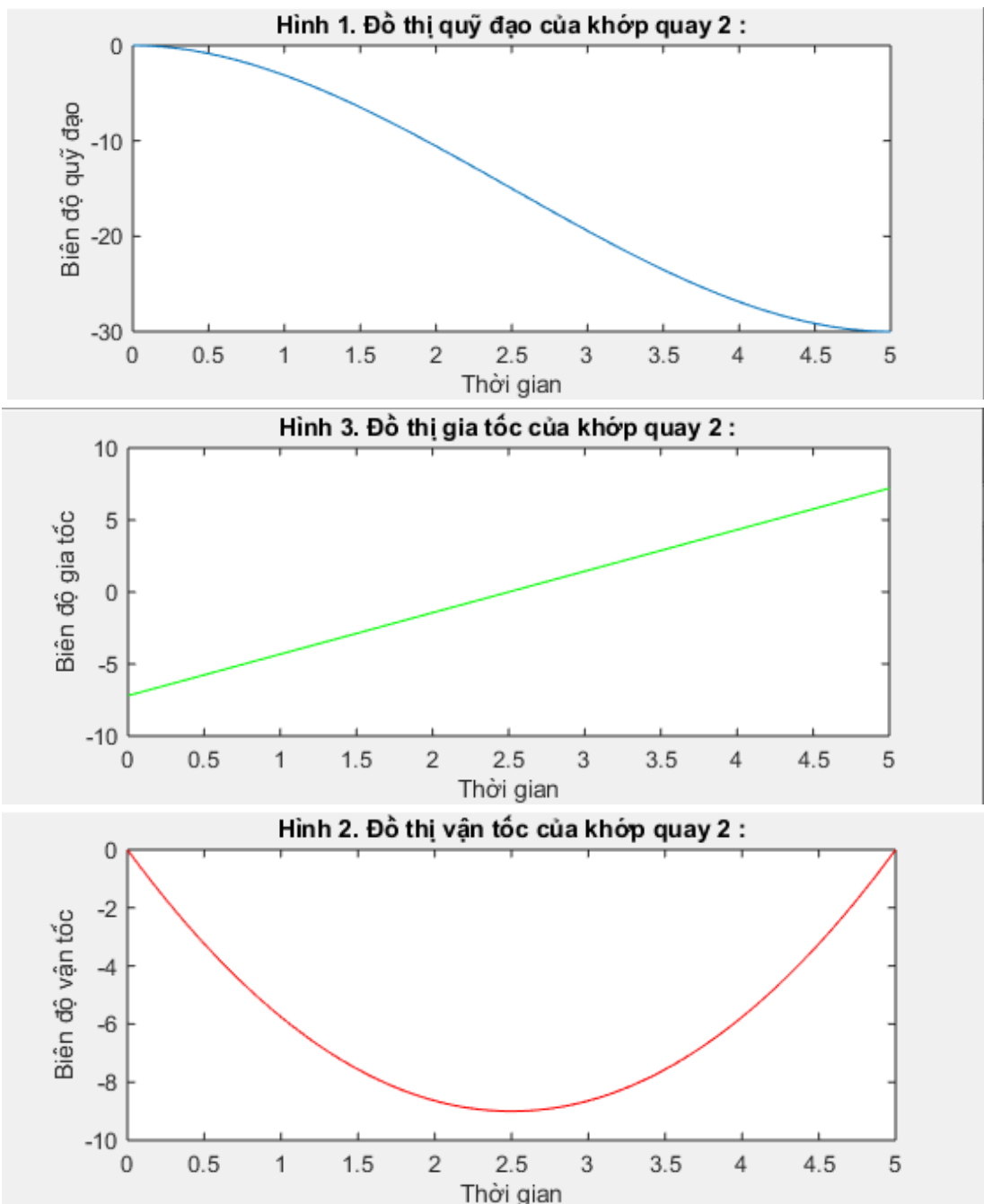
Phương trình vận tốc của khớp 2:

$$\dot{\theta}_2(t) = -7,2t + 1,44t^2$$

Phương trình gia tốc của khớp 2:

$$\ddot{\theta}_2(t) = -7,2 + 2,88t$$

Kết quả mô phỏng đồ thị quỹ đạo, vận tốc và gia tốc của khớp quay 2 trên MATLAB:



### 5.3 Tính toán quỹ đạo của khớp quay 3

Tại thời điểm ban đầu  $t = 0$ , robot đang ở vị trí A và có vận tốc bằng 0

Từ phương trình quỹ đạo và vận tốc của khớp 3 suy ra:

$$\begin{cases} \theta_3(0) = 0 \\ \dot{\theta}_3(0) = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a_{30} = 0 \\ a_{31} = 0 \end{cases}$$

Tại thời điểm cuối  $t = 5$ , robot đang ở vị trí B và có vận tốc bằng 0

$$\begin{cases} \theta_3(5) = 45 \\ \dot{\theta}_3(5) = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a_{30} + 5a_{31} + 25a_{32} + 125a_{33} = 45 \\ a_{31} + 10a_{32} + 75a_{33} = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 25a_{32} + 125a_{33} = 45 \\ 10a_{32} + 75a_{33} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a_{32} = 5,4 \\ a_{33} = -0,72 \end{cases}$$

Suy ra phương trình quỹ đạo của khớp 3:

$$\theta_3(t) = 5,4t^2 - 0,72t^3$$

Phương trình vận tốc của khớp 3:

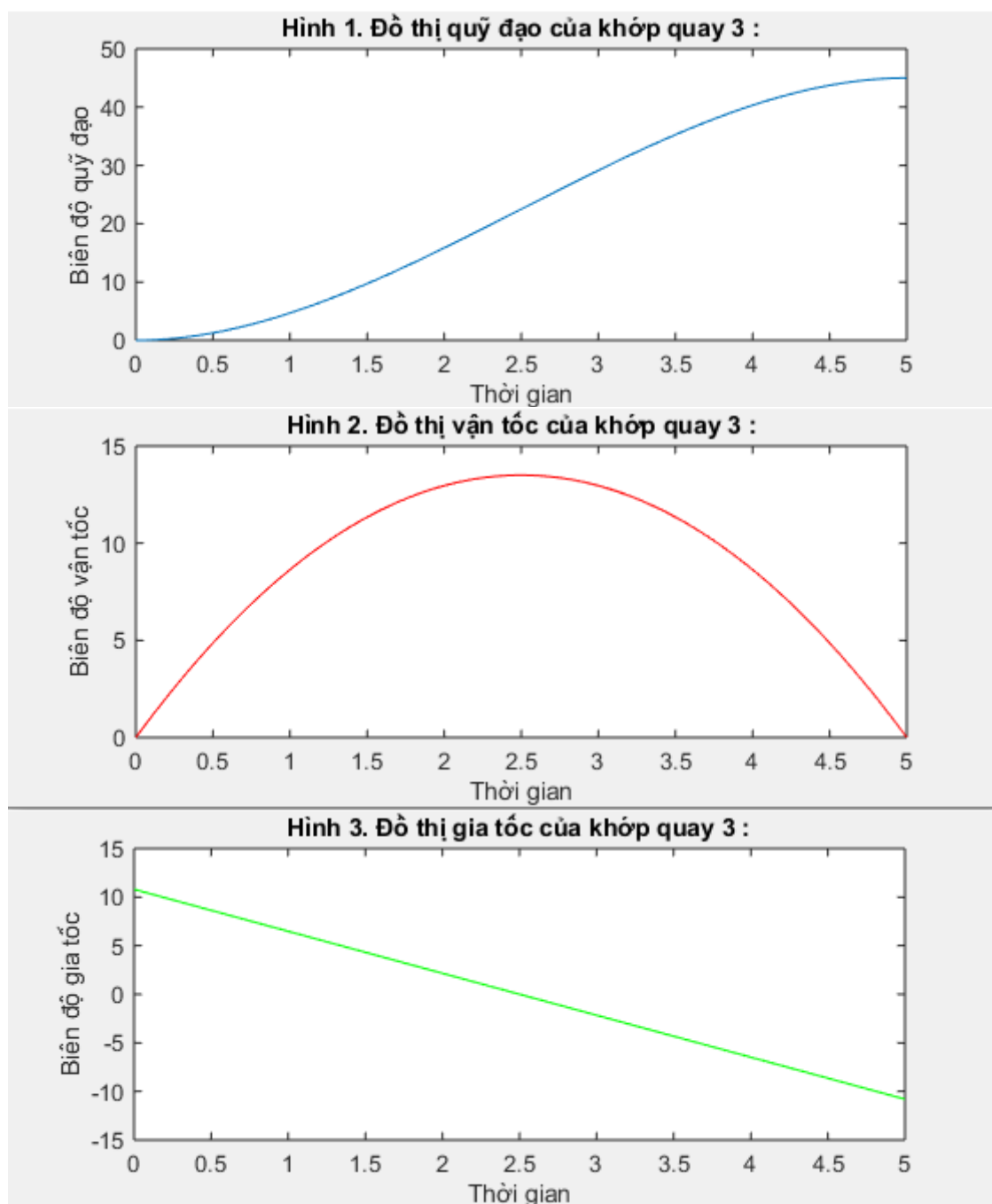
$$\dot{\theta}_3(t) = 10,8t - 2,16t^2$$

Phương trình gia tốc của khớp 3:

$$\ddot{\theta}_3(t) = 10,8 - 4,32t$$



Kết quả mô phỏng đồ thị quỹ đạo, vận tốc và gia tốc của khớp quay 3 trên MATLAB:



Hình 5.3.1 Đồ thị quỹ đạo, vận tốc và gia tốc của khớp quay 3

## 5.4 Tính toán quỹ đạo của khớp quay 4

Tại thời điểm ban đầu  $t = 0$ , robot đang ở vị trí A và có vận tốc bằng 0

Từ phương trình quỹ đạo và vận tốc của khớp 4 suy ra:

$$\begin{cases} \theta_4(0) = 0 \\ \dot{\theta}_4(0) = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a_{40} = 0 \\ a_{41} = 0 \end{cases}$$

Tại thời điểm cuối  $t = 5$ , robot đang ở vị trí B và có vận tốc bằng 0

$$\begin{cases} \theta_4(5) = 60 \\ \dot{\theta}_4(5) = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a_{40} + 5a_{41} + 25a_{42} + 125a_{43} = 60 \\ a_{41} + 10a_{42} + 75a_{43} = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 25a_{42} + 125a_{43} = 60 \\ 10a_{42} + 75a_{43} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a_{42} = 7,2 \\ a_{43} = -0,96 \end{cases}$$

Suy ra phương trình quỹ đạo của khớp 4:

$$\theta_4(t) = 7,2t^2 - 0,96t^3$$

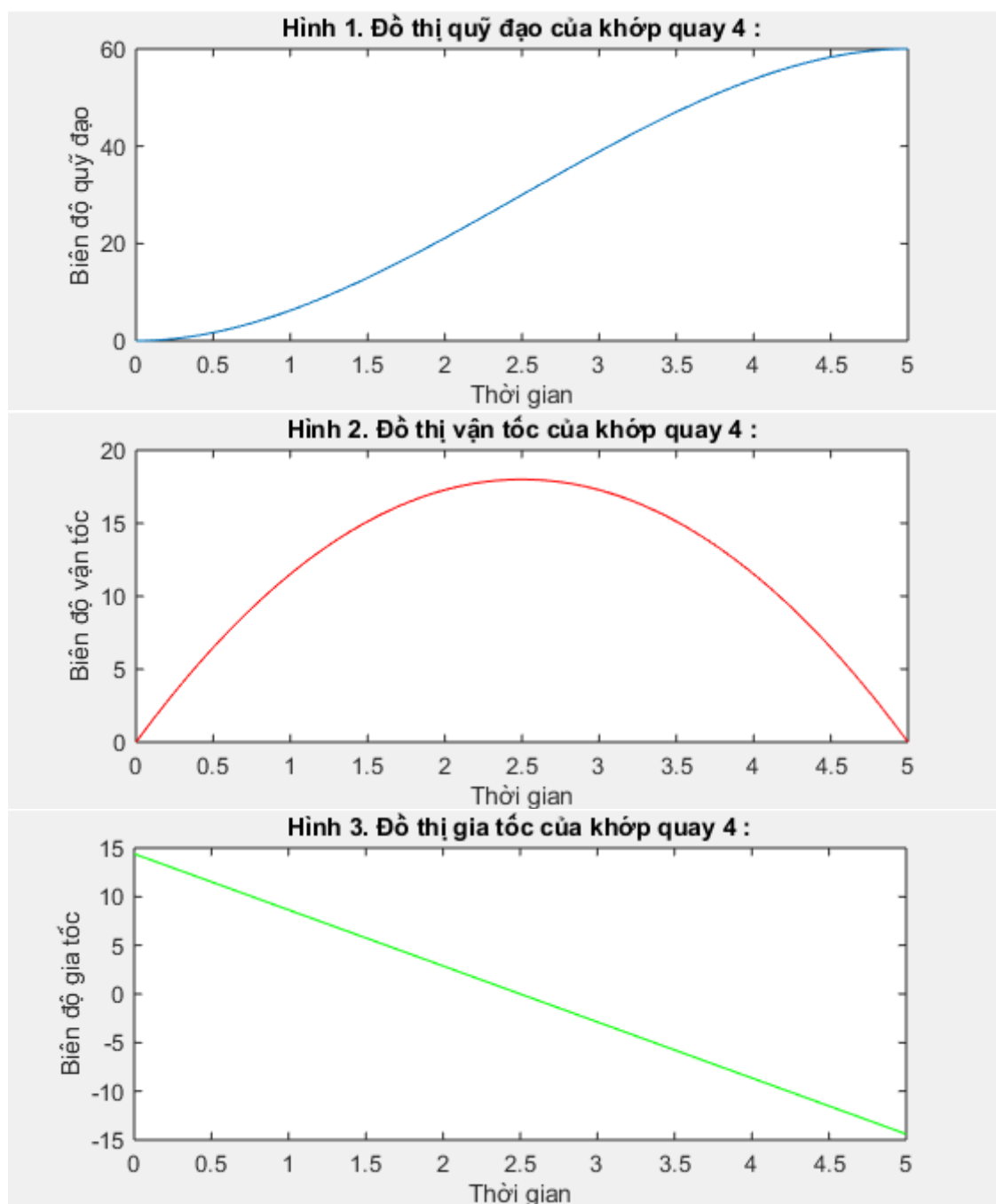
Phương trình vận tốc của khớp 4:

$$\dot{\theta}_4(t) = 14,4t - 2,88t^2$$

Phương trình gia tốc của khớp 4:

$$\ddot{\theta}_4(t) = 14,4 - 5,76t$$

Kết quả mô phỏng đồ thị quỹ đạo, vận tốc và gia tốc của khớp quay 4 trên MATLAB:



Hình 5.4.1 Đồ thị quỹ đạo, vận tốc và gia tốc của khớp quay 4



# CHƯƠNG 6: XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CHO ROBOT MPL800II

*Bài toán: Xây dựng mô hình động lực học cho Robot MPL800II trên*

*Toolbox Simechanics/Matlab*

## 6.1 Xây dựng công thức:

**Xây dựng công thức tính vận tốc:**

Giả sử điểm M bất kì trong hệ tọa độ i, được xác định bằng vector mở rộng

$${}^i r_i = (x_i, y_i, z_i, 1)^T$$

Như vậy, quan hệ giữa vector  ${}^0 r_i$  và  ${}^{i-1} r_i$  có thể biểu diễn như sau:

$${}^0 r_i = {}^0 A_i {}^i r_i$$

Với:  ${}^0 A_i = {}^0 A_1 {}^1 A_2 \dots {}^{i-1} A_i$

Giả sử các khâu của tay máy là vật rắn tuyệt đối, ta có:

$$\begin{aligned} {}^0 V_i &\equiv V_i = \frac{d}{dt} ({}^0 r_i) = \frac{d}{dt} ({}^0 A_i {}^i r_i) = \frac{d}{dt} ({}^0 A_1 {}^1 A_2 \dots {}^{i-1} A_i {}^i r_i) \\ &= \frac{d}{dt} ({}^0 A_1) \cdot {}^1 A_2 \dots {}^{i-1} A_i {}^i r_i + {}^0 A_1 \cdot \frac{d}{dt} ({}^1 A_2) \cdot {}^2 A_3 \dots {}^{i-1} A_i {}^i r_i + \dots {}^0 A_1 \cdot \frac{d}{dt} ({}^{i-1} A_i) \cdot {}^i r_i \\ &= \left[ \sum_{j=1}^i \frac{\partial {}^0 A_i}{\partial q_j} \dot{q}_j \right] \cdot {}^i r_i \end{aligned}$$

Trong đó, đạo hàm của ma trận  $A_i$  đối với biến khớp  $q_i$ :

$$\frac{d {}^{i-1} A_i}{dq_i} = D_i {}^{i-1} A_i$$

Với khớp quay, ma trận D là:

$$D_i = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Như vậy, với  $i = 1, 2, \dots, n$  ( $n=4$ ):

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^0 A_i}{\partial q_i} &= \frac{\partial}{\partial q_i} (A_1 A_2 \dots A_{j-1} A_j \dots A_{i-1} A_i) \\
&= A_1 A_2 \dots A_{j-1} \frac{dA_j}{dq_j} A_j \dots A_{i-1} A_i \\
&= {}^1 A_{j-1} D_j^{j-1} A_i
\end{aligned}$$

Đơn giản hóa cách viết, ta đặt:

$$U_{ij} = \begin{cases} {}^0 A_{j-1} D_j^{j-1} A_i, j \leq i \\ 0, j > i \end{cases}$$

Như vậy, ma trận V có thể viết lại như sau:

$$V_i = \left[ \sum_{j=1}^i U_{ij} \dot{q} \right]^i r_i$$

Xác định gia tốc:

$$a = \frac{dV_i}{dt} = \left[ \sum_{s=1}^i \frac{\partial^0 A_i}{\partial q_s} \ddot{q}_s + \sum_{s=1}^i \sum_{k=1}^i \frac{\partial^2 A_i}{\partial q_s \partial q_k} \dot{q}_s \dot{q}_k \right]$$

### **Xây dựng công thức tính động năng:**

Kí hiệu  $K_i$  là động năng của khâu i ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) và  $dK_i$  là động năng của một chất điểm có khối lượng  $dm$  thuộc khâu i:

$$dK_i = \frac{1}{2} (\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2 + \dot{z}_i^2) dm = \frac{1}{2} Tr(V_i V_i^T) dm$$

$$(Tr(A) = \sum_{i=1}^n a_{ii})$$

$$\Rightarrow dK_i = \frac{1}{2} Tr \left[ \sum_{p=1}^i U_{ip} \dot{q}_p^i r_i \left[ \sum_{r=1}^i U_{ir} \dot{q}_r^i r_i \right]^T \right] dm$$

$$= \frac{1}{2} Tr \left[ \sum_{p=1}^i \sum_{r=1}^i U_{ip} ({}^i r_i dm {}^i r_i^T) U_{ir} \dot{q}_p^i \dot{q}_r^i \right]$$

$$\Rightarrow K_i = \int dK_i = \frac{1}{2} Tr \left[ \sum_{p=1}^i \sum_{r=1}^i U_{ip} \left( \int {}^i r_i dm {}^i r_i^T \right) U_{ir} \dot{q}_p^i \dot{q}_r^i \right]$$

Phần bên trong ngoặc đặt là J:



$$J_i = \int {}^i r_i {}^i r_i^T dm = \begin{bmatrix} \int x_i^2 dm & \int x_i y_i dm & \int x_i z_i dm & \int x_i dm \\ \int x_i y_i dm & \int y_i^2 dm & \int y_i z_i dm & \int y_i dm \\ \int x_i z_i dm & \int y_i z_i dm & \int z_i^2 dm & \int z_i dm \\ \int x_i dm & \int y_i dm & \int z_i dm & \int dm \end{bmatrix}$$

Nếu dùng Tenso quán tính  $I_{ij}$ :

$$I_{ij} = \int \left[ \delta_{ij} \left[ \sum_k x_k^2 \right] - x_i x_j \right] dm$$

$$\Rightarrow J_i = \begin{bmatrix} \frac{-I_{xx} + I_{yy} + I_{zz}}{2} & I_{xy} & I_{xz} & m_i \bar{x}_i \\ I_{xy} & \frac{I_{xx} - I_{yy} + I_{zz}}{2} & I_{yz} & m_i \bar{y}_i \\ I_{xz} & I_{yz} & \frac{I_{xx} + I_{yy} - I_{zz}}{2} & m_i \bar{z}_i \\ m_i \bar{x}_i & m_i \bar{y}_i & m_i \bar{z}_i & m_i \end{bmatrix}$$

Như vậy, công thức tính động năng:

$$K = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^i \sum_{r=1}^i [Tr(U_{ip} J_i U_{ir}^T) \dot{q}_p \dot{q}_r]$$

### **Xây dựng công thức tính thế năng:**

Thế năng  $P_i$  của khâu thứ i:

$$P_i = -m_i g {}^0 r_i = -m_i g ({}^0 A_i {}^i r_i)$$

Thế năng của toàn cơ cấu n khâu động:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = -\sum_{i=1}^n m_i g ({}^0 A_i {}^i r_i)$$

## **6.2 Xây dựng phương trình động lực học cho Robot MPL800II:**

Để xây dựng mô hình động lực học tay máy, ta sử dụng phương trình động lực học Robot:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = F_{Mi}$$

$$i = 1, 2, 3, 4$$

Phương trình trên biểu diễn cho biểu thức tính động lực  $F_{Mi}$ . Đó là lực hoặc momen tạo nên bởi nguồn động lực ở khớp động I để thực hiện chuyển động của khâu i

Biểu diễn phương trình trên dưới dạng ma trận:

$$F_M = D(q) \cdot \ddot{q} + h(q, \dot{q}) + c(q)$$

Trong đó:

$F_M$ : vector 4x1 lực động, tạo nên ở 4 khớp động:

$$F_M(t) = [F_{M1}(t), F_{M2}(t), F_{M3}(t), F_{M4}(t)]^T$$

$q$ : vector 4x1 biến khớp ;

$$q(t) = [\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4]^T$$

$\dot{q}$ : vector 4x1 tốc độ thay đổi của biến khớp:

$$\dot{q}(t) = [\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3, \dot{\theta}_4]^T$$

$\ddot{q}$ : vector 4x1 gia tốc của biến khớp:

$$\ddot{q}(t) = [\ddot{\theta}_1, \ddot{\theta}_2, \ddot{\theta}_3, \ddot{\theta}_4]^T$$

$D(q)$ : ma trận 4x4, có các phần tử  $D_{ik}$  sau đây:

$$D_{ik} = \sum_{j=\max(i,k)}^4 \text{Tr}(U_{jk} J_i U_{ji}^T), i, k = 1, 2, 3, 4$$

Với: ( $a_1 = \theta_1, a_2 = \theta_2, a_3 = \theta_3, a_4 = \theta_4$ )

$D_{11} =$

$$\begin{aligned} & (32*a_1^3*m_1 + 24*a_1^3*m_2 + 48*a_1^3*m_3 + 24*a_1^3*m_4 + 8*d_1^3*m_1 + 24*a_1^3 - \\ & 8*a_1*a_2^2*m_2 + 24*a_1*a_2^2*m_3 + 12*a_1*a_2^2*m_4 + 4*a_1*a_3^2*m_3 + 12*a_1*a_3^2*m_4 + \\ & 24*a_1*d_1^2*m_1 + 24*a_1^2*d_1*m_1 + 24*a_1^2*d_1*m_2 + 48*a_1^2*d_1*m_3 - 8*a_2^2*d_1*m_2 + \\ & 24*a_1^2*d_1*m_4 + 24*a_2^2*d_1*m_3 + 12*a_2^2*d_1*m_4 + 4*a_3^2*d_1*m_3 + 12*a_3^2*d_1*m_4 + \\ & 18*a_1*d_4^2*m_4 + 18*d_1*d_4^2*m_4 - 6*a_1*d_4^2*m_4*\sin(2*a_2 + 2*a_3 - a_4) - \\ & 6*d_1*d_4^2*m_4*\sin(2*a_2 + 2*a_3 - a_4) - 8*a_1*a_2^2*m_2*\cos(2*a_2) + \\ & 24*a_1*a_2^2*m_3*\cos(2*a_2) + 12*a_1*a_2^2*m_4*\cos(2*a_2) - 8*a_2^2*d_1*m_2*\cos(2*a_2) + \\ & 24*a_2^2*d_1*m_3*\cos(2*a_2) + 12*a_2^2*d_1*m_4*\cos(2*a_2) - 2*a_1*d_4^2*m_4*\cos(2*a_4) - \\ & 2*d_1*d_4^2*m_4*\cos(2*a_4) + 4*a_1*a_3^2*m_3*\cos(2*a_2 + 2*a_3) + 12*a_1*a_3^2*m_4*\cos(2*a_2 + \\ & 2*a_3) + 4*a_3^2*d_1*m_3*\cos(2*a_2 + 2*a_3) + 12*a_3^2*d_1*m_4*\cos(2*a_2 + 2*a_3) - \\ & 10*a_1*d_4^2*m_4*\cos(2*a_2 + 2*a_3) - 12*a_1^2*d_4*m_4*c_{23}c_4 + s_{23}s_4 - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 10*d1*d4^2*m4*cos(2*ap2 + 2*ap3) + 24*a1^2*a3*m3*c23 + 48*a1^2*a3*m4*c23 + \\
& 48*a1^2*d4*m4*s23 - 6*a1*d4^2*m4*sin(2*ap2 + 2*ap3 + ap4) - 6*d1*d4^2*m4*sin(2*ap2 + \\
& 2*ap3 + ap4) - 24*a1^2*a2*m2*c2 + 96*a1^2*a2*m3*c2 + 48*a1^2*a2*m4*c2 - \\
& 12*a1^2*d4*m4*c23c4 - s23s4 + a1*d4^2*m4*cos(2*ap2 + 2*ap3 - 2*ap4) + \\
& a1*d4^2*m4*cos(2*ap2 + 2*ap3 + 2*ap4) + d1*d4^2*m4*cos(2*ap2 + 2*ap3 - 2*ap4) + \\
& d1*d4^2*m4*cos(2*ap2 + 2*ap3 + 2*ap4) - 6*a1*a2*d4*m4*cos(2*ap2 + ap3 + ap4) - \\
& 12*a1*d1*d4*m4*c23c4 + s23s4 - 6*a2*d1*d4*m4*cos(2*ap2 + ap3 + ap4) + \\
& 24*a1*a3*d4*m4*2s23c23 + 24*a3*d1*d4*m4*2s23c23 + 24*a1*a3*d1*m3*c23 + \\
& 48*a1*a3*d1*m4*c23 - 6*a1*a2*d4*m4*cos(ap3 + ap4) - 6*a2*d1*d4*m4*cos(ap3 + ap4) + \\
& 48*a1*d1*d4*m4*s23 - 6*a1*a2*d4*m4*cos(2*ap2 + ap3 - ap4) - 6*a1*a3*d4*m4*cos(2*ap2 + \\
& 2*ap3 + ap4) - 6*a2*d1*d4*m4*cos(2*ap2 + ap3 - ap4) - 6*a3*d1*d4*m4*cos(2*ap2 + 2*ap3 + \\
& ap4) + 12*a1*a2*a3*m3*c3 + 24*a1*a2*a3*m4*c3 - 24*a1*a2*d1*m2*c2 + \\
& 96*a1*a2*d1*m3*c2 + 48*a1*a2*d1*m4*c2 + 12*a2*a3*d1*m3*c3 + 24*a2*a3*d1*m4*c3 - \\
& 12*a1*a3*d4*m4*c4 - 12*a3*d1*d4*m4*c4 + 24*a1*a2*d4*m4*s3 + 24*a2*d1*d4*m4*s3 + \\
& 12*a1*a2*a3*m3*cos(2*ap2 + ap3) + 24*a1*a2*a3*m4*cos(2*ap2 + ap3) + \\
& 12*a2*a3*d1*m3*cos(2*ap2 + ap3) + 24*a2*a3*d1*m4*cos(2*ap2 + ap3) - \\
& 6*a1*a2*d4*m4*cos(ap3 - ap4) - 6*a2*d1*d4*m4*cos(ap3 - ap4) - 12*a1*d1*d4*m4*c23c4 - \\
& s23s4 + 24*a1*a2*d4*m4*sin(2*ap2 + ap3) + 24*a2*d1*d4*m4*sin(2*ap2 + ap3) - \\
& 6*a1*a3*d4*m4*cos(2*ap2 + 2*ap3 - ap4) - 6*a3*d1*d4*m4*cos(2*ap2 + 2*ap3 - ap4))/(24*(a1 \\
& + d1))
\end{aligned}$$

$$D12 = D21 =$$

$$-(d4*m4*s4*(d4*s23c4 - c23s4 + 3*d4*c23 - 3*a3*s23 - 3*a2*s2 + d4*s23c4 + c23s4))/6$$

$$D13 = D31 =$$

$$-(d4*m4*s4*(d4*s23c4 - c23s4 + 3*d4*c23 - 3*a3*s23 + d4*s23c4 + c23s4))/6$$

$$D14 = D41 =$$

$$\begin{aligned}
& (d4*m4*(3*a1*c4 + 3*a2*c2*c4 - 2*d4*c2*c3 + 2*d4*s2*s3 + 3*a3*c2*c3*c4 + \\
& 3*d4*c2*c4*s3 + 3*d4*c3*c4*s2 - 3*a3*c4*s2*s3))/6
\end{aligned}$$

$$D22 =$$

$$\begin{aligned}
& 2*a2^2*m3 - (2*a2^2*m2)/3 + a2^2*m4 + (a3^2*m3)/3 + a3^2*m4 + d4^2*m4 + \\
& (d4^2*m4*c4^2)/3 + a2*a3*m3*c3 + 2*a2*a3*m4*c3 - a3*d4*m4*c4 + 2*a2*d4*m4*s3 -
\end{aligned}$$

$$a^2*d^4*m^4*c^3*c^4$$

$$D_{23} = D_{32} =$$

$$(a^3^2*m^3)/3 + a^3^2*m^4 + d^4^2*m^4 + (d^4^2*m^4*c^4^2)/3 + (a^2*a^3*m^3*c^3)/2 + a^2*a^3*m^4*c^3 - a^3*d^4*m^4*c^4 + a^2*d^4*m^4*s^3 - (a^2*d^4*m^4*c^3*c^4)/2$$

$$D_{24} = D_{42} = (d^4*m^4*s^4*(d^4 + a^2*s^3))/2$$

$$D_{33} =$$

$$(a^3^2*m^3)/3 + a^3^2*m^4 + d^4^2*m^4 + (d^4^2*m^4*c^4^2)/3 - a^3*d^4*m^4*c^4$$

$$D_{34} = D_{43} = (d^4^2*m^4*s^4)/2$$

$$D_{44} = (d^4^2*m^4)/3$$

$\dot{h}(q, \dot{q})$ : vector 4x1 lực ly tâm và Coriolit:

$$\dot{h}(q, \dot{q}) = (\dot{h}_1, \dot{h}_2, \dots, \dot{h}_n)^T, n = 4$$

$$\dot{h}_i = \sum_{k=1}^n \sum_{m=1}^n h_{ikm} \dot{q}_k \dot{q}_m, i = 1, 2, 3, 4$$

$$h_{ikm} = \sum_{j=\max(i,k,m)}^n \text{Tr}(U_{jkm} J_j U_{ji}^T), i, k, m = 1, 2, 3, 4$$

$c(q)$ : vector 4x1 lực trọng trường:

$$c(q) = (c_1, c_2, \dots, c_n)^T, n = 4$$

$$c_i = \sum_{j=i}^n (-m_i g U_{ji}^j \bar{r}_j)$$

Với:

$$C_1 = -(g*\cos(ap_1)*(2*a_1*m_2 + 2*a_1*m_3 + a_3*m_3*c_{23} + a_2*m_2*c_2 + 2*a_2*m_3*c_2))/2$$

$$C_2 = (g*(a_2*m_2*\cos(ap_1 - ap_2) - a_2*m_2*c_{12} + 4*a_3*m_4*c_{23} + 4*d_4*m_4*s_{23} + 4*a_2*m_4*c_2 - 2*d_4*m_4*c_{23}*c_4 + 2*a_3*m_3*s_{23}*\sin(ap_1) + 4*a_2*m_3*\sin(ap_1)*s_2))/4$$

$$C_3 = g*m_4*(c_2*(a_3*c_3 + d_4*s_3) + s_2*(d_4*c_3 - a_3*s_3)) + g*m_3*(a_3*c_2*\sin(ap_1)*s_3 +$$

$$a3*c3*\sin(ap1)*s2) - (d4*g*m4*(c2*c3*c4 - c4*s2*s3))/2 - (a3*g*m3*(c2*\sin(ap1)*s3 + c3*\sin(ap1)*s2))/2$$

$$C4 = (d4*g*m4*s23*s4)/2$$

$h(\theta, \dot{\theta})$  – vector (nx1) lực ly tâm và Coriolis

$$h(\theta, \dot{\theta}) = (h_1, h_2, \dots, h_4)^T$$

$$h_i = \dot{\theta}^T H_{i,V} \dot{\theta} \quad ; \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$\text{với } \dot{\theta} = [\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3, \dot{\theta}_4]^T$$

$$H_{i,V} = \begin{bmatrix} h_{i11} & h_{i12} & h_{i13} & h_{i14} \\ h_{i21} & h_{i22} & h_{i23} & h_{i24} \\ h_{i31} & h_{i32} & h_{i33} & h_{i34} \\ h_{i41} & h_{i42} & h_{i43} & h_{i44} \end{bmatrix}$$

- Kết quả tính toán  $H_{i,V}$ :

$$H_{111} = 0$$

$$H_{112} = H_{121} =$$

$$\begin{aligned} & (a2^2*m2*\sin(2*ap2))/3 - (d4^2*m4*\cos(2*ap2 + 2*ap3 - ap4))/4 - (d4^2*m4*\sin(2*ap2 \\ & + 2*ap3 - 2*ap4))/24 - (d4^2*m4*\sin(2*ap2 + 2*ap3 + 2*ap4))/24 - (d4^2*m4*\cos(2*ap2 \\ & + 2*ap3 + ap4))/4 - a2^2*m3*\sin(2*ap2) - (a2^2*m4*\sin(2*ap2))/2 - \\ & (a3^2*m3*2s23c23)/6 - (a3^2*m4*2s23c23)/2 + (5*d4^2*m4*2s23c23)/12 + \\ & a1*d4*m4*c23 - (a1*a3*m3*s23)/2 - a1*a3*m4*s23 + (a2*d4*m4*\sin(2*ap2 + ap3 - \\ & ap4))/4 + (a3*d4*m4*\sin(2*ap2 + 2*ap3 + ap4))/4 + (a1*a2*m2*s2)/2 - 2*a1*a2*m3*s2 - \\ & a1*a2*m4*s2 + a2*d4*m4*\cos(2*ap2 + ap3) - (a2*a3*m3*\sin(2*ap2 + ap3))/2 - \\ & a2*a3*m4*\sin(2*ap2 + ap3) + (a1*d4*m4*s23c4 + c23s4)/4 + (a3*d4*m4*\sin(2*ap2 + \\ & 2*ap3 - ap4))/4 + a3*d4*m4*\cos(2*ap2 + 2*ap3) + (a1*d4*m4*s23c4 - c23s4)/4 + \\ & (a2*d4*m4*\sin(2*ap2 + ap3 + ap4))/4 \end{aligned}$$

$$H_{113} = H_{131} =$$

$$\begin{aligned}
& (5*d4^2*m4*2s23c23)/12 - (d4^2*m4*\cos(2*ap2 + 2*ap3 - ap4))/4 - (d4^2*m4*\sin(2*ap2 \\
& + 2*ap3 - 2*ap4))/24 - (d4^2*m4*\sin(2*ap2 + 2*ap3 + 2*ap4))/24 - (a3^2*m3*2s23c23)/6 \\
& - (a3^2*m4*2s23c23)/2 - (d4^2*m4*\cos(2*ap2 + 2*ap3 + ap4))/4 + a1*d4*m4*c23 - \\
& (a1*a3*m3*s23)/2 - a1*a3*m4*s23 + (a2*d4*m4*s34)/8 + (a2*d4*m4*\sin(2*ap2 + ap3 - \\
& ap4))/8 + (a3*d4*m4*\sin(2*ap2 + 2*ap3 + ap4))/4 + (a2*d4*m4*c3)/2 - (a2*a3*m3*s3)/4 \\
& - (a2*a3*m4*s3)/2 + (a2*d4*m4*\cos(2*ap2 + ap3))/2 - (a2*a3*m3*\sin(2*ap2 + ap3))/4 - \\
& (a2*a3*m4*\sin(2*ap2 + ap3))/2 + (a2*d4*m4*\sin(ap3 - ap4))/8 + (a1*d4*m4*s23c4 + \\
& c23s4)/4 + (a3*d4*m4*\sin(2*ap2 + 2*ap3 - ap4))/4 + a3*d4*m4*\cos(2*ap2 + 2*ap3) + \\
& (a1*d4*m4*s23c4 - c23s4)/4 + (a2*d4*m4*\sin(2*ap2 + ap3 + ap4))/8
\end{aligned}$$

$$H_{114} = H_{141} =$$

$$\begin{aligned}
& (d4*m4*s4*((3*a3)/2 + (3*a3*\cos(2*ap2 + 2*ap3))/2 + (3*d4*2s23c23)/2 + 3*a1*c23 - \\
& (d4*\cos(2*ap2 + 2*ap3 + ap4))/2 + (3*a2*c3)/2 + d4*c4 + (3*a2*\cos(2*ap2 + ap3))/2 - \\
& (d4*\cos(2*ap2 + 2*ap3 - ap4))/2))/6
\end{aligned}$$

$$H_{122} =$$

$$(d4*m4*s4*(3*a3*c23 - d4*c23c4 + s23s4 + 3*d4*s23 + 3*a2*c2 - d4*c23c4 - s23s4))/6$$

$$H_{123} = H_{132} =$$

$$-(d4*m4*s4*(d4*c23c4 + s23s4 - 3*a3*c23 - 3*d4*s23 + d4*c23c4 - s23s4))/6$$

$$H_{124} = H_{142} = (d4^2*m4*s23*s4^2)/3$$

$$H_{133} =$$

$$-(d4*m4*s4*(d4*c23c4 + s23s4 - 3*a3*c23 - 3*d4*s23 + d4*c23c4 - s23s4))/6$$

$$H_{134} = H_{143} = (d4^2*m4*s23*s4^2)/3$$

$$H_{144} =$$

$$-(d4*m4*s4*(a1 + a3*c23 + d4*s23 + a2*c2))/2$$

$$H_{211} =$$

$$\begin{aligned}
& (d4^2*m4*\cos(2*ap2 + 2*ap3 + ap4))/4 + (d4^2*m4*\cos(2*ap2 + 2*ap3 - ap4))/4 + \\
& (d4^2*m4*\sin(2*ap2 + 2*ap3 - 2*ap4))/24 + (d4^2*m4*\sin(2*ap2 + 2*ap3 + 2*ap4))/24 - \\
& (a2^2*m2*\sin(2*ap2))/3 + a2^2*m3*\sin(2*ap2) + (a2^2*m4*\sin(2*ap2))/2 +
\end{aligned}$$

$$(a3^2*m3*2s23c23)/6 + (a3^2*m4*2s23c23)/2 - (5*d4^2*m4*2s23c23)/12 - a1*d4*m4*c23 + (a1*a3*m3*s23)/2 + a1*a3*m4*s23 - (a2*d4*m4*\sin(2*ap2 + ap3 - ap4))/4 - (a3*d4*m4*\sin(2*ap2 + 2*ap3 + ap4))/4 - (a1*a2*m2*s2)/2 + 2*a1*a2*m3*s2 + a1*a2*m4*s2 - a2*d4*m4*\cos(2*ap2 + ap3) + (a2*a3*m3*\sin(2*ap2 + ap3))/2 + a2*a3*m4*\sin(2*ap2 + ap3) - (a1*d4*m4*s23c4 + c23s4)/4 - (a3*d4*m4*\sin(2*ap2 + 2*ap3 - ap4))/4 - a3*d4*m4*\cos(2*ap2 + 2*ap3) - (a1*d4*m4*s23c4 - c23s4)/4 - (a2*d4*m4*\sin(2*ap2 + ap3 + ap4))/4$$

$$H_{212} = H_{221} = 0$$

$$H_{213} = H_{231} = 0$$

$$H_{214} = H_{241} =$$

$$-(d4*m4*c4*(d4*s23c4 - c23s4 + 3*d4*c23 - 3*a3*s23 - 3*a2*s2 + d4*s23c4 + c23s4))/6$$

$$H_{222} = 0$$

$$H_{232} = H_{223} =$$

$$-(a2*(a3*m3*s3 + 2*a3*m4*s3 - 2*d4*m4*c3 - d4*m4*c4*s3))/2$$

$$H_{242} = H_{224} =$$

$$(d4*m4*(3*a3*s4 - d4*2s4c4 + 3*a2*c3*s4))/6$$

$$H_{233} =$$

$$-(a2*(a3*m3*s3 + 2*a3*m4*s3 - 2*d4*m4*c3 - d4*m4*c4*s3))/2$$

$$H_{243} = H_{234} =$$

$$(d4*m4*s4*(3*a3 + 3*a2*c3 - 2*d4*c4))/6$$

$$H_{244} = (d4*m4*c4*(d4 + a2*s3))/2$$

$$H_{311} =$$

$$(d4^2*m4*\cos(2*ap2 + 2*ap3 + ap4))/4 + (d4^2*m4*\cos(2*ap2 + 2*ap3 - ap4))/4 + (d4^2*m4*\sin(2*ap2 + 2*ap3 - 2*ap4))/24 + (d4^2*m4*\sin(2*ap2 + 2*ap3 + 2*ap4))/24 + (a3^2*m3*2s23c23)/6 + (a3^2*m4*2s23c23)/2 - (5*d4^2*m4*2s23c23)/12 - a1*d4*m4*c23 + (a1*a3*m3*s23)/2 + a1*a3*m4*s23 - (a2*d4*m4*s34)/8 - (a2*d4*m4*\sin(2*ap2 + ap3 - ap4))/8 - (a3*d4*m4*\sin(2*ap2 + 2*ap3 + ap4))/4 - (a2*d4*m4*c3)/2 + (a2*a3*m3*s3)/4 + (a2*a3*m4*s3)/2 - (a2*d4*m4*\cos(2*ap2 + ap3))/2 + (a2*a3*m3*\sin(2*ap2 + ap3))/4 + (a2*a3*m4*\sin(2*ap2 + ap3))/2 - (a2*d4*m4*\sin(ap3 - ap4))/8 - (a1*d4*m4*s23c4 + c23s4)/4 - (a3*d4*m4*\sin(2*ap2 + 2*ap3 - ap4))/4 - a3*d4*m4*\cos(2*ap2 + 2*ap3) - (a1*d4*m4*s23c4 - c23s4)/4 - (a2*d4*m4*\sin(2*ap2 + ap3 + ap4))/8$$

$$H_{312} = H_{321} = 0$$

$$H_{313} = H_{331} = 0$$

$$H_{314} = H_{341} =$$

$$-(d4*m4*c4*(d4*s23c4 - c23s4 + 3*d4*c23 - 3*a3*s23 + d4*s23c4 + c23s4))/6$$

$$H_{322} =$$

$$(a2*(a3*m3*s3 + 2*a3*m4*s3 - 2*d4*m4*c3 - d4*m4*c4*s3))/2$$

$$H_{323} = H_{332} = 0$$

$$H_{324} = H_{342} = (d4*m4*(3*a3*s4 - d4*2s4c4))/6$$

$$H_{333} = 0$$

$$H_{334} = H_{343} = (d4*m4*(3*a3*s4 - d4*2s4c4))/6$$

$$H_{344} = (d4^2*m4*c4)/2$$

$$H_{411} =$$

$$-(d4*m4*s4*((3*a3)/2 + (3*a3*\cos(2*ap2 + 2*ap3))/2 + (3*d4*2s23c23)/2 + 3*a1*c23 - (d4*\cos(2*ap2 + 2*ap3 + ap4))/2 + (3*a2*c3)/2 + d4*c4 + (3*a2*\cos(2*ap2 + ap3))/2 - (d4*\cos(2*ap2 + 2*ap3 - ap4))/2))/6$$

$$H_{412} = H_{421} =$$

$$(d4*m4*c4*(d4*s23c4 - c23s4 + 3*d4*c23 - 3*a3*s23 - 3*a2*s2 + d4*s23c4 + c23s4))/6$$

$$H_{413} = H_{431} =$$

$$(d4*m4*c4*(d4*s23c4 - c23s4 + 3*d4*c23 - 3*a3*s23 + d4*s23c4 + c23s4))/6$$

$$H_{414} = H_{441} = 0$$

$$H_{422} = -(d4*m4*s4*(3*a3 + 3*a2*c3 - 2*d4*c4))/6$$

$$H_{423} = H_{432} = -(d4*m4*(3*a3*s4 - d4*2s4c4))/6$$

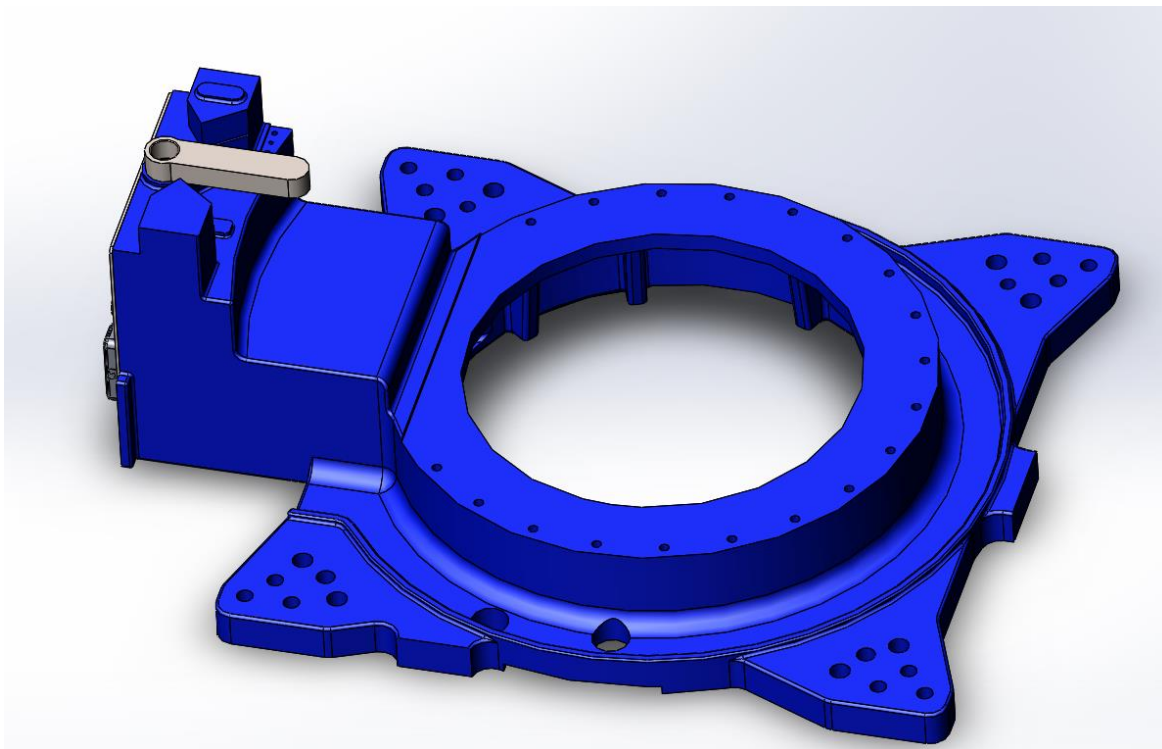
$$H_{424} = H_{442} = 0$$

$$H_{433} = -(d4*m4*(3*a3*s4 - d4*2s4c4))/6$$

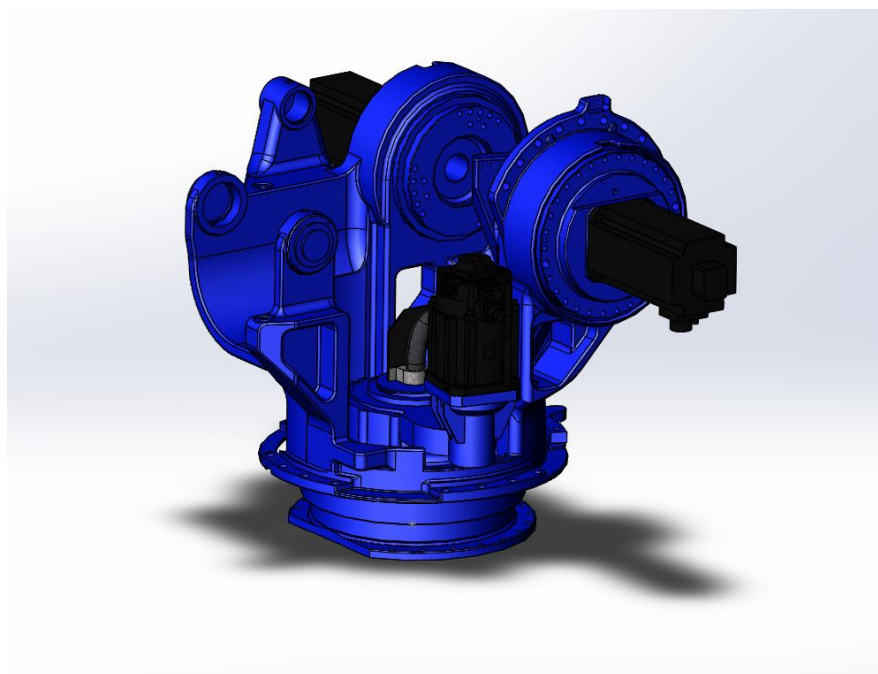
$$H_{434} = H_{443} = H_{444} = 0$$



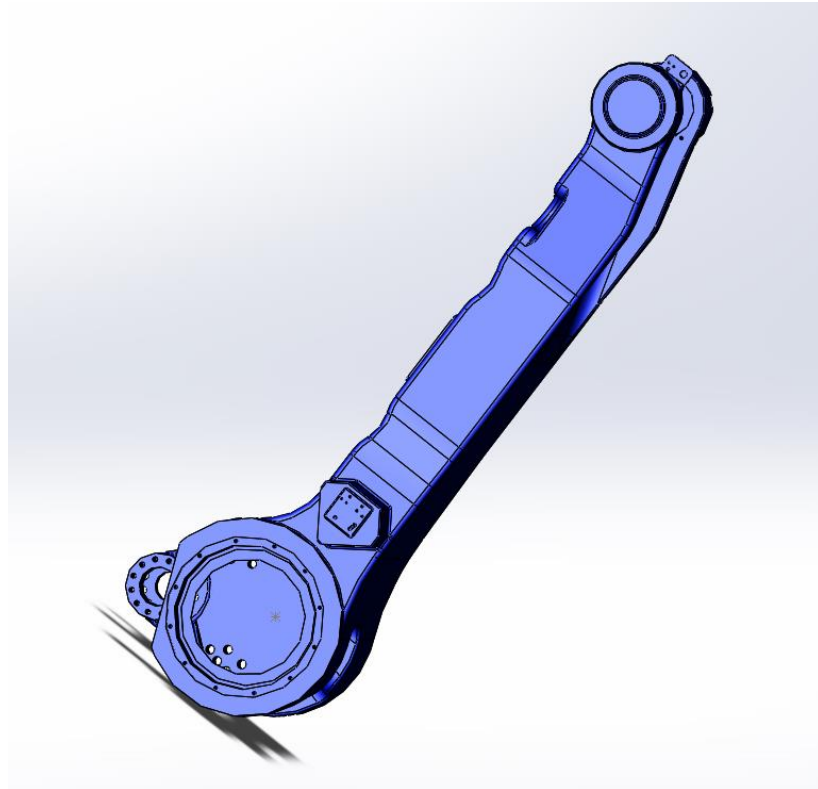
### 6.3 Mô hình 3D mô phỏng Robot MPL800II



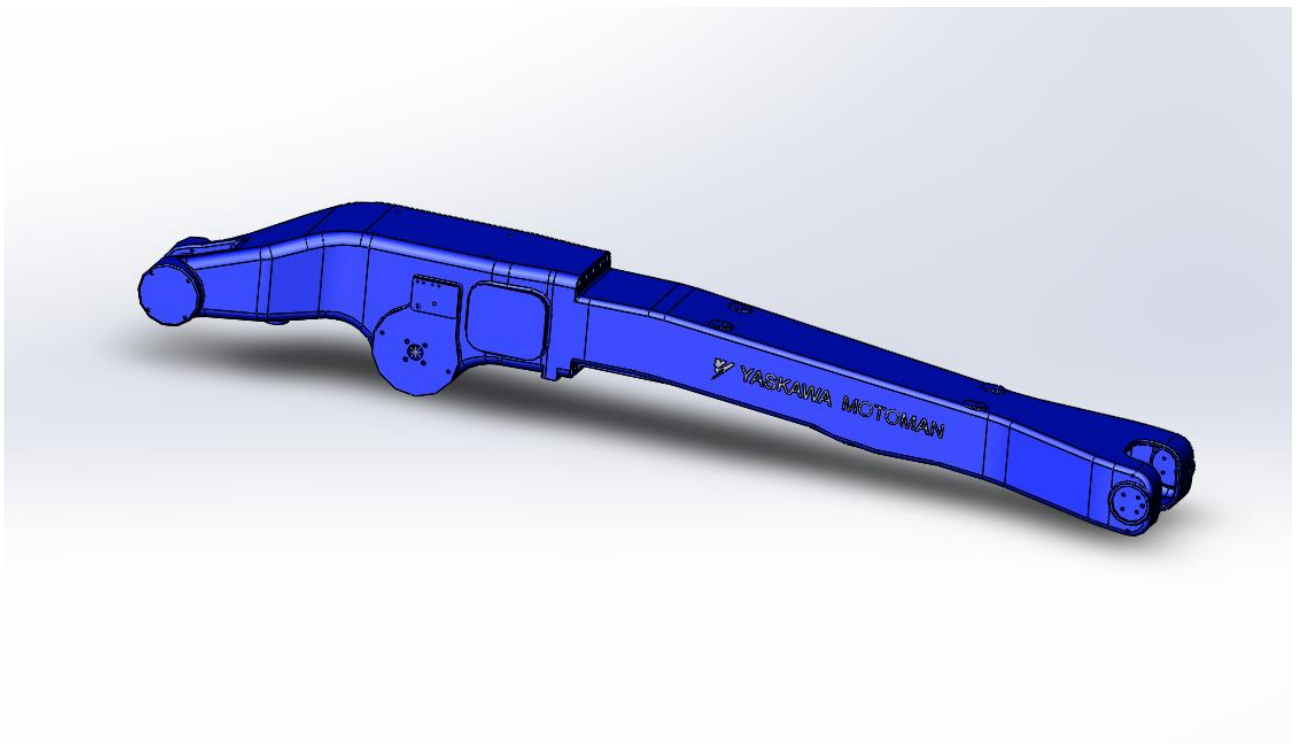
Hình 6.3.1 Chân đế



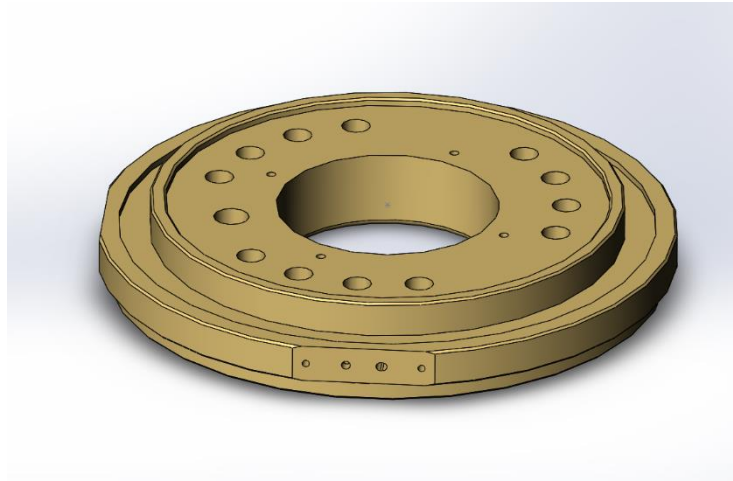
Hình 6.3.2 Khâu tác động thứ nhất



Hình 6.3.3 Khâu tác động thứ hai



Hình 6.3.4 Khâu tác động thứ 3

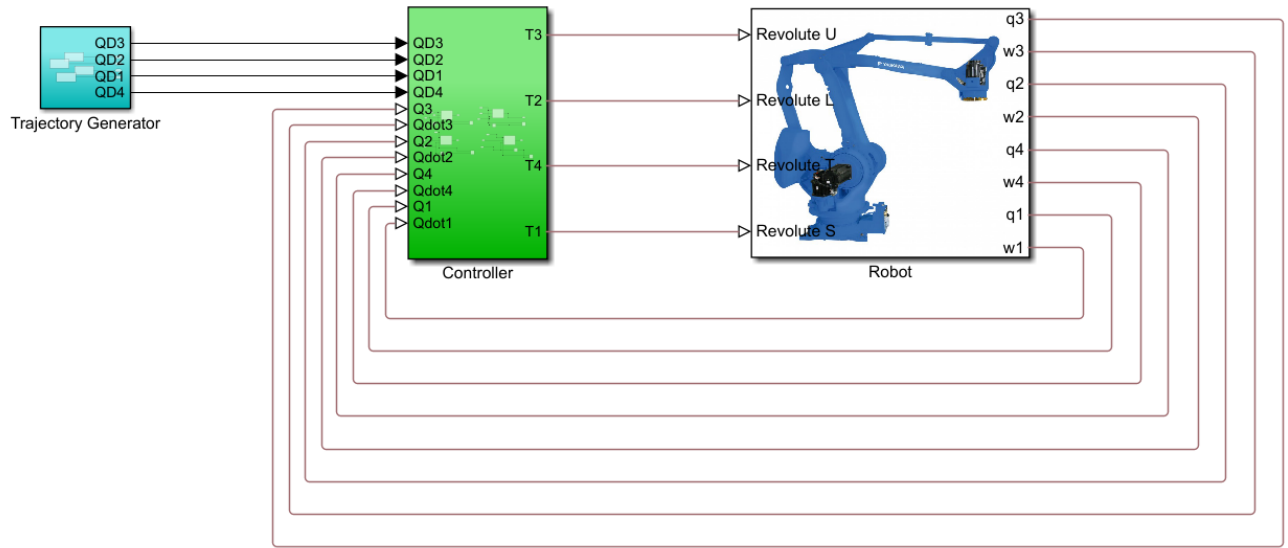


Hình 6.3.5 Khâu tác động cuối



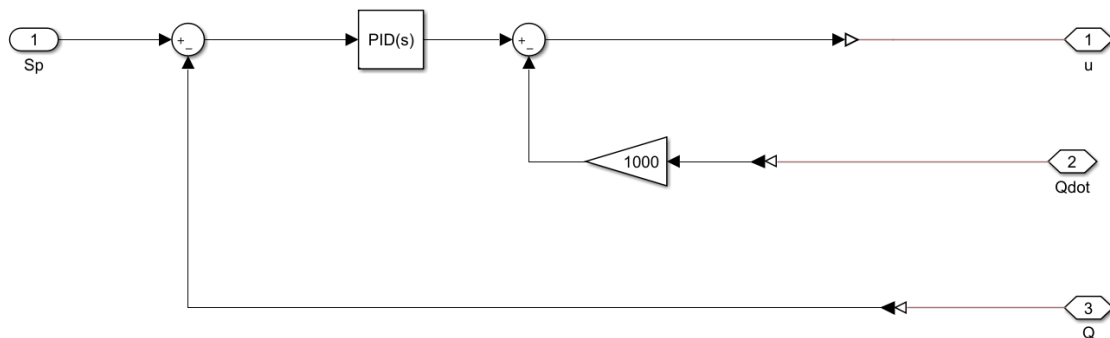
Hình 6.3.6 Hình mô phỏng cánh tay robot MPL800II

## 6.4 Mô hình Simmechanics/Matlab:



Hình 6.4.1 Sơ đồ tổng thể điều khiển Robot trên Matlab

Sử dụng bộ điều khiển PID kết hợp bù tốc độ khớp:

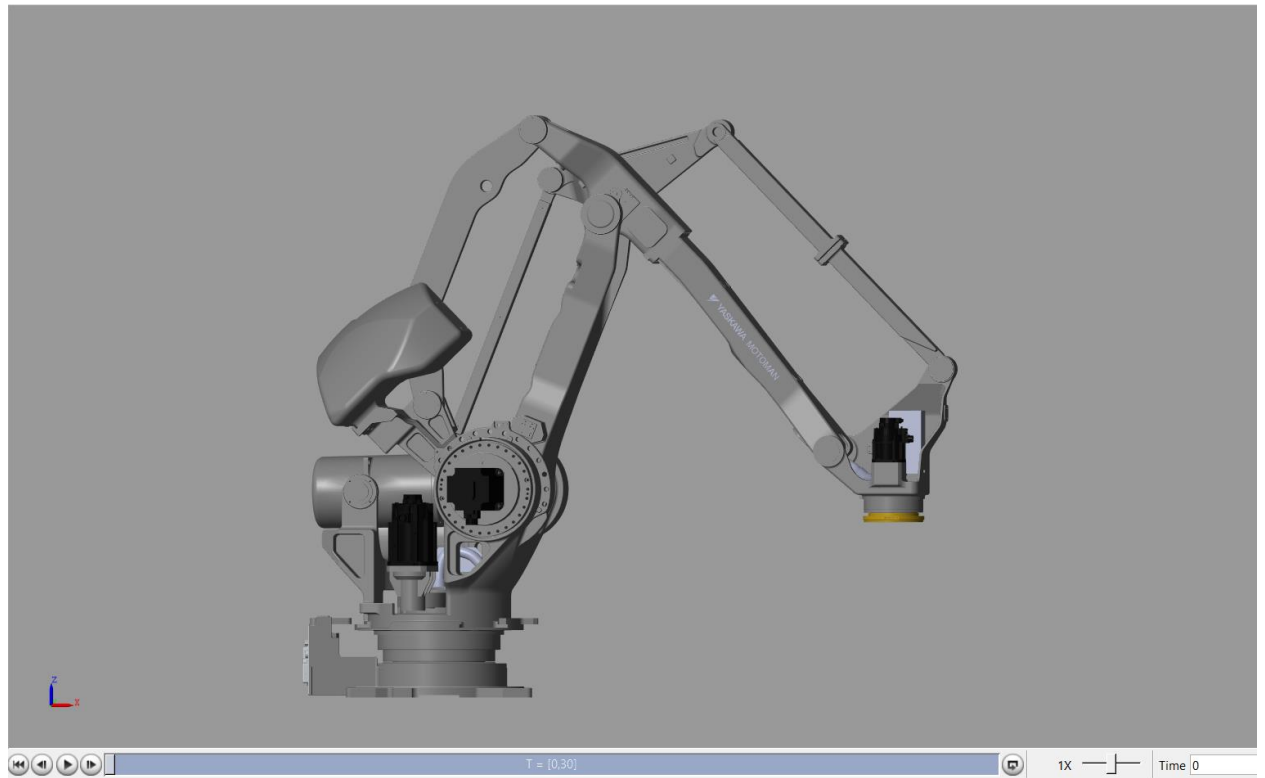


Hình 6.4.2 Sơ đồ bộ điều khiển PI

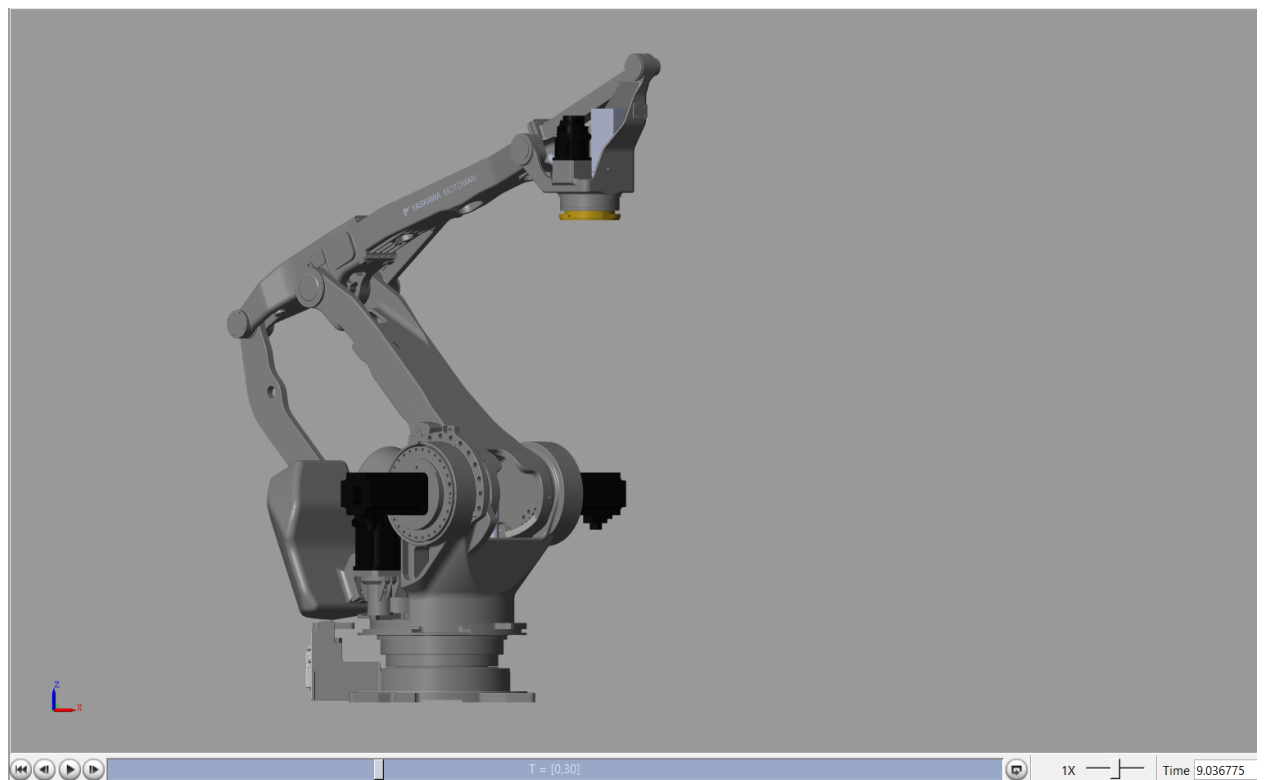
Trong đó  $Sp$  là tín hiệu đặt,  $u$  là tín hiệu điều khiển,  $Q$  là giá trị các biến khớp,  $Qdot$  là vận tốc khớp

Các tham số của bộ điều khiển PID được chỉnh định bằng MATLAB

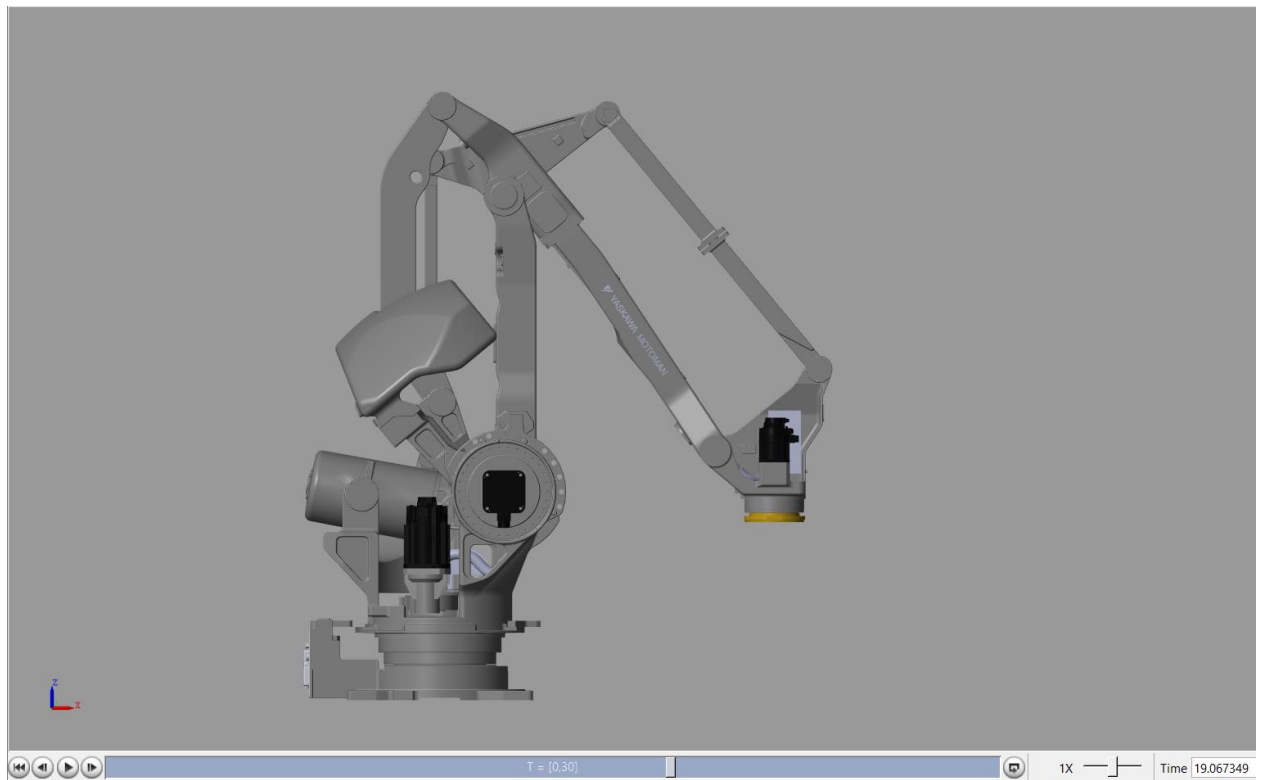
Kết quả mô phỏng:



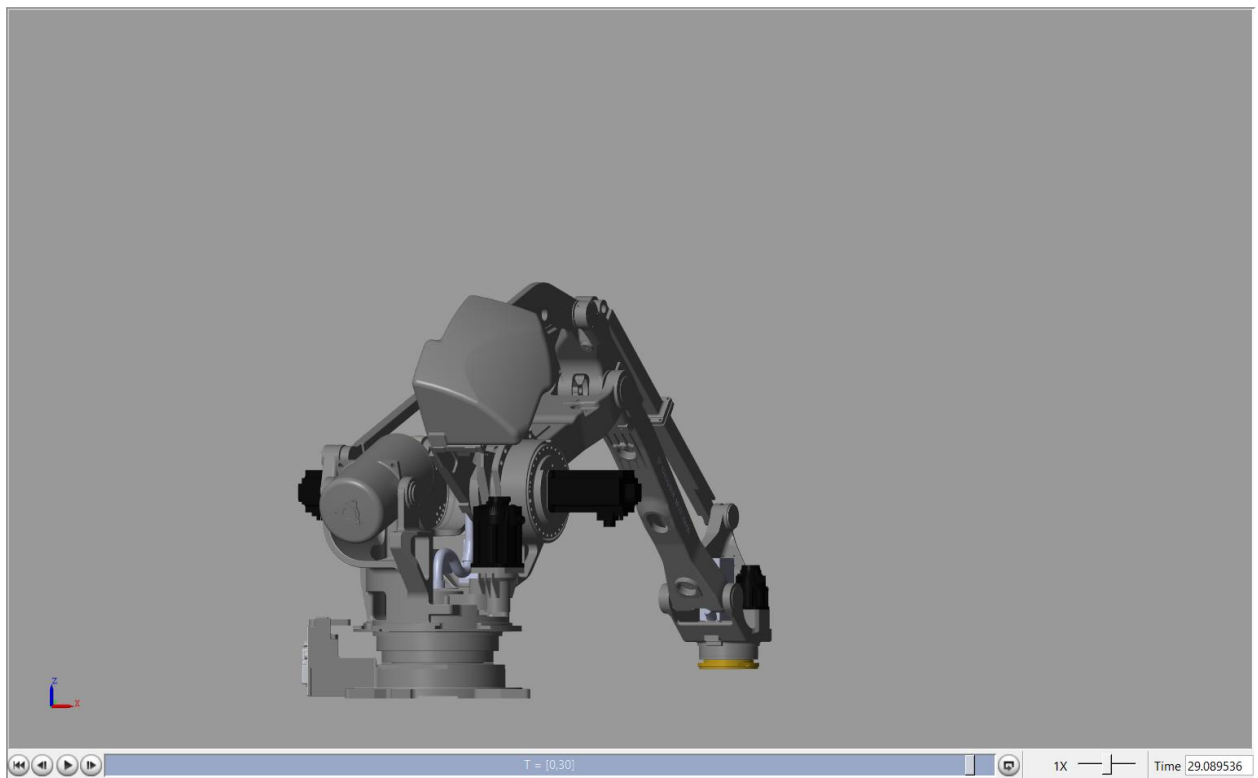
Hình 6.4.3 Vị trí ban đầu



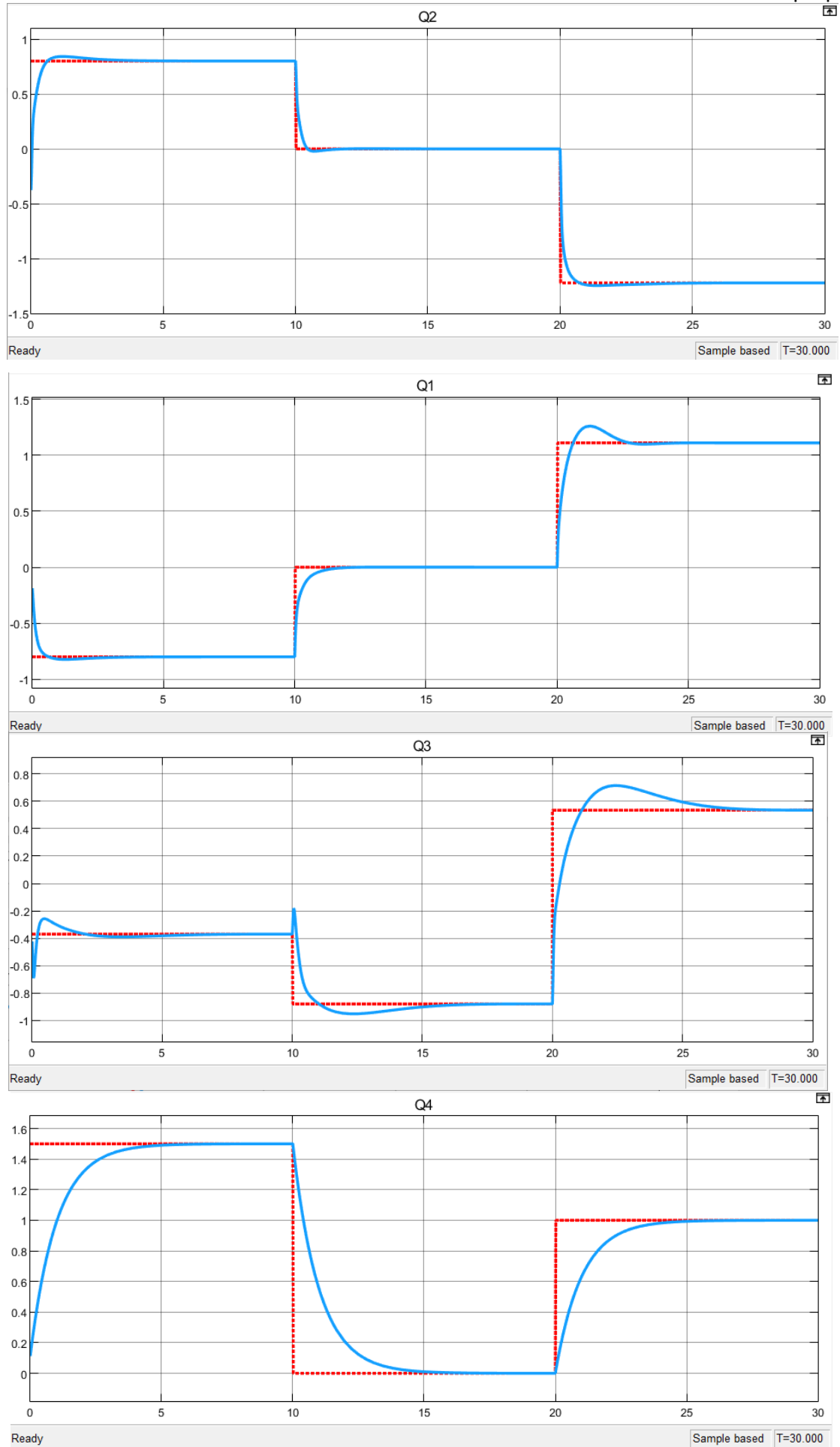
Hình 6.4.4 Vị trí thứ nhất



Hình 6.4.5 Vị trí thứ hai



Hình 6.4.6 Vị trí thứ ba



Hình 6.6.7 Đồ thị tín hiệu mô phỏng bám theo tín hiệu đặt

# KẾT LUẬN

Sau một thời gian học tập và tìm hiểu kỹ lưỡng cùng với sự hướng dẫn nhiệt tình của cô giáo **PGS. TS. Nguyễn Phạm Thục Anh**, chúng em đã hoàn thành đề tài “ **Tìm hiểu về Robot MPL800II**”. Nội dung báo cáo của nhóm gồm 6 chương:

Chương 1: GIỚI THIỆU ROBOT MPL800 II

Chương 2: ĐỘNG HỌC THUẬN CỦA ROBOT MPL800 II

Chương 3: MA TRẬN JACOBY

Chương 4: ĐỘNG HỌC ĐẢO CỦA ROBOT MPL800II

Chương 5 : THIẾT KẾ QUỲ ĐẠO BẬC 3 CHO CÁC KHỚP ROBOT

Chương 6 : XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CHO ROBOT MPL800II

Tuy nhiên do còn hạn chế về kiến thức nên trong báo cáo còn nhiều chỗ chưa đầy đủ và cụ thể hoặc chúng em chưa đề cập sâu.

Chúng em rất mong được sự đóng góp ý kiến của cô giáo để báo cáo của nhóm em được hoàn thiện đầy đủ hơn. Cuối cùng em xin chân thành cảm ơn cô Nguyễn Phạm Thục Anh đã hết sức nhiệt tình giúp đỡ chúng em.

Chúng em xin chân thành cảm ơn !

**Nhóm sinh viên thực hiện : KSTN – ĐKTĐ K62**

**Trịnh Minh Nhật – 20170144**

**Nguyễn Đình Minh – 20170031**

**Nguyễn Xuân Khải – 20173970**

**Phạm Nguyễn Minh Đức – 20173038**



# TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. M. Murray, Z. Li, S. S. Sastry, and S. S. Sastry, *A mathematical introduction to robotic manipulation*. CRC press, 1994.
- [2] K. M. Lynch and F. C. Park, *Modern Robotics*. Cambridge University Press, 2017.
- [3] M. T. Nguyễn, *Điều khiển robot công nghiệp*. Khoa học và kỹ thuật, 2007.