

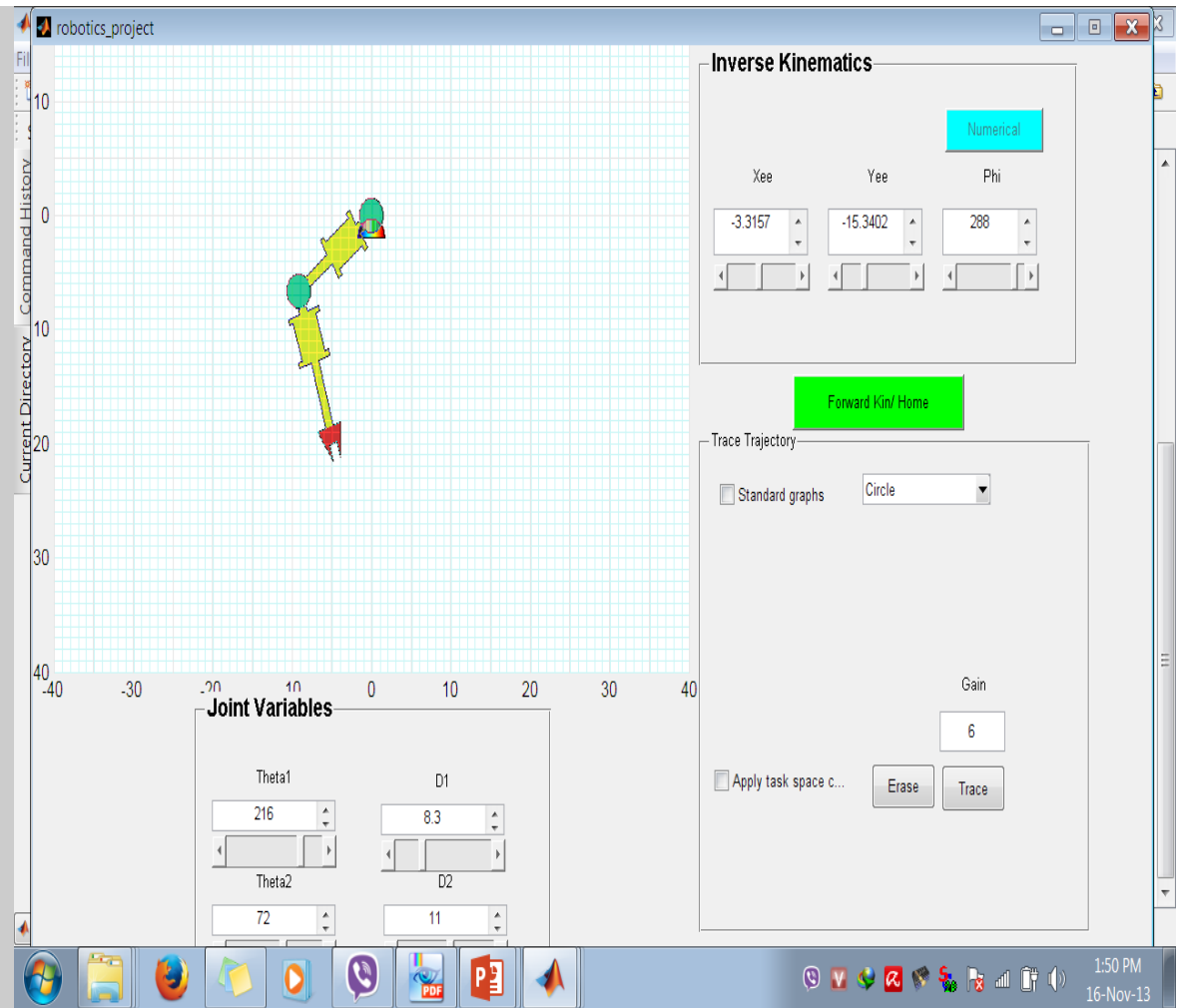
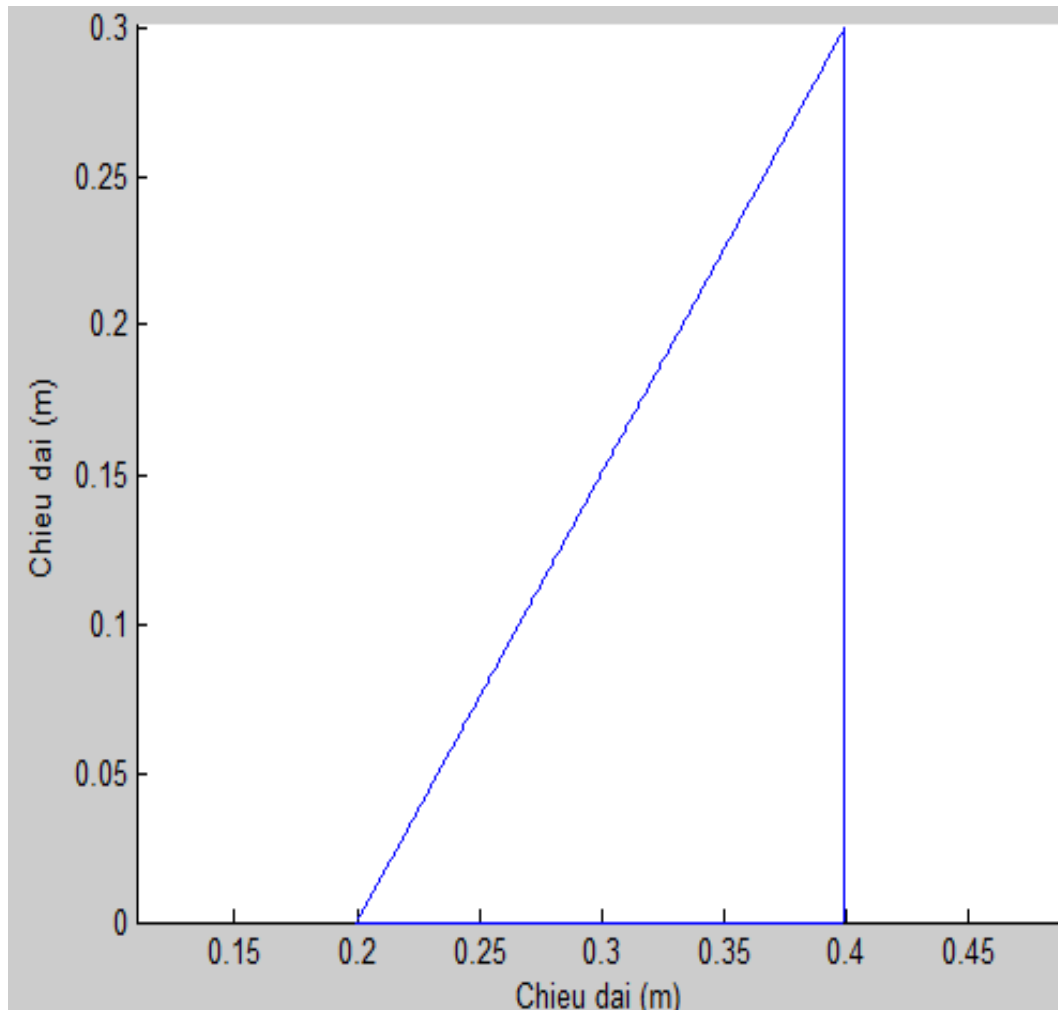
ĐỘNG LỰC HỌC VÀ ĐIỀU KHIỂN ROBOT.

Th.S Nguyễn Tấn Phúc.

Tel: 01267102772.

phucnt@hcmuaf.edu.vn

ROBOT CONTROL PROBLEM



CÁC BƯỚC THỰC HIỆN ĐIỀU KHIỂN ROBOT

1. Viết ma trận D-H cho robot.
2. Viết phương trình Động học robot.
3. Viết phương trình quỹ đạo cần điều khiển cho robot.
4. Giải bài toán động học ngược để tìm vị trí , vận tốc của robot theo quỹ đạo cần điều khiển
5. Xây dựng luật điều khiển(momen , lực tại các khớp) để các khớp dịch chuyển đúng quỹ đạo đã hoạch định.
6. Phân tích sai số, đánh giá kết quả bám qua các luật điều khiển.

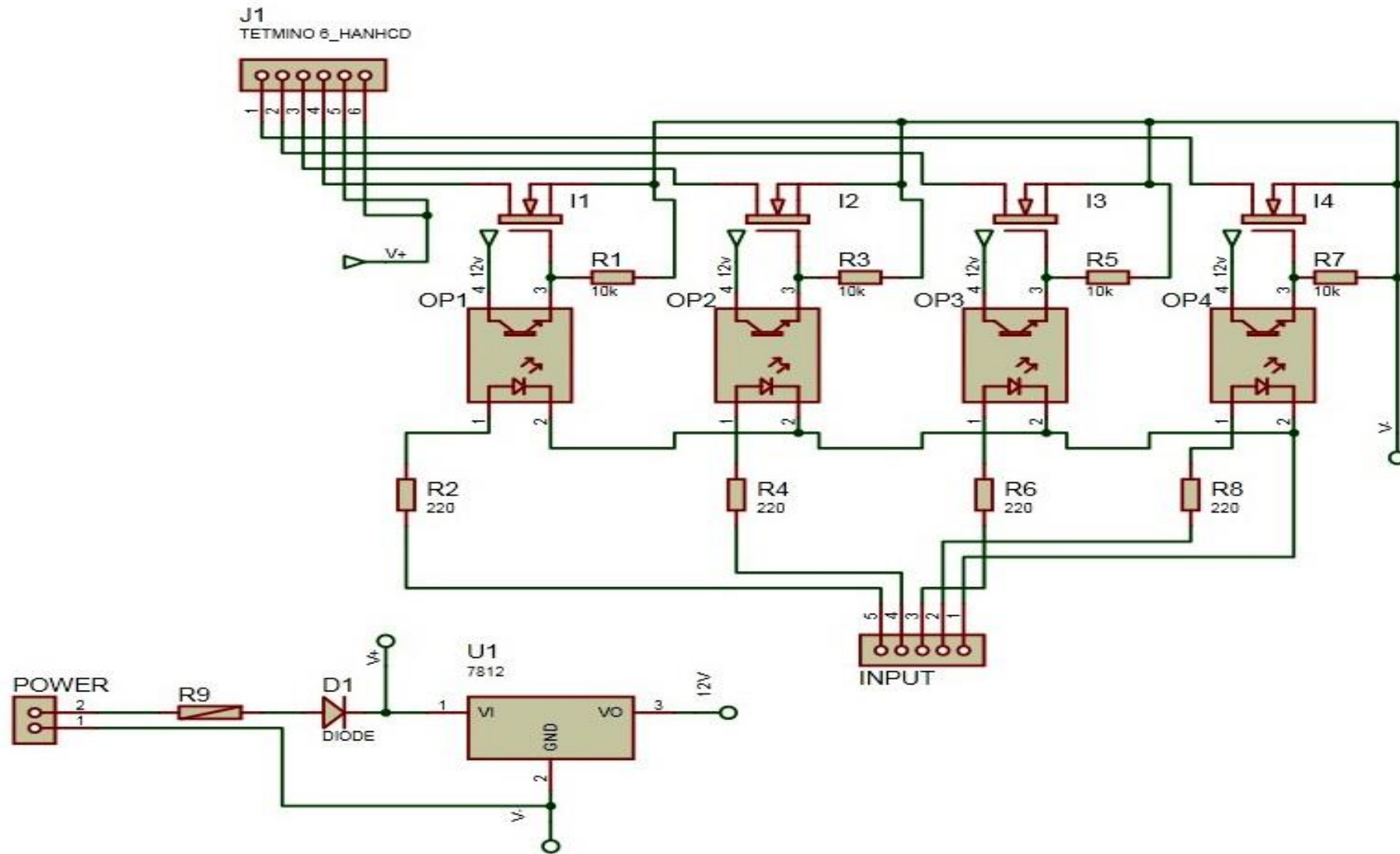
Điều khiển các khớp trong robot :

Dựa vào quỹ đạo hoạch định của robot , ta điều khiển chuyển động cho các biến khớp của robot đúng theo quy luật cần chuyển động để robot đạt được chuyển động mong muốn.

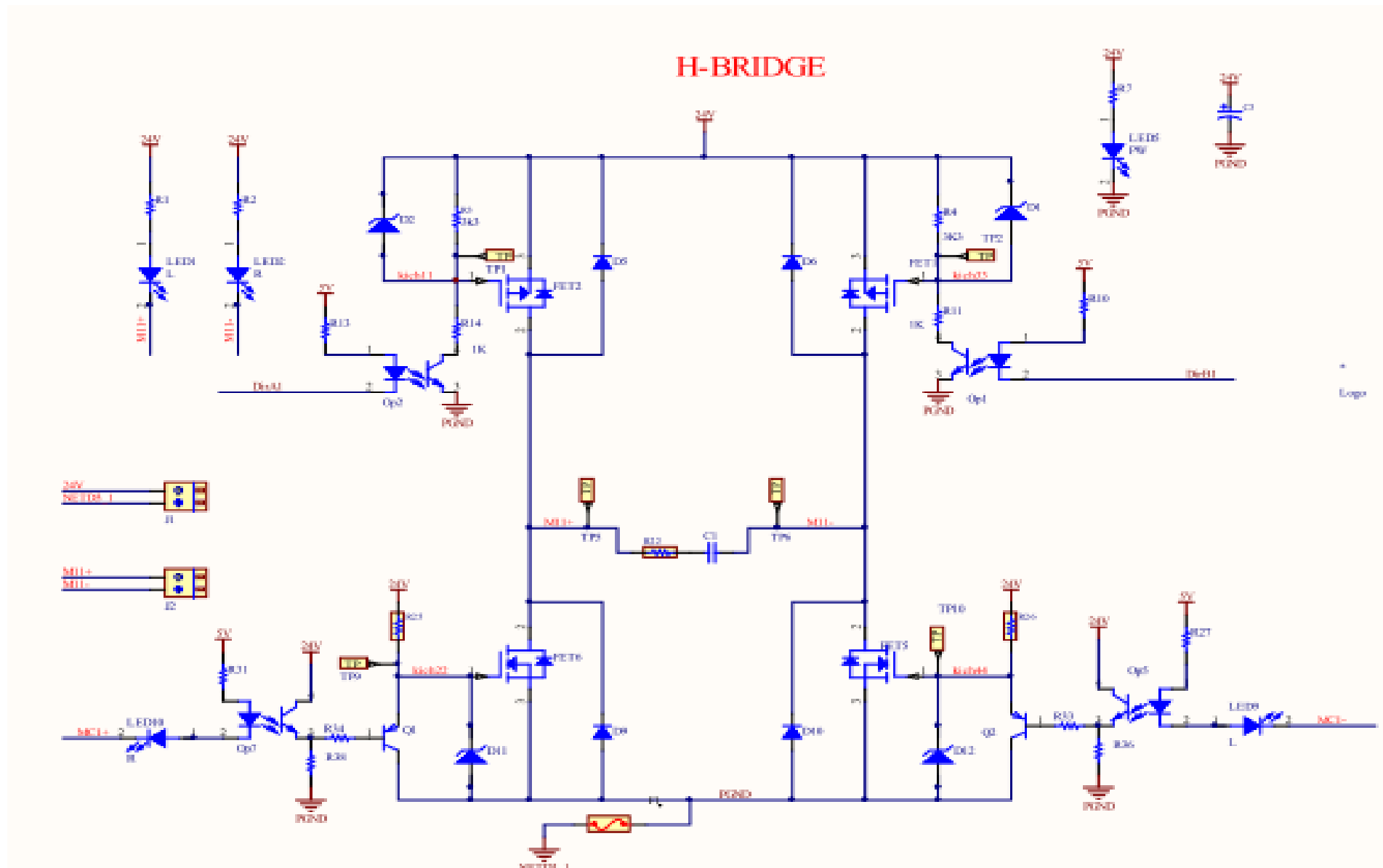
Việc điều khiển các biến khớp thông qua các tác động của của momen (khớp xoay), Lực (chuyển động tịnh tiến) theo phương trình động lực học của chúng.

Các khớp được cấu tạo bởi nguồn động lực là dc motor , step motor nên quay về bài toán điều khiển các cơ cấu tác động này.

ĐIỀU KHIỂN STEP-MOTOR



ĐIỀU KHIỂN DC MOTOR-PWM



MỘT VÍ DỤ ĐIỀU KHIỂN ROBOT

Cho robot 2 khâu , 2 khớp đồng trục như hình vẽ

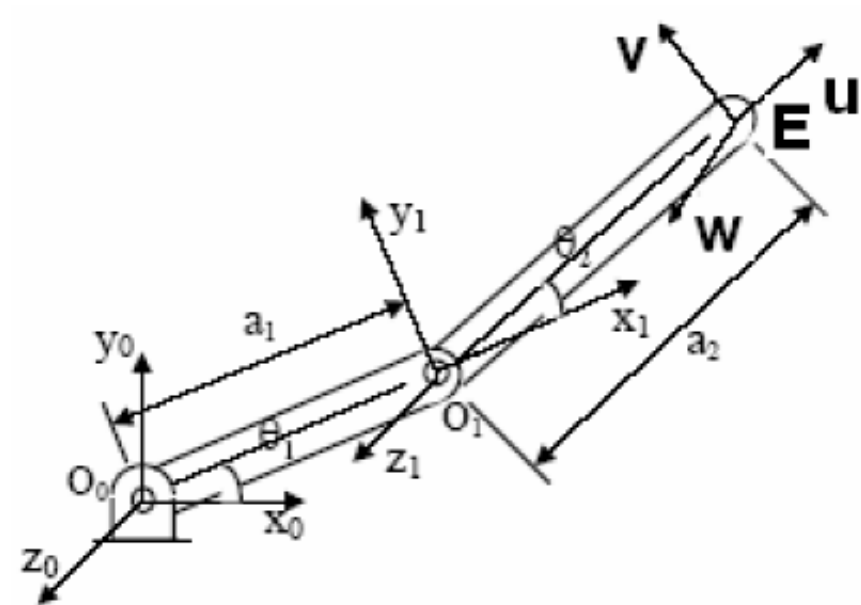
Thiết kế luật điều khiển để điểm E bám theo quỹ đạo vòng tròn có phương trình

$$x(t) = 0.25 + 0.1.\cos(0.05t)$$

$$y(t) = 0.25 + 0.1.\sin(0.05t)$$

($t=0 \rightarrow 150$ giây)

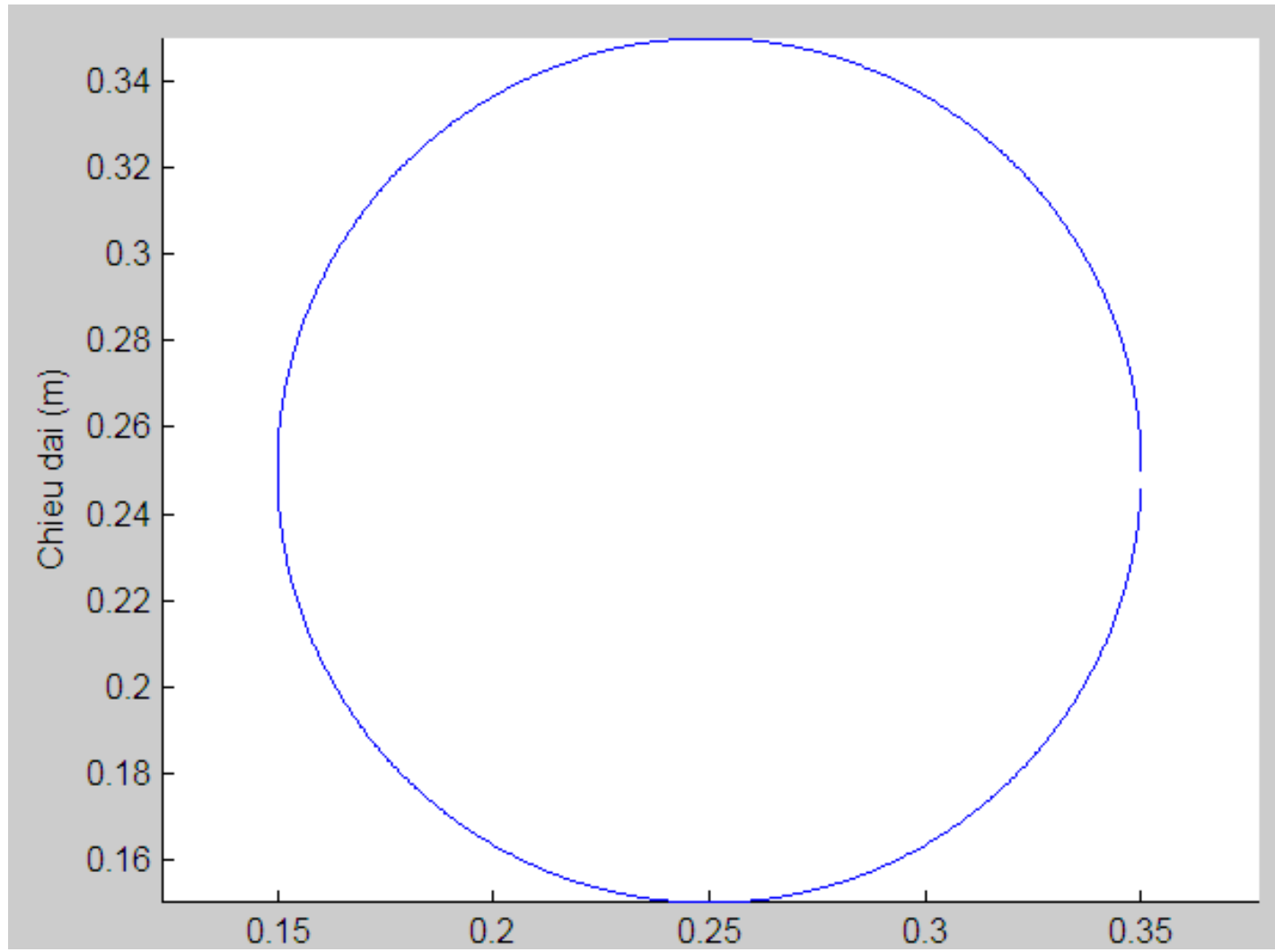
Biết $a_1 = 0.25$ m, $a_2 = 0.25$ m



Xây dựng quỹ đạo BẮM hình tròn cho robot

```
close all;
clear all;
% in ra cau 'Please wait' de nhan biet chuong trinh bat dau chay
disp('Please wait');
% thoi gian chu ky (sampling time)
dt=0.1;
% so vong lap tuong ung voi 125 giay
n=1250;
% KHOI TAO BIEN BAN DAU
% thoi gian bat dau
t(1)=0;
% toa do diem R ban dau
xr(1)=0.35; yr(1)=0.25;
%== Vong lap chuong trinh chinh
=====
for i=2:n
%thoi gian t (giay)
    t(i)=(i-1)*dt;
% Vi tri diem R tham chieu tren qui dao tai thoi diem i
xr(i) = 0.25 + 0.1*cos(0.05*t(i));
yr(i) = 0.25 + 0.1*sin(0.05*t(i));
end;
%===het vong lap=====
save duongtron n xr yr;
hold on;
% hien thi qui dao: duong xanh duong: qui dao tham chieu (diem R) - duong xanh
la cay: qui dao diem E
plot(xr,yr);    xlabel('Chieu dai (m)');    ylabel('Chieu dai (m)');
axis equal;
% in ra cau 'Done' de nhan biet chuong trinh ket thuc
disp('Done');
```

Xây dựng quỹ đạo BẮM hình tròn cho robot



BÀI TOÁN ĐỘNG HỌC CHO ROBOT

Khâu	a	α	d	θ
1	a_1	0	0	θ_1
2	a_2	0	0	θ_2

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & a_1C_1 \\ S_1 & C_1 & 0 & a_1S_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1T_2 = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & a_2C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & a_2S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0T_2 = {}^0T_1 {}^1T_2 = \begin{bmatrix} C_{12} & -S_{12} & 0 & a_2C_{12} + a_1C_1 \\ S_{12} & C_{12} & 0 & a_2S_{12} + a_1S_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

BÀI TOÁN ĐỘNG HỌC CHO ROBOT

Phương trình động học thuận (vị trí)

$${}^0P = \begin{bmatrix} x_E \\ y_E \\ z_E \\ 1 \end{bmatrix} = {}^0T_2 \cdot {}^2P = \begin{bmatrix} C_{12} & -S_{12} & 0 & a_1C_1 + a_2C_{12} \\ S_{12} & C_{12} & 0 & a_1S_1 + a_2S_{12} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1C_1 + a_2C_{12} \\ a_1S_1 + a_2S_{12} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Động học ngược vị trí

$${}^0T_1^{-1} {}^0T_2 = \begin{bmatrix} C_{\theta_2} & -S_{\theta_2} & 0 & x_E C_{\theta_1} + y_E S_{\theta_1} - a_1 \\ S_{\theta_2} & C_{\theta_2} & 0 & -x_E S_{\theta_1} + y_E C_{\theta_1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & a_2C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & a_2S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

BÀI TOÁN ĐỘNG HỌC CHO ROBOT

Đồng nhất hóa 2 vế

$$\cos \theta_2 = \frac{x_E^2 + y_E^2 - a_1^2 - a_2^2}{2.a_1.a_2}$$

$$\sin \theta_2 = \sqrt{1 - \cos^2 \theta_2}$$

$$\theta_2 = A \tan 2(\sin \theta_2, \cos \theta_2)$$

$$\sin \theta_1 = \frac{(a_1 + a_2 \cos \theta_2)y_E - a_2 \sin \theta_2 x_E}{x_E^2 + y_E^2}$$

$$\cos \theta_1 = \frac{(a_1 + a_2 \cos \theta_2)x_E + a_2 \sin \theta_2 y_E}{x_E^2 + y_E^2}$$

$$\theta_1 = A \tan 2(\sin \theta_1, \cos \theta_1)$$

Vận tốc dài điểm E

$$v_E = \begin{bmatrix} \dot{x}_E \\ \dot{y}_E \end{bmatrix} = J.\dot{\theta} = \begin{bmatrix} -a_1.S_1.\dot{\theta}_1 - (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2).a_2.S_{12} \\ a_1.C_1.\dot{\theta}_1 + (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2).a_2.C_{12} \end{bmatrix}$$

BÀI TOÁN ĐỘNG HỌC CHO ROBOT

Ma trận Jacobian

$$J = \begin{bmatrix} -a_1 S_1 - a_2 S_{12} & -a_2 S_{12} \\ a_1 C_1 + a_2 C_{12} & a_2 C_{12} \end{bmatrix} \quad J^{-1} = \frac{1}{a_1 a_2 S_2} \begin{bmatrix} a_2 C_{12} & a_2 S_{12} \\ -a_1 C_1 - a_2 C_{12} & -a_1 S_1 - a_2 S_{12} \end{bmatrix}$$

Vận tốc góc tại khớp (bài toán nghịch vận tốc)

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{a_1 a_2 S_2} \begin{bmatrix} a_2 C_{12} & a_2 S_{12} \\ -a_1 C_1 - a_2 C_{12} & -a_1 S_1 - a_2 S_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{Ex} \\ v_{Ey} \end{bmatrix}$$

LẬP TRÌNH CHO ROBOT CHẠY THEO QUỶ ĐẠO HÌNH TRÒN

close all;

clear all;

% in ra cau 'Please wait' de nhan biet chuong trinh bat dau chay

disp('Please wait');

% thoi gian chu ky (sampling time)

dt=0.1;

% so vong lap tuong ung voi 125 giay

n=1250;

% KHOI TAO BIEN BAN DAU

% thoi gian bat dau

t(1)=0;

% chieu dai khau

L1=0.25; L2=0.25;

% hang so duong k

k1=1; k2=1;

% toa do diem R ban dau

xr(1)=0.35; yr(1)=0.25;

% toa do diem E ban dau trung voi diem R

xe(1)=0.35; ye(1)=0.25;

% van toc diem R ban dau

vr(1)=0; vry(1)=0;

LẬP TRÌNH CHO ROBOT CHẠY THEO QUỠ ĐẠO HÌNH TRỒN

% gia tri ban dau cua bien khop

```
C2=(xe(1)^2+ye(1)^2-L1^2-L2^2)/(2*L1*L2);  
S2=sqrt(1-C2^2);
```

% goc theta 2 - cong thuc (1.2)

```
T2(1)=atan2(S2,C2);  
C1=((L1+L2*cos(T2(1)))*xe(1)+L2*sin(T2(1))*ye(1))/(xe(1)^2+ye(1)^2);  
S1=((L1+L2*cos(T2(1)))*ye(1)-L2*sin(T2(1))*xe(1))/(xe(1)^2+ye(1)^2);
```

% goc theta 1 - cong thuc (1.3)

```
T1(1)=atan2(S1,C1);
```

% gia tri van toc ban dau cua khop

```
dT1(1)=0;    dT2(1)=0;
```

% ve tay may o vi tri ban dau

```
line([0,L1*cos(T1(1)),xe(1)], [0,L2*sin(T1(1)),ye(1)]);
```

%== Vong lap chương trình chính

for i=2:n

%thời gian t (giây)

t(i)=(i-1)*dt;

% Vị trí điểm R tham chiếu trên quỹ đạo tại thời điểm i

xr(i) = 0.25 + 0.1*cos(0.05*t(i));

yr(i) = 0.25 + 0.1*sin(0.05*t(i));

%vận tốc điểm R tại thời điểm i

vr(i)=(xr(i)-xr(i-1))/dt;

vry(i)=(yr(i)-yr(i-1))/dt;

%vận tốc điểm E tại thời điểm i do R trung E

vex(i)=vr(i);

vey(i)=vry(i);

% Vận tốc góc các khớp tại thời điểm i - công thức (1.5)

dT1(i)=(cos(T1(i-1)+T2(i-1))*vex(i)+sin(T1(i-1)+T2(i-1))*vey(i))/(L1*sin(T2(i-1)));

dT2(i)=-((L1*cos(T1(i-1))+L2*cos(T1(i-1)+T2(i-1)))*vex(i)+(L1*sin(T1(i-1))+L2*sin(T1(i-1)+T2(i-1)))*vey(i))/(L1*L2*sin(T2(i-1)));

% Giá trị biến khớp tại thời điểm i

T1(i)=T1(i-1)+dT1(i)*dt;

T2(i)=T2(i-1)+dT2(i)*dt;

% Vị trí điểm E tại thời điểm i được dùng hình bang hình học

xe(i)=L1*cos(T1(i))+L2*cos(T1(i)+T2(i));

ye(i)=L1*sin(T1(i))+L2*sin(T1(i)+T2(i));

LẬP TRÌNH CHO ROBOT CHẠY THEO QUỸ ĐẠO HÌNH TRÒN

LẬP TRÌNH CHO ROBOT CHẠY THEO QUỶ ĐẠO HÌNH TRÒN

% ve cac khau 25 giay 1 lan

```
if mod(i,250) == 0
```

```
line([0,L1*cos(T1(i)),xe(i)],[0,L2*sin(T1(i)),ye(i)]);
```

```
end;
```

```
end;
```

```
%====het vong lap=====
```

```
hold on;
```

% hien thi qui dao: duong xanh duong: qui dao tham chieu (diem R) - duong xanh la

cay: qui dao diem E

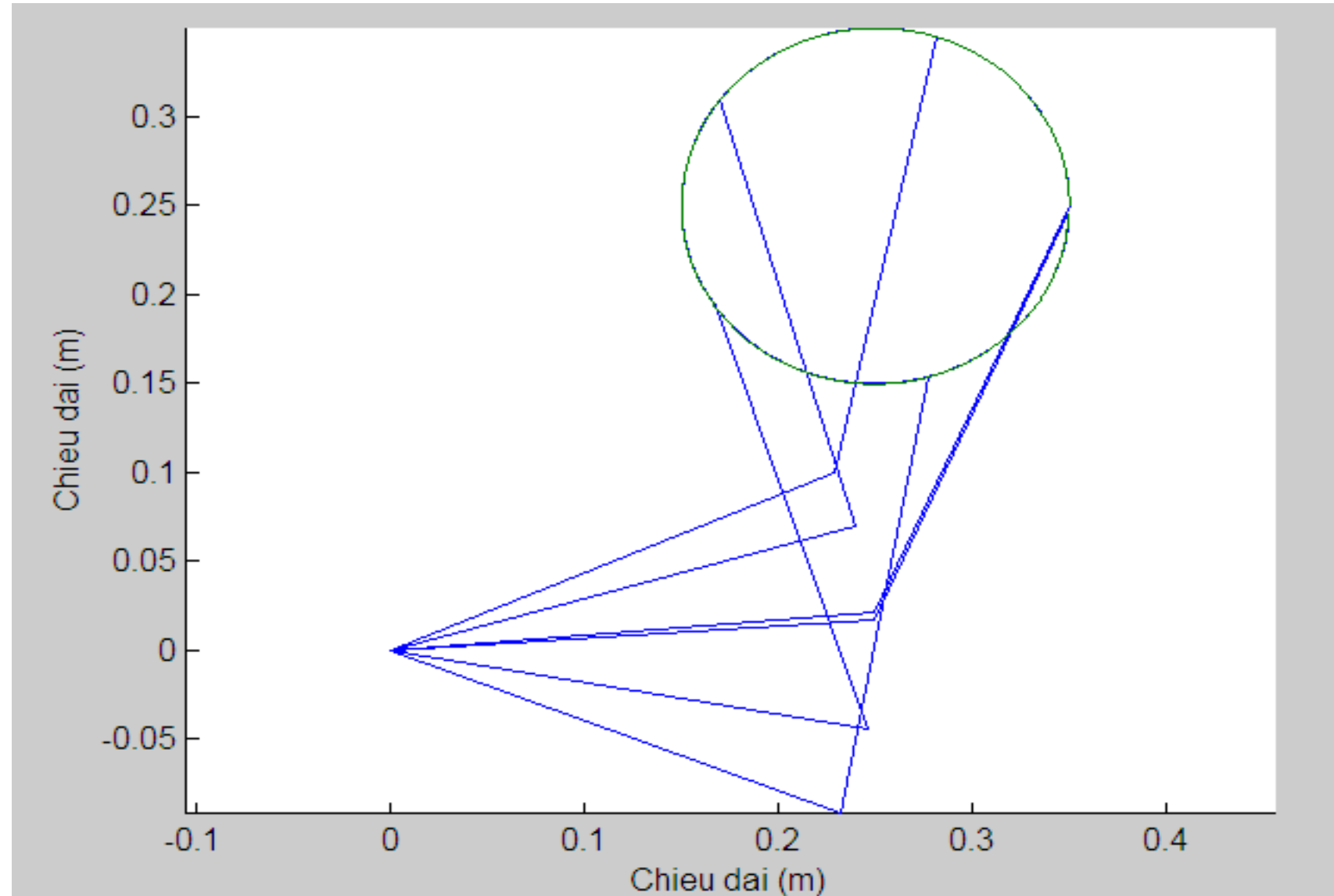
```
plot(xr,yr,xe,ye);
```

```
xlabel('Chieu dai (m)'); ylabel('Chieu dai (m)');
```

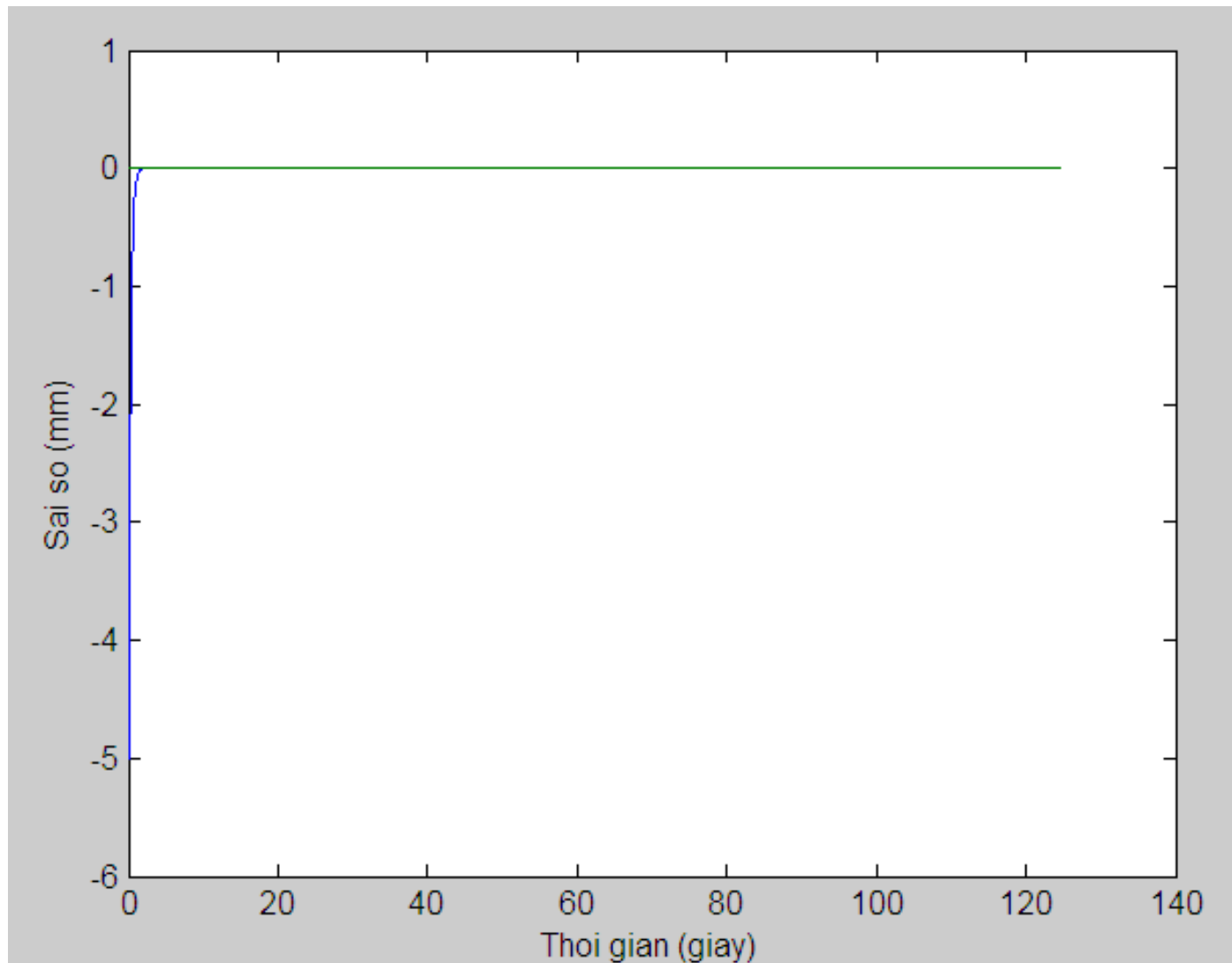
```
axis equal;
```

```
disp('Done');
```

KẾT QUẢ LẬP TRÌNH QUỶ ĐẠO CHO ROBOT



ĐÁNH GIÁ SAI SỐ KHI ĐIỀU KHIỂN



XÂY QUỲ ĐẠO BẮM HÌNH TAM GIÁC

Pha	Giây thứ	X(m)	Y(m)	v(m/s)
1	0	0.2	0	0
	30	0.4	0	0
2	45	0.4	0	0
	60	0.4	0.3	0
3	80	0.4	0.3	0
	120	0.2	0	0

$$X(t) = a_x + b_x(t - t_0) + c_x(t - t_0)^2 + d_x(t - t_0)^3$$

$$Y(t) = a_y + b_y(t - t_0) + c_y(t - t_0)^2 + d_y(t - t_0)^3$$

$$\Rightarrow \dot{X}(t) = b_x + 2c_x(t - t_0) + 3d_x(t - t_0)^2$$

$$\Rightarrow \dot{Y}(t) = b_y + 2c_y(t - t_0) + 3d_y(t - t_0)^2$$

XÂY QUỸ ĐẠO BÁM HÌNH TAM GIÁC

Pha 1 :

$$t_0 = 0 \Rightarrow X(t_0) = 0.2$$

$$t_1 = 30 \Rightarrow X(t_1) = 0.4$$

$$t_0 = 0 \Rightarrow \dot{X}(t_0) = 0$$

$$t_1 = 30 \Rightarrow \dot{X}(t_1) = 0$$

$\Rightarrow$

$$a_x = 0.2$$

$$b_x = 0$$

$$c_x = \frac{1}{1500}$$

$$d_x = -\frac{1}{67500}$$

$$t_0 = 0 \Rightarrow Y(t_0) = 0$$

$$t_1 = 30 \Rightarrow Y(t_1) = 0$$

$$t_0 = 0 \Rightarrow \dot{Y}(t_0) = 0$$

$$t_1 = 30 \Rightarrow \dot{Y}(t_1) = 0$$

$\Rightarrow$

$$a_y = 0$$

$$b_y = 0$$

$$c_y = 0$$

$$d_y = 0$$

XÂY QUỖ ĐẠO BÁM HÌNH TAM GIÁC

Pha 2 :

$$t_0 = 30 \Rightarrow X(t_0) = 0.4$$

$$t_1 = 45 \Rightarrow X(t_1) = 0.4$$

$$t_0 = 30 \Rightarrow \dot{X}(t_0) = 0$$

$$t_1 = 45 \Rightarrow \dot{X}(t_1) = 0$$

$\Rightarrow$

$$a_x = 0.4$$

$$b_x = 0$$

$$c_x = 0$$

$$d_x = 0$$

$$t_0 = 30 \Rightarrow Y(t_0) = 0$$

$$t_1 = 45 \Rightarrow Y(t_1) = 0$$

$$t_0 = 30 \Rightarrow \dot{Y}(t_0) = 0$$

$$t_1 = 45 \Rightarrow \dot{Y}(t_1) = 0$$

$\Rightarrow$

$$a_y = 0$$

$$b_y = 0$$

$$c_y = 0$$

$$d_y = 0$$

XÂY QUỸ ĐẠO BÁM HÌNH TAM GIÁC

Pha 3 :

$$t_0 = 45 \Rightarrow X(t_0) = 0.4$$

$$t_1 = 60 \Rightarrow X(t_1) = 0.4$$

$$t_0 = 45 \Rightarrow \dot{X}(t_0) = 0$$

$$t_1 = 60 \Rightarrow \dot{X}(t_1) = 0$$

$\Rightarrow$

$$a_x = 0.4$$

$$b_x = 0$$

$$c_x = 0$$

$$d_x = 0$$

$$t_0 = 45 \Rightarrow Y(t_0) = 0$$

$$t_1 = 60 \Rightarrow Y(t_1) = 0.3$$

$$t_0 = 45 \Rightarrow \dot{Y}(t_0) = 0$$

$$t_1 = 60 \Rightarrow \dot{Y}(t_1) = 0$$

$\Rightarrow$

$$a_y = 0$$

$$b_y = 0$$

$$c_y = \frac{1}{250}$$

$$d_y = -\frac{1}{5625}$$

XÂY QUỸ ĐẠO BÁM HÌNH TAM GIÁC

Pha 4 :

$$t_0 = 60 \Rightarrow X(t_0) = 0.4$$

$$a_x = 0.4$$

$$t_1 = 80 \Rightarrow X(t_1) = 0.4$$

$$b_x = 0$$

$$t_0 = 60 \Rightarrow \dot{X}(t_0) = 0$$

$\Rightarrow$

$$c_x = 0$$

$$t_1 = 80 \Rightarrow \dot{X}(t_1) = 0$$

$$d_x = 0$$

$$t_0 = 60 \Rightarrow Y(t_0) = 0.3$$

$$a_y = 0.3$$

$$t_1 = 80 \Rightarrow Y(t_1) = 0.3$$

$$b_y = 0$$

$$t_0 = 60 \Rightarrow \dot{Y}(t_0) = 0$$

$\Rightarrow$

$$c_y = 0$$

$$t_1 = 80 \Rightarrow \dot{Y}(t_1) = 0$$

$$d_y = 0$$

XÂY QUỸ ĐẠO BẢM HÌNH TAM GIÁC

Pha 5 :

$$t_0 = 80 \Rightarrow X(t_0) = 0.4$$

$$t_1 = 120 \Rightarrow X(t_1) = 0.2$$

$$t_0 = 80 \Rightarrow \dot{X}(t_0) = 0$$

$$t_1 = 120 \Rightarrow \dot{X}(t_1) = 0$$

$\Rightarrow$

$$a_x = 0.4$$

$$b_x = 0$$

$$c_x = -\frac{6}{16000}$$

$$d_x = \frac{1}{160000}$$

$$t_0 = 80 \Rightarrow Y(t_0) = 0.3$$

$$t_1 = 120 \Rightarrow Y(t_1) = 0$$

$$t_0 = 80 \Rightarrow \dot{Y}(t_0) = 0$$

$$t_1 = 120 \Rightarrow \dot{Y}(t_1) = 0$$

$\Rightarrow$

$$a_y = 0.3$$

$$b_y = 0$$

$$c_y = -\frac{36}{64000}$$

$$d_y = \frac{0.6}{64000}$$

XÂY DỰNG QUỶ ĐẠO BÁM HÌNH TAM GIÁC

```
% Chương trình tạo bộ số liệu của quỹ đạo đi chuyen lưu tên địa  
close all;  
clear all;  
% in ra câu 'Please wait' để nhận biết chương trình bắt đầu chạy  
disp('Please wait');  
% thời gian chu kỳ (sampling time)  
dt=0.1;    n=1199;  
% KHỞI TẠO BIẾN BAN ĐẦU  
% thời gian bắt đầu  
t(1)=0;  
% tọa độ điểm R ban đầu  
xr(1)=0.2; yr(1)=0;  
%== Vòng lặp chương trình chính  
=====
```

```
for i=2:n  
    %thời gian t (giây)  
    t(i)=(i-1)*dt;  
    t=t(i);  
    switch n < 1200  
        % pha 1  
        case t <= 30  
            t0=0;  
            ax=0.2;  bx=0;  cx=1/1500;  dx=-1/67500;  
            ay=0;    by=0;  cy=0;      dy=0;
```

XÂY DỰNG QUỸ ĐẠO BÁM HÌNH TAM GIÁC

% pha 2

case (t > 30)&(t<=45)

t0=30;

ax=0.4; bx=0; cx=0; dx=0;

ay=0; by=0; cy=0; dy=0;

% pha 3

case (t > 45)&(t<=60)

t0=45;

ax=0.4; bx=0; cx=0; dx=0;

ay=0; by=0; cy=1/250; dy=-1/5625;

pha 4

case (t>60) &(t<80)

t0=60;

ax=0.4; bx=0; cx=0; dx=0;

ay=0.3; by=0; cy=0; dy=0;

% pha 5

otherwise

t0=80;

ax=0.4; bx=0; cx=-6/16000; dx=1/160000;

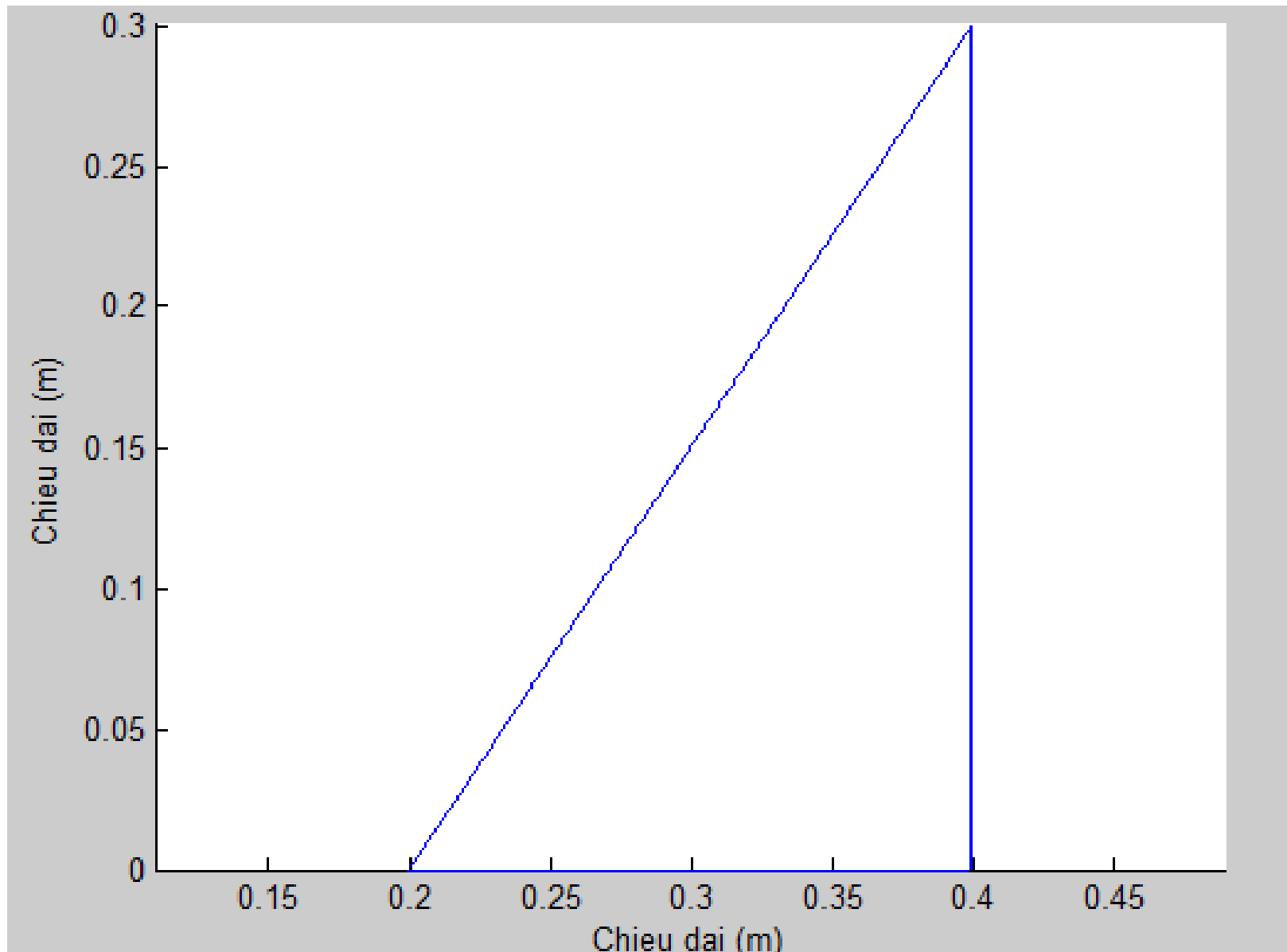
ay=0.3; by=0; cy=-36/64000; dy=0.6/64000;

end;

XÂY DỰNG QUỸ ĐẠO BẢM HÌNH TAM GIÁC

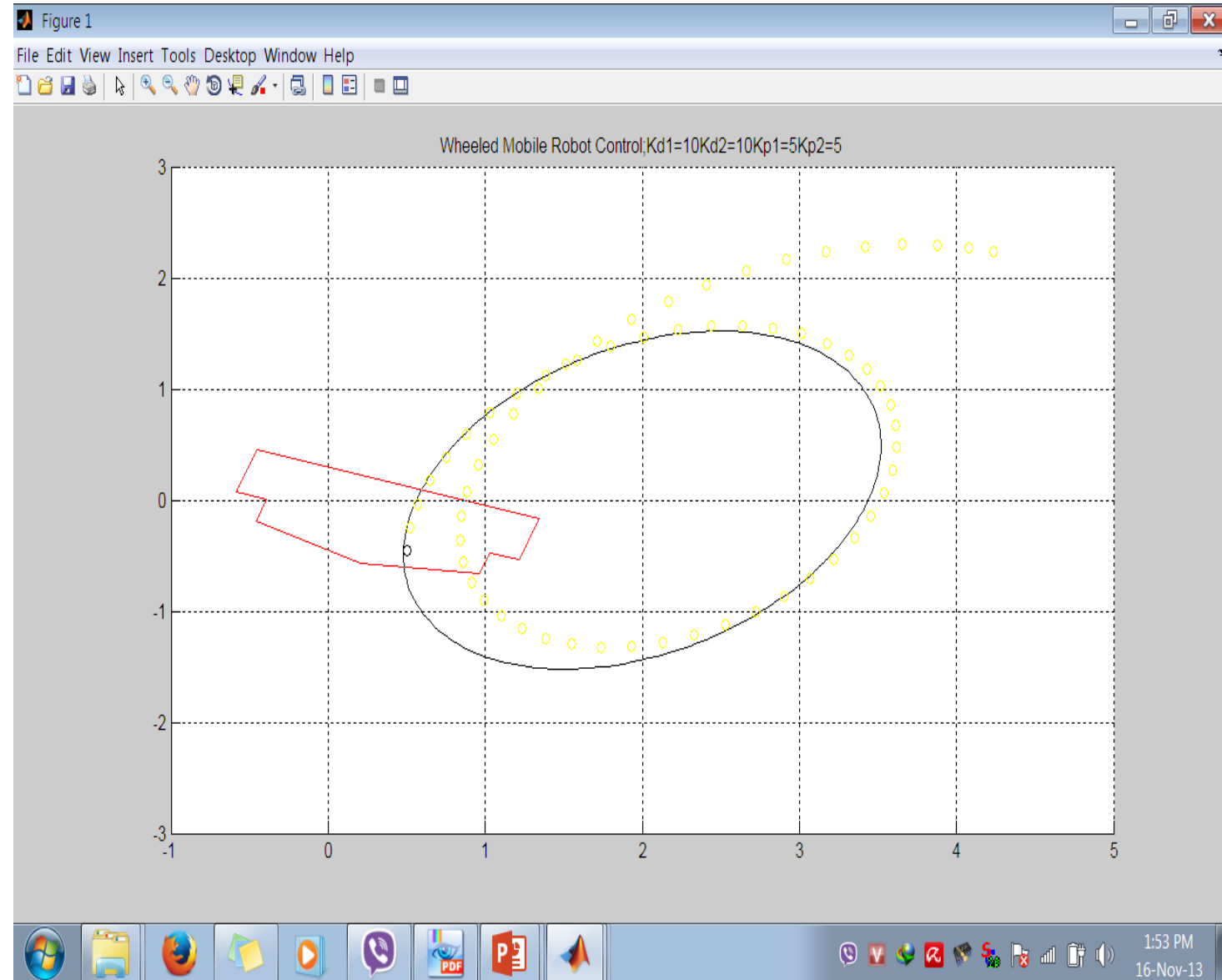
```
%thay vao cac thong so a,b,c,d ....
xr(i)=ax+bx*(t-t0)+cx*(t-t0)^2+dx*(t-t0)^3;
yr(i)=ay+by*(t-t0)+cy*(t-t0)^2+dy*(t-t0)^3;
end;
%====het vong lap=====
save tamgiac n xr yr;%
hold on;
% hien thi qui dao: duong xanh duong: qui dao tham chieu
(diem R) - duong xanh la cay: qui dao diem E
plot(xr,yr);                xlabel('Chieu dai (m)');
ylabel('Chieu dai (m)');
axis equal;
```

XÂY DỰNG QUỸ ĐẠO BÁM HÌNH TAM GIÁC



VIDEO ĐIỀU KHIỂN ROBOT

LINK VIDEO.



THE END OF CHAPTER...