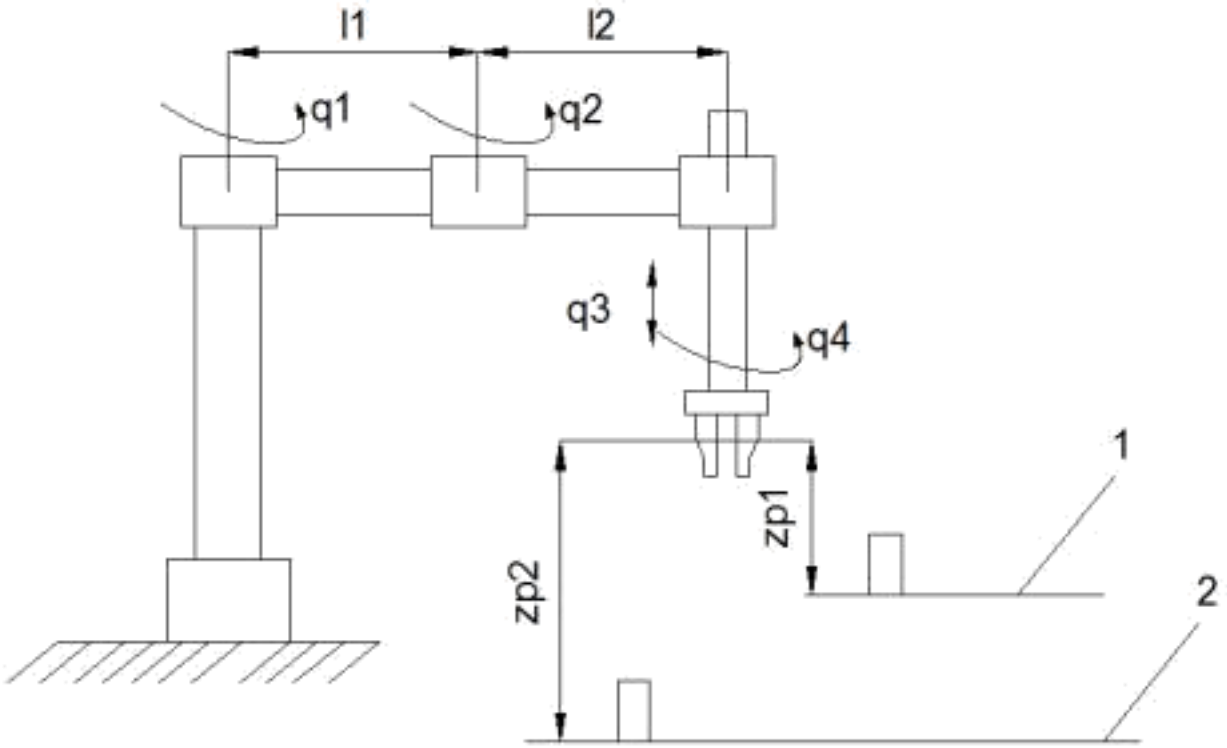
Bài tập lớn Rô bốt công nghiệp: Tình toán và thiết kế Rô bốt scara



Độ phân giải các khớp

$Pg_1=0,006^0$

$Pg_2=0,006^0$

$pg_3=0,1mm$

$Pg_4=0,15^0$

Kích thước phôi

$X_p=24mm$

$Y_p=24mm$

$Z_p=34mm$

Khối lượng m=90g

Khoảng cách từ tay kẹp đến băng tải 1,2

Z_{p1}=270mm

Z_{p2}=260mm

Tọa độ điểm đặt phôi trên băng tải 1

X_{p1}=720mm,Y_{p1}=520mm

Tọa độ điểm đặt phôi trên băng tải 2

X_{p2}=620mm,Y_{p2}=570mm

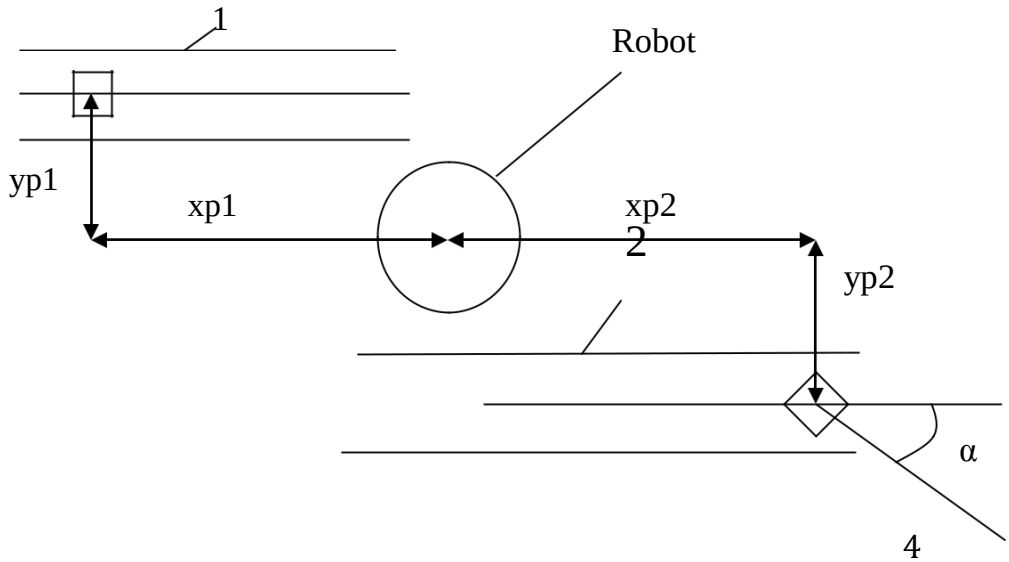
Góc đặt phôi :
$\propto=70^0$

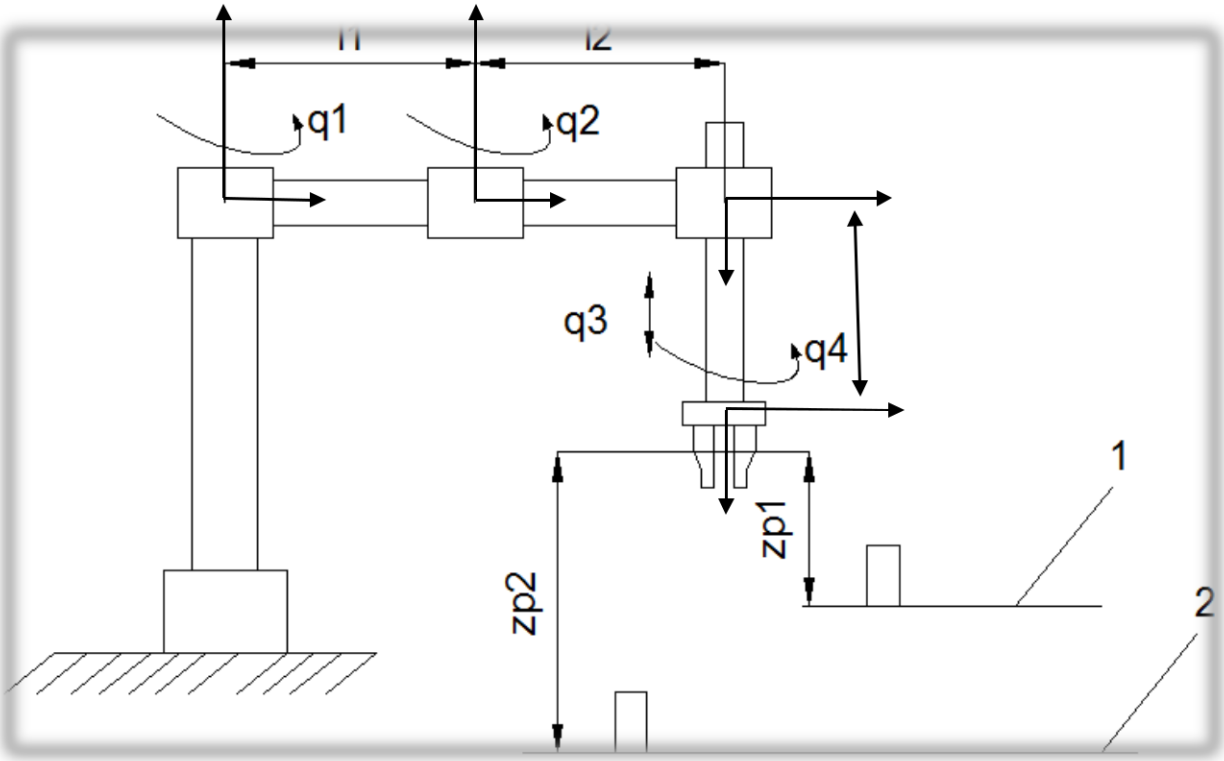
Dộng cơ sử dụng động cơ bước

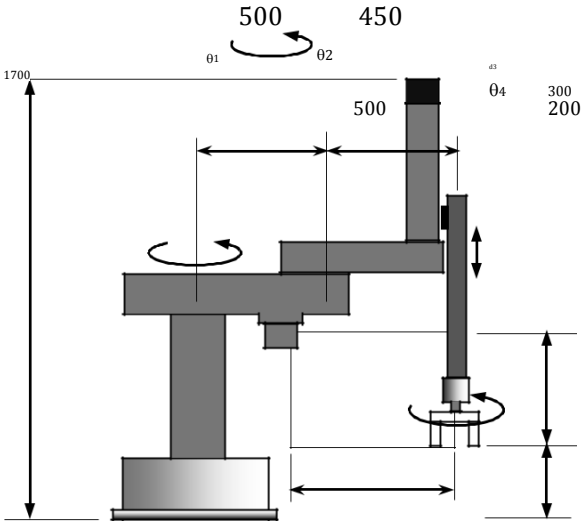
Thời gian vận chuyển phôi từ A-B

T=3,4s

I .tĩnh học và động học tay máy







1) Kích thước các khâu tay máy

a) Khâu số 4

Tay kẹp dung để gắp phôi

Phôi có kích thước 24x24x34

⇨ Độ rộng tối đa của tay kẹp ta chọn 30mm độ rộng tối thiểu của tay kẹp bằng kích thước của phôi 24mm

Chiều dài ngón tay kẹp >= độ cao của phôi =>chọn độ dài là 35mm

b) Khâu số 3 (khâu tịnh tiến)

Điểm đặt phôi có độ cao từ 270-260mm và chiều dài tay kẹp 35mm

⇨ Ta chọn chiều dài l3 tối đa của khâu thứ 3 laf 300mm
q_3 nằm trong khoảng từ 200- 300mm

c) khâu số 2 và khâu số 1

tọa độ điểm đặt phôi trên băng tải 1 $\{ {}_1 = 720$

⇨ $L_1 + l_2 >= \sqrt{720^2 + 520^2} = 888mm$

Tọa độ điểm đặt phôi thứ 2 $\{ {}_2 = 620$

⇨ $l_1 + l_2 = \sqrt{720^2 + 570^2} = 842mm$

⇨ ${}_1 + {}_2 = 950$

chọn $\{ {}_1 = 500 \quad {}_2 = 450$

d). Trục cố định tay máy (khâu số 0)

chiều dài l_0 của khâu số 0

khoảng cách từ tay kẹp đến phôi.độ dài tối đa của q_3.chiều dài tay kẹp > l_0>

khoảng cách từ tay kẹp => độ dài tối thiểu của q_3 chiều dài tay kẹp

595>= l_0 >=495

Chon l_0 =550mm

2>Động học thuận tay máy

Bảng động học D-H

khâu	di	i		
1	0	q_1^*	l_1	0
2	0	q_2^*	l_2	180
3	q_3^*	0	0	0
4	0	q_4^*	0	0

$$^{0}_{1} = \begin{bmatrix} \cos q_1^* & -\sin q_1^* & 0 & 2.\cos q_1^* \\ \sin q_1^* & \cos q_1^* & 0 & 2.\sin q_1^* \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$^{1}_{2} = \begin{bmatrix} \cos q_2^* & -\sin q_2^* & 0 & 1 \\ \sin q_2^* & \cos q_2^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$^{2}_{3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_3^* \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$^{3}_{4} = \begin{bmatrix} 0 & \cos q_4 & -\sin q_4 & 0 \\ 0 & \sin q_4 & \cos q_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Đặt $\cos q_1^* = c_1$ $\sin q_1^* = s_1$

$\cos q_2^* = c_2$ $\sin q_2^* = s_2$

$S_{12} = \sin(q_1^* + q_2^*)$ $c_{12} = \cos(q_1^* + q_2^*)$

$^{4}_{0} = {}^{1}_{0}.\ {}^{2}_{1}.\ {}^{3}_{2}.\ {}^{4}_{3}$

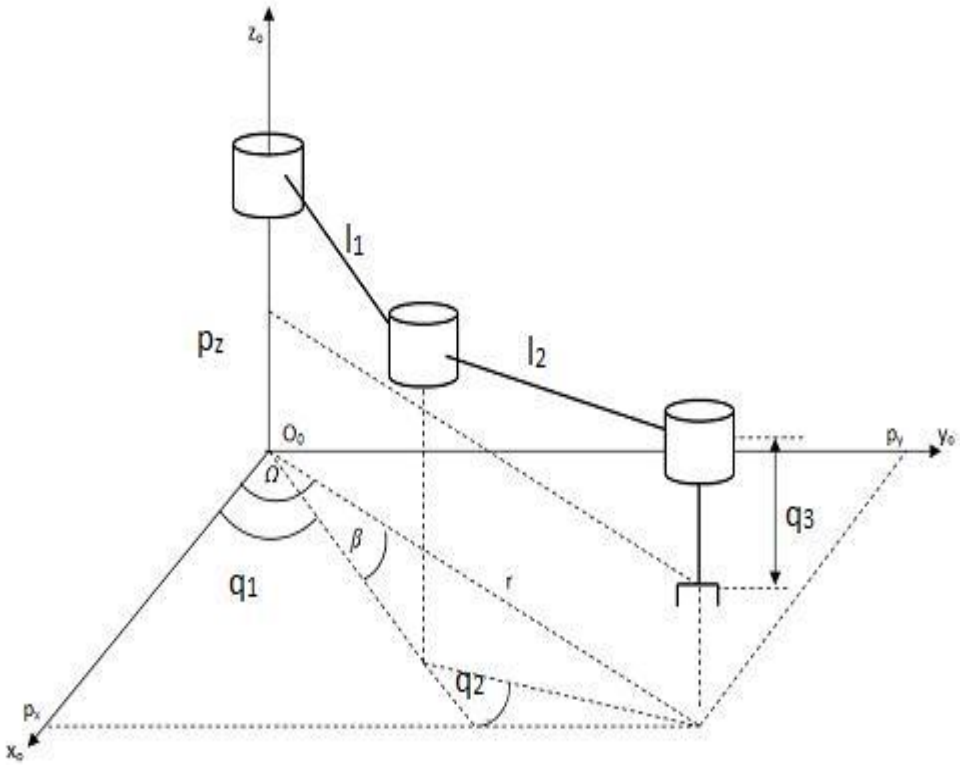
=> $^{4}_{0} =$

$$\begin{bmatrix} C_1(C_2C_4+S_2S_4)-S_1(S_2C_4-C_2S_4) & C_1(S_2C_4-C_2S_4)+S_1(C_2C_4+S_2S_4) & 0 & a_2C_{12}+a_1C_1 \\ S_1(C_2C_4+S_2S_4)+C_1(S_2C_4-C_2S_4) & S_1(S_2C_4-C_2S_4)-C_1(C_2C_4+S_2S_4) & 0 & a_2S_{12}+a_1S_1 \\ 0 & 0 & -1 & -d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Hệ phương trình xác định vị trí của khâu tác động cuối:

$$\begin{cases} = {}_{212} + {}_{11} \\ = {}_{212} + {}_{11} \\ = -{}_{3} \end{cases}$$

3>.Động học ngược tay máy:



$$X_p^2 = l_2^2 c_{12}^2 + l_1^2 c_1^2 + 2 l_1 l_2 c_1 c_{12}$$

$Y_p^2 = l_2^2 s_{12}^2 + l_1^2 s_1^2 + 2l_1 l_2 s_1 s_{12}$

$X_p^2 + Y_p^2 = l_1^2 l_2^2 + 2l_1 l_2 (c_1 c_{12} + s_1 s_{12}) = l_1^2 + l_2^2 + 2l_1 l_2 c_2$

=>cos 2= $\frac{2 + 2 - 1^2 - 2^2}{2 1 2}$

Thế c_1 $s_1$vào phương trình;

=>c_1 = $\frac{(a1+a_2c_2)x_p + a_2s_2py_p}{\ldots}$

S_1 = $\frac{(a1+a2c2)yp - a2s2xp}{2 + \quad 2}$

d_3=-z_p

Theo ma trận H_4^0 ta có:

N_x =cos (q_1 + q_2 –q_4)

n_z,n_y,n_z là các véc~~tơ định~~ vị.

⇨ sin(q_1 + q_2 –q_4) = $\sqrt{1 - \quad 2}$

q4=q1+q2-artan($\frac{}{\sqrt{1 - 2}}$)

⇨ hệ phương trình động học ngược của rô bốt :

cos 1 = $\frac{(1 + 2 2) + 2 2}{\ldots}$

sin 1 = $\frac{(1 + 2 2) - 2 2}{\ldots}$

1=atan($\frac{1}{}$)

cos 2 = $\frac{2 + 2 - 1 - 2^2}{\ldots}$

sin 2 =$\sqrt{1 - \quad 2}$

2=atan(2 2)

d_3= -

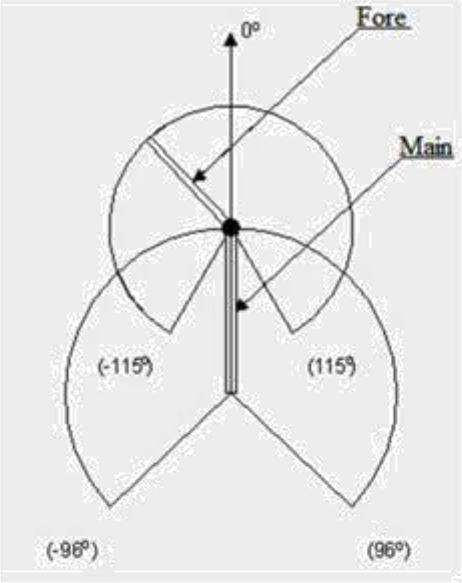
4> Quy luật chuyển động của các khớp :

Giới hạn góc quay của các khâu :

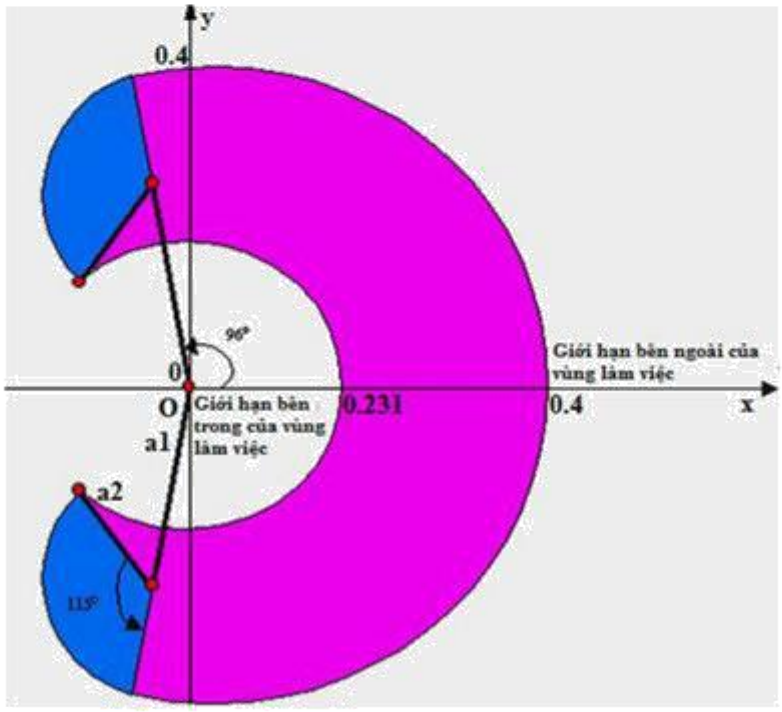
q_1= -96^0 -> $+96^0$

q_2= -115^0 -> $+115^0$

như vậy không gian làm việc mà tay máy có thể với tới là toàn bộ hình trụ có đường giới hạn đáy như hình vẽ bên dưới



Hình 2.5: Giới hạn góc quay của 2 khớp.



Hình 2.6: Giới hạn không gian làm việc của robot Scara Serpent.

$q_1(t) = a_3t^3+a_2t^2+a_1t+t_0$

$\dot{q}_1(t) = 3a_3t^2+2a_2t+a_1$ (*)

$\ddot{q}_1(t) = 6a_3t+2a_2$ 4.1 >quy luật chuyển động của khâu tác động cuối có phương trình động học của rô bốt

Cosq1=

Sinq1=

Cosq2=

Sinq2= $\sqrt{1-\ }$

$d_3= -z_p$

$q_4=q_1+q_2-\mathrm{atan}(\sqrt{1-\ }\ )$

tại vị trí điểm gắp phôi A :

X_{pA}=720mm

Y_{pA}=520mm

$L_3=z_{pA}$=-270mm

Q_4=0

L_1=500mm

L_2=450mm

⇨ $\cos q_{2A}=\frac{7202+5202-5002-4502}{2.500.450}=0,7473$

⇨ $q_{2A}=42^0$

$\cos q_{1A}=\frac{(500+450.0,7473).720+450.\sin 42.520}{720^2+520^2}$

$q_{1A}=16^0$

tại vị trí đặt phôi B :

$q_4=70^0$

$X_{pB}=620mm$

$Y_{pB}=570mm$

$L_3=Z_{pB}=-260mm$

$\text{Cos}q_{2B}=\frac{720^2+570^2-500^2-450^2}{720^2+520^2}$

$q_{2B}=52^0$

$\text{Cos}q_{1B}=\frac{(500+450.0,57).620+450.\sin 52.570}{620^2+570^2}$

$Q_{1B}=19^0$

Quy luật chuyển động của khớp 1 và khớp 2 có dạng :

Thay các thông số vừa tìm được qua bài toan động học ngược vào hệ phương trinh (*)

ta được :

Quy luật chuyển động của khớp 1 :

$$\begin{cases} {}_1(\,) = -0.153\,^3 + 0.78\,^2 + 16 \\ \dot{\imath}(\,) = -0.459\,^2 + 1.56 \quad \ddot{\imath}(\,) = -0.918 \;\; + 1.56 \end{cases}$$

Quy luật chuyển động của khớp 2 :

$$_2(\,) = -0.509\ ^3 + 2.6 + 42$$

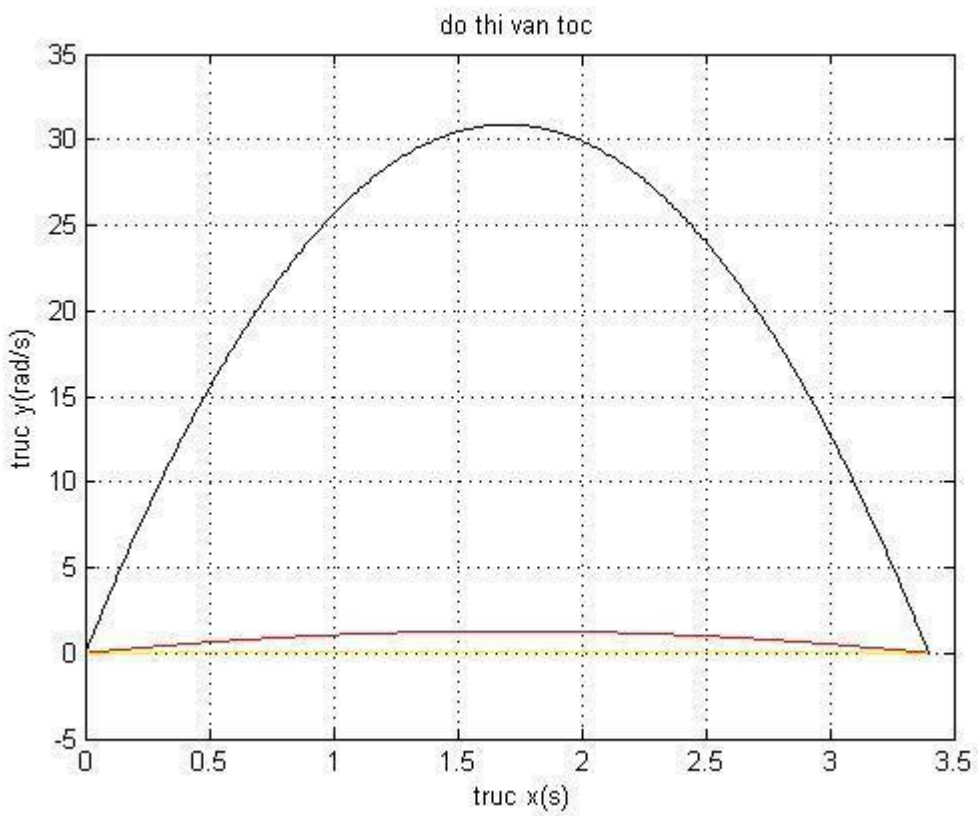
$$_2(\,) = -1.527\ ^2 + 5.2$$

$$_{(2)} = -3.054\ + 5.2$$

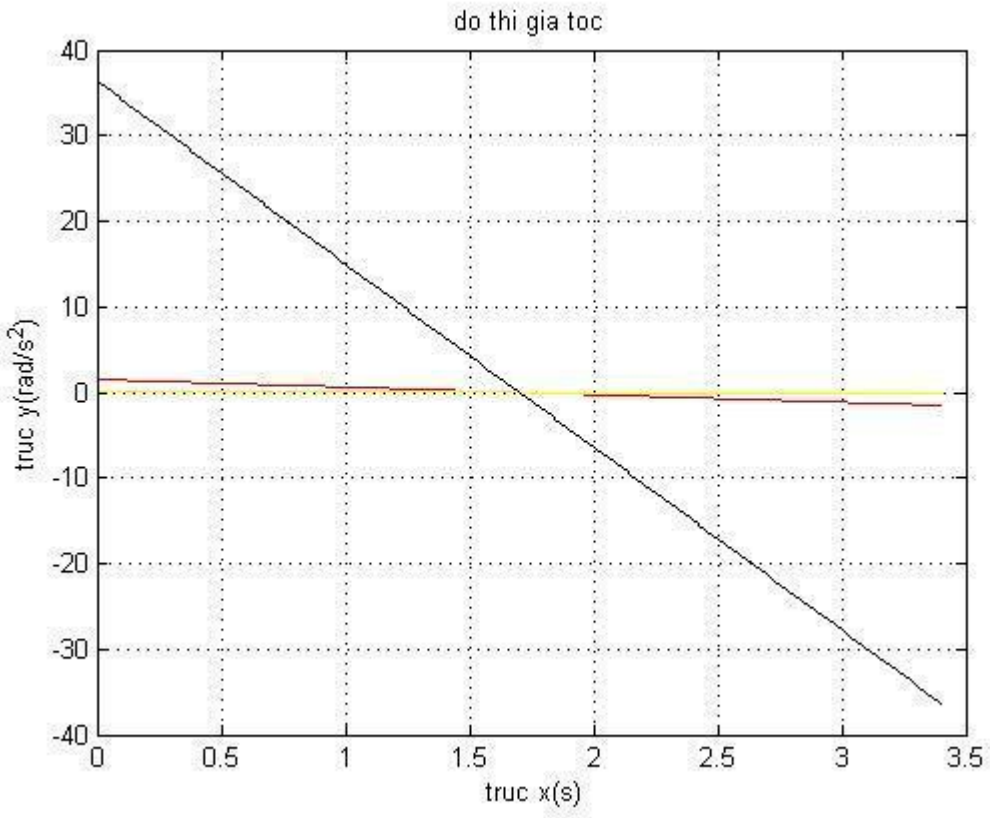
Quy luật chuyển động của khâu số 3 và khâu số 4 tương tự điểm cuối của khâu số 2 chỉ khác nhau tọa độ Z

Sử dụng matlab mô phỏng chuyển động của roobot ta được :

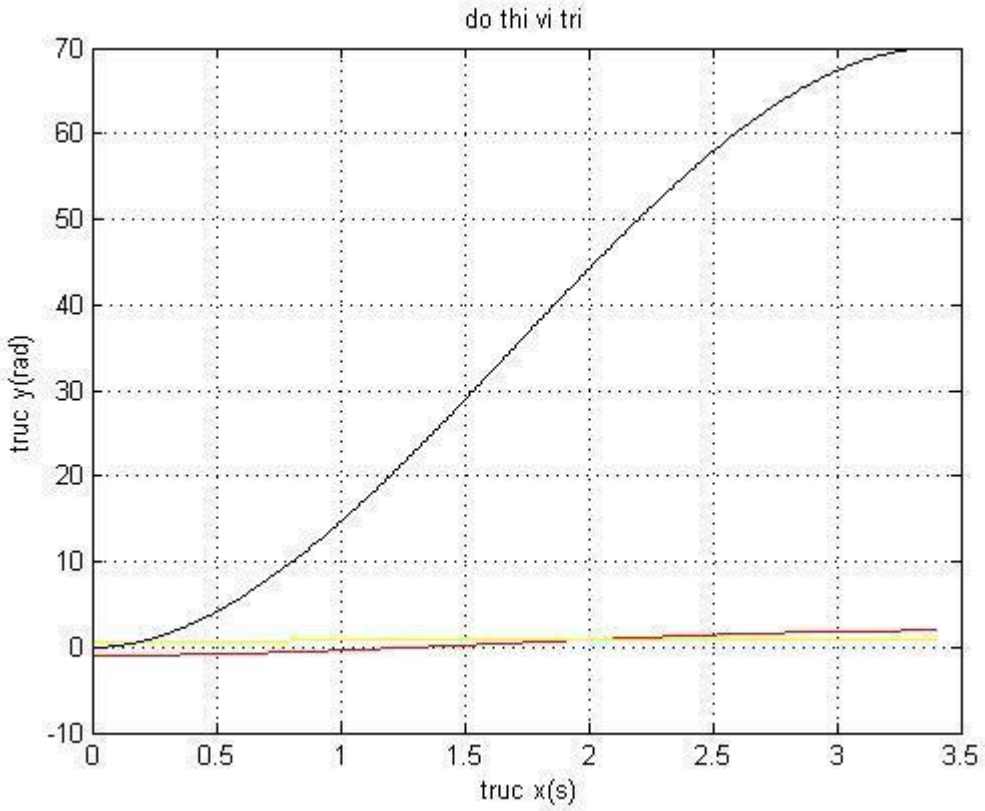
Đồ thị vận tốc :



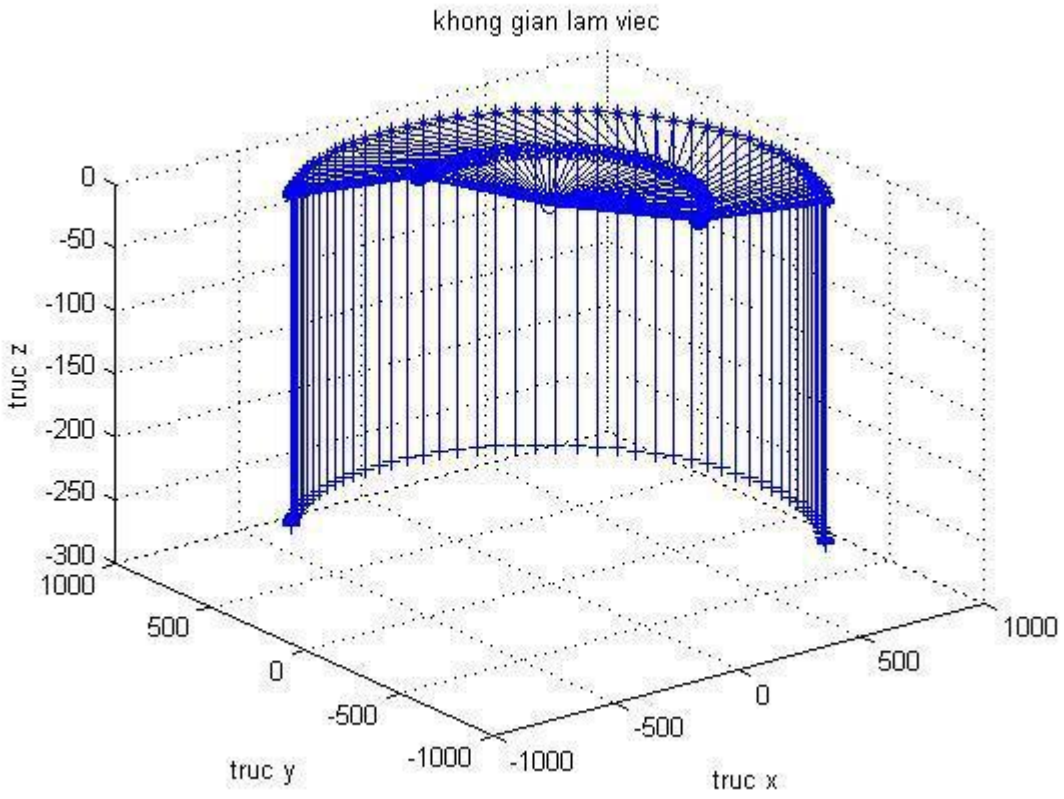
Đồ thị gia tốc :



Đồ thị vị trí :


do thi vi tri
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
truc y(rad)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
truc x(s)

Không gian làm việc của robot :



Code matlab cho chương trình mô phỏng :

```
qd1A = 0; qd1B = 0;% gia toc khop 1
qd2A = 0; qd2B = 0;% gia toc khop 2
q3A = 270; q3B = 260; qd3A = 0; qd3B = 0;%vi tri, gia toc khop 3
q4A = 0; q4B = 70; qd4A = 0; qd4B = 0;%vi tri, gia toc khop 4
l1=500;l2=450;%chieu dai khau 1, 2
px1 = 720; py1 = -520; pz1 = -270;%toa do phoi vi tri ban dau
```

```
px2 = -620; py2 = 570; pz2 = -260;%toa do phoi vi tri cuoi
s = 3.4; %thoi gian
e=300; %tao khoang chia
%/////////////////////////////////////////////////
% tinh goc quay q1,q2 tai vi tri dau,cuoi
c2A = (px1^2+py1^2-l1^2-
l2^2)/(2*l1*l2); s2A = sqrt(1-c2A^2);
q2A = atan(s2A/c2A);
q1A = (atan(py1/px1)-atan((l2*s2A)/(l1+l2*c2A)));
c2B = (px2^2+py2^2-l1^2-l2^2)/(2*l1*l2);
s2B = sqrt(1-c2B^2);
q2B = atan(s2B/c2B);
q1B = ((pi+atan(py2/px2))-
atan((l2*s2B)/(l1+l2*c2B))); format short
%xac dinh quy luat chuyen dong cac
khop a = [0 0 0 1
    s^3 s^2 s 1
    0 0 1 0
     3*s^2 2*s 1 0];
b1 = [q1A;q1B;qd1A;qd1B];
b2 = [q2A;q2B;qd2A;qd2B];
b3 = [q3A;q3B;qd3A;qd3B];
b4 = [q4A;q4B;qd4A;qd4B];
x1 = a^(-1)*b1;
x2 = a^(-1)*b2;
x3 = a^(-1)*b3;
x4 = a^(-1)*b4;
t = linspace(0,s,e);
y1 = x1';
```

```
q1 = polyval(y1,t);
yd1 = polyder(y1);
qd1 = polyval(yd1,t);
ydd1 = polyder(yd1);
qdd1 = polyval(ydd1,t);
y2 = x2';
q2 = polyval(y2,t);
yd2 = polyder(y2);
qd2 = polyval(yd2,t);
ydd2 = polyder(yd2);
qdd2 = polyval(ydd2,t);
y3 = x3';
q3 = polyval(y3,t);
yd3 = polyder(y3);
qd3 = polyval(yd3,t);
ydd3 = polyder(yd3);
qdd3 = polyval(ydd3,t);
y4 = x4';
q4 = polyval(y4,t);
yd4 = polyder(y4);
qd4 = polyval(yd4,t);
ydd4 = polyder(yd4);
qdd4 = polyval(ydd4,t);
format rat
%doi voi khop tinh tien q3
plot(t,q3,'g')
figure
plot(t,qd3,'g')
figure
```

```
plot(t,qdd3,'g')
figure
%doi voi cac lhop quay q1, q2, q4
plot(t,q1,'r',t,q2,'y',t,q4,'k')
title('do thi vi tri')
xlabel(' truc x(s)')
ylabel('truc y(rad)')
grid on
figure
plot(t,qd1,'r',t,qd2,'y',t,qd4,'k')
title('do thi van toc')
xlabel(' truc x(s)')
ylabel('truc y(rad/s)')
grid on
figure
plot(t,qdd1,'r',t,qdd2,'y',t,qdd4,'k')
title('do thi gia toc')
xlabel(' truc x(s)')
ylabel('truc y(rad/s^2)')
grid on
%xac dinh vi tri diem tac dong cuoi
q=q1+q2;
figure
x0=0;y0=0;z0=0;plot3(x0,y0,z0,'o')
grid on
x00 = zeros(1,300); y00 = zeros(1,300); z00 = zeros(1,300);
x11 = l1.*cos(q1);y11 = l1.*sin(q1);z11= zeros(1,300);
x22 = (l1.*cos(q1)+l2.*cos(q));y22 = (l1.*sin(q1)+l2.*sin(q));z22=zeros(1,300);
x33 = (l1.*cos(q1)+l2.*cos(q));y33 = (l1.*sin(q1)+l2.*sin(q));z33=-q3;
```

```
hold on
for i=1:5:300
   P11=[x00(i) x11(i)];
   P21=[y00(i) y11(i)];
   P31=[z00(i) z11(i)];
   plot3(P11,P21,P31,'-o')
   title('khong gian lam viec')
   hold on
   P12=[x11(i) x22(i)];
   P22=[y11(i) y22(i)];
   P32=[z11(i) z22(i)];
   plot3(P12,P22,P32,'-*')
   title('khong gian lam viec')
   hold on
    P13=[x22(i) x33(i)];
   P23=[y22(i) y33(i)];
   P33=[z22(i) z33(i)];
   plot3(P13,P23,P33,'-+')
   title('khong gian lam viec')
  xlabel('truc x')
  ylabel('truc y')
  zlabel('truc z')
end
```

II, ĐỘNG LỰC HỌC TAY MÁY

Các thông số của rôbot :

	Khớp 1	Khớp 2	Khớp 3	Khớp 4
Biến	q1	q2	q3	q4
Chiều dài	500 mm	450 mm	300 mm	0
Khối lượng	M1	M2	M3	M4
Vận tốc	V1	V2	V3	V4
Chiều dài khối tâm	250 mm	225 mm	150 mm	Lg4

Khối lượng nằm ở giữa các thanh

Hệ quy chiếu gán với trục tọa độ 0o Xo Yo Zo trên khớp thứ nhất. khi đó mặt phẳng 0o Xo Yo Zo là mặp phẳng đẳng thế

Bằng việc sử dụng solidwork thiết kế các khâu của roobot với vật liệu là thép chế tạo máy ta có được khối lượng các khâu của roobot như sau :

M1= 314 gam

M2= 111 gam

M3= 146 gam

M4= 12 gam

Quy ước trọng lượng nằm ở giữa các thanh nên ta có chiều dài khối tâm của cá khâu là :

+ khâu 1 : lg1= 250 mm

+ khâu 2 : lg2=225 mm

+khâu 3 : lg3= 150 mm

+khâu 4 = lg4

1, lực tác động lên các khâu

a, khâu số 1:

- Là khâu nối trục máy và khâu số 2 và chuyển động của khâu số 1 là chuển động quay
- Các lực tác động lên khâu số 1 bao gồm : trọng lực của khâu , lực tác động với khâu trục (khâu số 0) và với khâu 2,3,4

b, khâu số 2 :

- Nối với khâu 1 và khâu 3 ; chuyển động là chuyển động quay
- Lực tác động lên khâu 2 bao gồm trọng lực của khâu , lực tương tác với khâu 1 và khâu 3, 4

c, khâu số 3 :

- Là chuyển động tịnh tiến
- Lực tác động lên khâu 3 bao gồm trọng lực khâu , lực tương tác với khâu 4 và khâu 2

d, khâu 4 :

- Chuyện động quay , làm nhiệm vụ gắp phôi
- Lực tác dụng bao gồm trọng lượng khâu , lực tương tác với khâu 3 và trọng lượng của phôi

2, Động năng của các khâu tay máy và thế năng

a, khâu số 1 :

$$\begin{cases} x_1 = lg_1 \cos q_1 = 250 \cos q_1 \\ y_1 = lg_1 \sin q_1 = 250 \sin q_1 \\ z_1 = 0 \end{cases}$$

⇨ $_1^2 = {}_1\dot{2} + {}_1\dot{2} + {}_1\dot{2}$

$= {}_1 (\sin {}_1)$ $(\dot{}_1)$ $+ {}_1 (\cos i)$ $(\dot{}_1)$ $= {}_1 (\dot{}_1)$

- Thế năng của khâu : $_1 = 0$
- Động năng :

$_1 = {}_1{}_2 \; {}_1 \; {}_1{}^2 + {}_1{}_2 \; {}_1 \; {}_1{}^2$

Trong đó : $_1$: momen quán tính khớp 1

$_1$: tốc độ góc khớp 1

$= \frac{1}{2} \; {}_1 \; {}_1{}^2 + \frac{1}{2} \; {}_1 \; {}_1{}^2$

b, khâu số 2 :

$_2 = {}_1 \cos {}_1 + {}_1 \cos({}_2 + {}_1)$

$\{ {}_2 = {}_1 \sin {}_1 + {}_1 \sin({}_2 + {}_1) \; {}_2 = 0$

$\dot{} = - \sin \; - \; \sin(\; + \;)(\dot{} + \dot{})$

$\dot{} = - \; \cos(\; + \;)(\dot{} + \dot{})$

$\dot{}_2 = 0$

$_2 = ()^2 + ()^2 + ()^2$

$= 2 \; {}_1 \; {}_1 + 2 \; {}_1 \; {}_2 \; (\dot{} + \dot{})^2 + 2 \; {}_1 \; {}_1 \; {}_2 \; (\dot{} + \dot{}) \cos$

- Động năng khâu số 2 :

$= \frac{1}{2} \; {}_2 \; {}_2{}^2 + \frac{1}{2} \; {}_2 \; {}_2{}^2$

$= \frac{1}{2} \; {}_2 \; {}_2{}^2 + \frac{1}{2} \; {}_2 \; {}_2{}^2 + \frac{1}{2} \; {}_2 \; {}_2{}^2 + \frac{1}{2} \; {}_2 \; {}_2{}^2$

- Thế năng $_2 = 0$

c, khâu số 3 :

$$\begin{cases} {}_3 = {}_1 \sin {}_1 + {}_2 \sin({}_1 + {}_2) \\ {}_3 = -{}_3 \end{cases}$$

$$\dot{} = - \quad \sin \quad \dot{} - {}_2 \quad \sin(\quad + \ )(\dot{} + \dot{})$$

$$= \quad \dot{} = \quad \cos \quad \cos(\quad + \ )(\dot{} + \dot{})$$

$$= \quad + \quad + \quad$$

$$= \quad + \quad (\dot{} + \dot{}) + 2$$

- Động năng khâu số 3 :

$$_3 = {}_2{}^1 \quad {}_3 \ {}_3{}^2$$

$$= \frac{1}{2} \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 2$$

- Thế năng khâu số 3 :

$$_3 = \quad {}_3 \ h_3 = \quad {}_3 \ (-{}_3) = -{}_3 \ ({}_3)$$

d, khâu số 4 :

$$\begin{cases} {}_4 = {}_1 \cos {}_1 + {}_2 \cos({}_1 + {}_2) \\ {}_4 = {}_1 \sin {}_1 + {}_2 \sin({}_1 + {}_2) \\ {}_4 = -{}_3 \end{cases}$$

$$\dot{} = - \quad \sin \quad \dot{} - {}_2 \quad \sin(\quad + \ )(\dot{} + \dot{})$$

$$= \quad \cos \dot{} + \quad \cos(\quad + \ )(\dot{} + \dot{})$$

$$_4 = \quad {}_3$$

$$^2 = ()^2 \quad + ()^2 + ()^2$$

$$= \quad + \quad (\dot{} + \dot{}) + 2$$

- độ ã hã ó 4 :

$$= \frac{1}{2} \quad 2 \quad + \frac{1}{2} \quad \cdot 2$$

$$= \frac{1}{2} \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad \frac{1}{2} \quad 2$$

- thế năng khâu số 4:

$_4 = {}_4 h_4 = -{}_4 {}_3$

* tổng thế năng :

$= {}_1 + {}_2 + {}_3 + {}_4$

$=0 + 0 +(- {}_3 \quad {}_3)+(- {}_1 g {}_3)$

$= -({}_3 + {}_4) g {}_3$

- Tổng động năng:

$=1 \quad 2( )2 \quad 1 \quad 1)^2 \quad 2 \quad [2( )2 \quad (\quad)2 \quad (\quad 2$

3, thiết lập phương trình vi phân chuyển động

- Hàm Lagrange của hệ thống :

$__ \ (___) - \quad ___ = - \quad ___ + +$

+) trong đó : : momen động tại khớp i

: lực tác động tại khớp i

a, tại khâu số 1 :

$$= [\ ^{2} \quad \frac{1}{\ } (\dot{\ }) + \frac{\ }{\ } \quad (2\dot{\ } + 2\dot{\ }) + (2\dot{\ } + \dot{\ }) \cos\ ] \quad + [^{2}\ \dot{\ }\ \dot{\ }]$$

$$+ \frac{1}{\ } \quad [2\ ^{2\dot{\ }} + \ ^{2} \quad + 2\ \ (2\dot{\ } + \dot{\ })]$$

$$+ \frac{1}{\ } \quad [2\ ^{2\dot{\ }} + \ ^{2} \quad (2\dot{\ } + 2\dot{\ }) + 2\ \ (2\dot{\ } + \dot{\ })]$$

$$\frac{\ }{\ } (\frac{\ }{\ }) = [\ ^{2} \quad \ddot{\ }] + \frac{1}{\ } \quad \ddot{\ } + [\ ^{2\dot{\ }} + \quad (\dot{\ } + \ddot{\ }) \quad + ((2\dot{\ } +$$

$$\dot{\ }) \cos \quad + (-\sin\ )(2\dot{\ } + \dot{\ })] + \frac{1}{\ } \quad [2\ ^{2} \quad \ddot{\ } + 2 \quad (2\dot{\ } + \dot{\ }) + \frac{1}{\ } \quad] +$$

$$\frac{1}{\ } \quad [2\ ^{2} + \ ^{2}(2\dot{\ } + 2\dot{\ }) + 2\ \ (2\dot{\ } + \dot{\ })]$$

-) $\frac{\ }{\ } = 0$

-) $\frac{\ }{\ } = 0$

-) $1 = 0$

=> quy luật biến thiên momen khâu số 1 :

$$1 = \frac{\ }{\ } (\ \ )$$

,khâu số 2 :

$$\frac{\ }{\ } = \frac{1}{\ } \quad [\ (2\dot{\ } + 2\dot{\ }) \quad + 2\ \ \dot{\ } \cos\ ] + \ddot{\ } + \quad \frac{1}{\ } \quad [\ ^{2} \quad + 2\ \ \dot{\ }]$$

$$+ \frac{1}{\ } \quad [\ ^{2}(2\dot{\ } + 2\dot{\ }) + 2 \quad \dot{\ }]$$

+) $\frac{\ }{\ } (\frac{\ }{\ }) = \frac{1}{\ } \quad [\ (2\dot{\ } + 2\dot{\ }) \quad + ((\dot{\ }) \cos \quad - \dot{\ } \sin\ )2 \quad] +$

$$\ddot{\ } \quad \frac{1}{\ \ + 2} \quad [2\ \ \ddot{\ }] + \frac{1}{\ } \quad [\ ^{2} \quad (2\dot{\ } + 2\dot{\ }) \quad + 2\ \ddot{\ }]$$

+) $\frac{\ }{\ } = 0$

+) $_2 = 0$

+) $= 0$

⇨ Quy luật biến thiên momen khâu số 2 (khớp 2)

$_2 =$

c, khâu số 3 :

+) $= (2^{\cdot})^1 \quad - \quad + 1 \quad - \quad (2^{\cdot})$

$= (\quad + \quad)^{\cdot}$

$_3 \quad 4$

+) $(\quad) = (\quad + \quad)^{\cdot\cdot}$

+) $_3 = -(\; _3 + \quad _4)$

+) $_3 = 0$

⇨ Quy luật biến thiên lực động khớp 3 :

$= \quad (\quad) + \quad = (\quad + \quad)(^{\cdot}- \;)$

+) *h hâ* 4 *ẹ hô hì ọ ượ ủ hâ ẽ ộ* thêm trọng lượng phôi suy ra lực 3 thay đổi

d, khâu số 4 :

+) $= ^{\cdot\cdot}$

+) $(\quad) = ^{\cdot\cdot\cdot}$

+) $= 0$

+) $_4 = 0$

+) —— = 0

⇨ Quy luật biến thiên momen khớp 4 :