

# MÔ HÌNH HÓA CÁC HỆ CƠ HỌC SỬ DỤNG PHẦN MỀM SOLIDWORKS

Người thực hiện: **Phạm Thị Mai Anh**

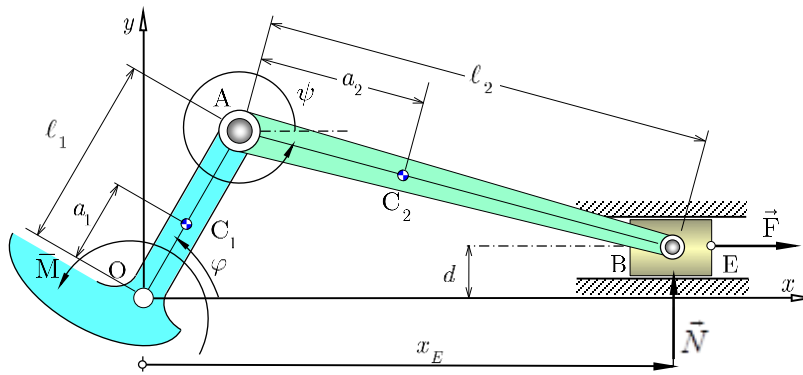
## MỞ ĐẦU

Ngày nay, cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, các hệ thống máy móc được phát minh và cải tiến hàng ngày. Cùng với nó là hệ thống các phần mềm mô phỏng cũng được sinh ra để đáp ứng nhu cầu tiết kiệm chi phí sản xuất, giảm giá thành đáng kể và tăng tính cạnh tranh cho sản phẩm. Trong đó, Solidworks là một môi trường hoàn hảo đáp ứng tốt các yêu cầu xây dựng mô hình và mô phỏng của người sử dụng với một khối lượng thư viện khá phong phú và đầy đủ. Trong Báo Cáo này, tôi đề cập chủ yếu đến phần mềm Solidworks. Phần mềm Solidworks là một môi trường mô hình hóa biểu đồ khối cho thiết kế kỹ thuật và mô phỏng của hệ vật rắn và các hoạt động của chúng. Các công cụ của phần mềm trình bày và biểu diễn sống động các hình học máy 3-D.

Việc mô hình hóa hệ cơ học thực tế là bước thiết kế mô hình. Từ các yêu cầu về nhiệm vụ thực hiện của hệ cơ học (tay máy robot) người thiết kế đưa ra phương án lựa chọn mô hình mẫu, gồm kích thước các chi tiết và lựa chọn loại khớp phù hợp. Sau đó tiến hành dựng mô hình cụ thể trên phần mềm Solidworks (hoặc phần mềm khác), tiến hành tiến hành tính toán, mô phỏng và điều chỉnh kích thước các chi tiết cho phù hợp. Việc thiết kế trên phần mềm giúp điều chỉnh vị trí các chi tiết một cách dễ dàng từ đó chọn ra vị trí thuận lợi nhất để có thể dễ dàng thiết lập được các hệ phương trình chuyển động, tính toán các thông số động học và động lực học của cơ cấu.

Trong báo cáo này tôi trình bày mô hình hóa hệ cơ học tay quay con trượt phẳng.

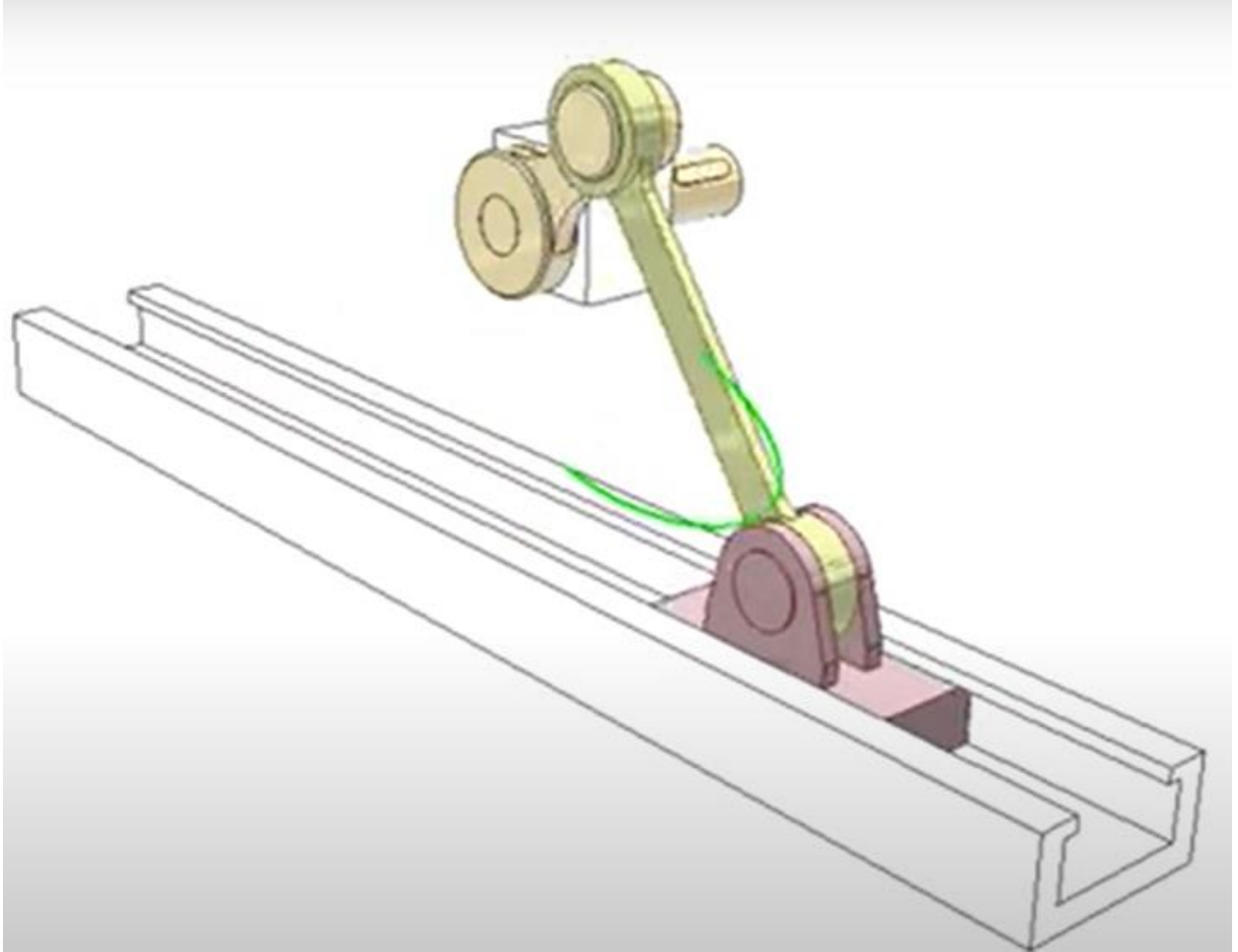
## 1. Lựa chọn mô hình mẫu



Hình 2.1 : Cơ cấu tay quay – con trượt phẳng

Chọn các tọa độ suy rộng dư là  $\varphi$  và  $\psi$  Trong đó  $\varphi$  là tọa độ suy rộng độc lập còn  $\psi$  là tọa độ suy rộng phụ thuộc.

## 2. Mô hình được vẽ trên Solidworks



### 3. Thiết lập phương trình vi phân chuyển động của cơ cấu bằng phương pháp phương trình Kane dạng nhân tử.

#### 3.1 Xác định vị trí của khối tâm của các khâu.

Từ hình vẽ ta dễ dàng xác định được vị trí khối tâm của các khâu:

$$\vec{r}^{C_1} = a_1 \cos \varphi \vec{e}_x + a_1 \sin \varphi \vec{e}_y \quad (1.1)$$

$$\vec{r}^{C_2} = l_1 \cos \varphi \vec{e}_x + l_1 \sin \varphi \vec{e}_y + a_2 \cos \psi \vec{e}_x + a_2 \sin \psi \vec{e}_y \quad (1.2)$$

$$\vec{r}^{C_3} = l_1 \cos \varphi \vec{e}_x + l_1 \sin \varphi \vec{e}_y + l_2 \cos \psi \vec{e}_x + l_2 \sin \psi \vec{e}_y \quad (1.3)$$

#### 3.2. Xác định vận tốc, vận tốc riêng của từng khâu

Tiếp theo ta lần lượt tính vận tốc, vận tốc riêng, gia tốc của từng khâu.

Từ (1.1) đạo hàm theo thời gian trong hệ quy chiếu cố định ta được vận tốc khối tâm  $C_1$

$$\vec{v}^{C_1} = \frac{d\vec{r}^{C_1}}{dt} = -a_1 \dot{\varphi} \sin \varphi \vec{e}_x + a_1 \dot{\varphi} \cos \varphi \vec{e}_y \quad (1.4)$$

$$\vec{v}_{\dot{\varphi}}^{C_1} = \frac{\partial \vec{v}^{C_1}}{\partial \dot{\varphi}} = -a_1 \sin \varphi \vec{e}_x + a_1 \cos \varphi \vec{e}_y \quad \vec{v}_{\dot{\psi}}^{C_1} = \frac{\partial \vec{v}^{C_1}}{\partial \dot{\psi}} = 0 \quad (1.5)$$

Từ (1.2) đạo hàm theo thời gian trong hệ quy chiếu cố định ta được vận tốc khối tâm  $C_2$

$$\begin{aligned} \vec{v}^{C_2} &= \frac{d\vec{r}^{C_2}}{dt} = -l_1 \dot{\varphi} \sin \varphi \vec{e}_x + l_1 \dot{\varphi} \cos \varphi \vec{e}_y - a_2 \dot{\psi} \sin \psi \vec{e}_x + a_2 \dot{\psi} \cos \psi \vec{e}_y \\ &= (-l_1 \dot{\varphi} \sin \varphi - a_2 \dot{\psi} \sin \psi) \vec{e}_x + (l_1 \dot{\varphi} \cos \varphi + a_2 \dot{\psi} \cos \psi) \vec{e}_y \end{aligned} \quad (1.6)$$

$$\vec{v}_{\dot{\varphi}}^{C_2} = \frac{\partial \vec{v}^{C_2}}{\partial \dot{\varphi}} = -l_1 \sin \varphi \vec{e}_x + l_1 \cos \varphi \vec{e}_y \quad (1.7)$$

$$\vec{v}_{\dot{\psi}}^{C_2} = \frac{\partial \vec{v}^{C_2}}{\partial \dot{\psi}} = -a_2 \sin \psi \vec{e}_x + a_2 \cos \psi \vec{e}_y$$

Từ (3) đạo hàm theo thời gian trong hệ quy chiếu cố định ta được vận tốc khối tâm  $C_3$

$$\begin{aligned} \vec{v}^{C_3} &= \frac{d\vec{r}^{C_3}}{dt} = -l_1 \dot{\varphi} \sin \varphi \vec{e}_x + l_1 \dot{\varphi} \cos \varphi \vec{e}_y - l_2 \dot{\psi} \sin \psi \vec{e}_x + l_2 \dot{\psi} \cos \psi \vec{e}_y \\ &= (-l_1 \dot{\varphi} \sin \varphi - l_2 \dot{\psi} \sin \psi) \vec{e}_x + (l_1 \dot{\varphi} \cos \varphi + l_2 \dot{\psi} \cos \psi) \vec{e}_y \end{aligned} \quad (1.8)$$

$$\vec{v}_{\dot{\varphi}}^{C_3} = \frac{\partial \vec{v}^{C_3}}{\partial \dot{\varphi}} = -l_1 \sin \varphi \vec{e}_x + l_1 \cos \varphi \vec{e}_y$$

$$\vec{v}_{\dot{\psi}}^{C_3} = \frac{\partial \vec{v}^{C_3}}{\partial \dot{\psi}} = -l_2 \sin \psi \vec{e}_x + l_2 \cos \psi \vec{e}_y \quad (1.9)$$

### 3.3 Xác định gia tốc, vận tốc góc, gia tốc góc của từng khâu.

Từ (1.4) đạo hàm theo thời gian trong hệ quy chiếu cố định ta được gia tốc của khối tâm  $C_1$ :

$$\vec{a}^{C_1} = \frac{d\vec{v}^{C_1}}{dt} = -a_1 \ddot{\varphi} \sin \varphi \vec{e}_x - a_1 \dot{\varphi}^2 \cos \varphi \vec{e}_x + a_1 \ddot{\varphi} \cos \varphi \vec{e}_y - a_1 \dot{\varphi}^2 \sin \varphi \vec{e}_y \quad (1.10)$$

Từ (1.6) đạo hàm theo thời gian trong hệ quy chiếu cố định ta được gia tốc của khối tâm  $C_2$ :

$$\vec{a}^{C_2} = \frac{d\vec{v}^{C_2}}{dt} = -l_1 \ddot{\varphi} \sin \varphi \vec{e}_x - l_1 \dot{\varphi}^2 \cos \varphi \vec{e}_x + l_1 \ddot{\varphi} \cos \varphi \vec{e}_y - l_1 \dot{\varphi}^2 \sin \varphi \vec{e}_y \quad (1.11)$$

$$-a_2 \ddot{\psi} \sin \psi \vec{e}_x - a_2 \dot{\psi}^2 \cos \psi \vec{e}_x + a_2 \ddot{\psi} \cos \psi \vec{e}_y - a_2 \dot{\psi}^2 \sin \psi \vec{e}_y$$

Từ (1.8) đạo hàm theo thời gian trong hệ quy chiếu cố định ta được gia tốc của khối tâm  $C_3$ :

$$\begin{aligned} \vec{a}^{C_3} = \frac{d\vec{v}^{C_3}}{dt} = & -l_1 \ddot{\phi} \sin \phi \vec{e}_x - l_1 \dot{\phi}^2 \cos \phi \vec{e}_x + l_1 \ddot{\phi} \cos \phi \vec{e}_y - l_1 \dot{\phi}^2 \sin \phi \vec{e}_y \\ & - a_2 \ddot{\psi} \sin \psi \vec{e}_x - a_2 \dot{\psi}^2 \cos \psi \vec{e}_x + a_2 \ddot{\psi} \cos \psi \vec{e}_y - a_2 \dot{\psi}^2 \sin \psi \vec{e}_y \end{aligned} \quad (1.12)$$

### 3.4 Xác định véc tơ vận tốc góc của từng khâu

$$\begin{aligned} \vec{\omega}^{B_1} = \dot{\phi} \vec{e}_z & \quad \vec{\omega}^{B_2} = \dot{\psi} \vec{e}_z & \quad \vec{\omega}^{B_3} = 0 \\ \vec{\omega}_{\dot{\phi}}^{B_1} = \vec{e}_z & \quad \vec{\omega}_{\dot{\psi}}^{B_1} = 0 \\ \vec{\omega}_{\dot{\phi}}^{B_2} = 0 & \quad \vec{\omega}_{\dot{\psi}}^{B_2} = \vec{e}_z \end{aligned} \quad (1.13)$$

### 3.5 Xác định véc tơ gia tốc góc của từng khâu

$$\begin{aligned} \vec{\alpha}^{B_1} = \ddot{\phi} \vec{e}_z & \quad (1.14) \\ \vec{\alpha}^{B_2} = \ddot{\psi} \vec{e}_z \\ \vec{\alpha}^{B_3} = 0 \end{aligned}$$

### 3.6 Xác định lực hoạt động suy rộng

Các lực hoạt động

$$\vec{F}_1^a = -m_1 g \vec{e}_y \quad \vec{F}_2^a = -m_2 g \vec{e}_y \quad \vec{F}_3^a = -m_3 g \vec{e}_y + F \vec{e}_x \quad (1.15)$$

Áp dụng công thức tính lực hoạt động suy rộng

$$\bar{Q}_i = \sum_{k=1}^3 (\vec{F}_k^a \vec{v}_{\dot{q}_i}^{c_k} + \vec{M}_k^a \vec{\omega}_{\dot{q}_i}^{B_k})$$

Ta lần lượt tính các lực hoạt động suy rộng

$$Q_1 = -m_1 g a_1 \cos \phi - m_2 g l_1 \cos \phi - m_3 g l_1 \cos \phi - F l_1 \sin \phi \quad (1.16)$$

$$Q_2 = -m_2 g a_2 \cos \psi - m_3 g l_2 \cos \psi - F l_2 \sin \psi$$

### 3.7 Xác định các lực quán tính suy rộng

Các lực quán tính

$$\vec{F}_1^* = -m_1 \vec{a}^{c_1} = m_1 a_1 \ddot{\phi} \sin \phi \vec{e}_x + m_1 a_1 \dot{\phi}^2 \cos \phi \vec{e}_x - m_1 a_1 \ddot{\phi} \cos \phi \vec{e}_y + m_1 a_1 \dot{\phi}^2 \sin \phi \vec{e}_y$$

$$\vec{F}_2^* = -m_2 \vec{a}^{c_2} = m_2 l_1 \ddot{\phi} \sin \phi \vec{e}_x + m_2 l_1 \dot{\phi}^2 \cos \phi \vec{e}_x - m_2 l_1 \ddot{\phi} \cos \phi \vec{e}_y + m_2 l_1 \dot{\phi}^2 \sin \phi \vec{e}_y$$

$$+m_2 a_2 \ddot{\psi} \sin \psi \bar{e}_x + m_2 a_2 \dot{\psi}^2 \cos \psi \bar{e}_x - m_2 a_2 \ddot{\psi} \cos \psi \bar{e}_y + m_2 a_2 \dot{\psi}^2 \sin \psi \bar{e}_y$$

$$\vec{F}_3^* = -m_3 \bar{\alpha}^{c_3} = m_3 l_1 \ddot{\phi} \sin \varphi \bar{e}_x + m_3 l_1 \dot{\phi}^2 \cos \varphi \bar{e}_x - m_3 l_1 \ddot{\phi} \cos \varphi \bar{e}_y + m_3 l_1 \dot{\phi}^2 \sin \varphi \bar{e}_y$$

$$+m_3 l_2 \ddot{\psi} \sin \psi \bar{e}_x + m_3 l_2 \dot{\psi}^2 \cos \psi \bar{e}_x - m_3 l_2 \ddot{\psi} \cos \psi \bar{e}_y + m_3 l_2 \dot{\psi}^2 \sin \psi \bar{e}_y$$

Ngẫu lực quán tính

$$\vec{M}_1^* = -I_1 \bar{\alpha}^{B_1} = -I_1 \ddot{\phi} \bar{e}_z$$

$$\vec{M}_2^* = -I_2 \bar{\alpha}^{B_2} = -I_2 \ddot{\psi} \bar{e}_z$$

$$\vec{M}_3^* = 0$$

Áp dụng công thức tính lực quán tính suy rộng ta có

$$\vec{Q}_i^* = \sum_{k=1}^3 (\vec{F}_k^* \bar{v}_{q_i}^{c_k} + \vec{M}_k^* \bar{\omega}_{q_i}^{B_k})$$

Tính lực quán tính suy rộng thứ nhất:

$$\vec{Q}_1^* = \sum_{k=1}^3 (\vec{F}_k^* \bar{v}_{\phi_1}^{c_k} + \vec{M}_k^* \bar{\omega}_{\phi_1}^{B_k})$$

$$\vec{F}_1^* \bar{v}_{\phi}^{c_1} = -m_1 a_1^2 \ddot{\phi}$$

$$\vec{F}_2^* \bar{v}_{\phi}^{c_2} = -m_2 a_2^2 \ddot{\phi} - m_2 l_1 a_2 \ddot{\psi} \cos(\psi - \varphi) + m_2 l_1 a_2 \dot{\psi}^2 \sin(\psi - \varphi)$$

$$\vec{F}_3^* \bar{v}_{\phi}^{c_3} = -m_3 l_1^2 \ddot{\phi} - m_3 l_1 l_2 \ddot{\psi} \cos(\psi - \varphi) + m_3 l_1 l_2 \dot{\psi}^2 \sin(\psi - \varphi)$$

$$M_1^* \omega_{\phi}^{c_1} = -I_1 \ddot{\phi} \quad M_2^* \omega_{\phi}^{c_2} = 0 \quad M_3^* \omega_{\phi}^{c_3} = 0$$

$$\vec{Q}_1^* = -(m_1 a_1^2 + m_2 l_1^2 + m_3 l_1^2) \ddot{\phi} - (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \ddot{\psi} \cos(\psi - \varphi) + (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \dot{\psi}^2 \sin(\psi - \varphi) - I_1 \ddot{\phi}$$

$$\vec{F}_1^* \bar{v}_{\psi}^{c_1} = 0$$

$$\vec{F}_2^* \bar{v}_{\psi}^{c_2} = -m_2 a_2^2 \ddot{\psi} - m_2 l_1 a_2 \ddot{\phi} \cos(\psi - \varphi) + m_2 l_1 a_2 \dot{\phi}^2 \sin(\varphi - \psi)$$

$$\vec{F}_3^* \bar{v}_{\psi}^{c_3} = -m_3 l_2^2 \ddot{\psi} - m_3 l_1 l_2 \ddot{\phi} \cos(\psi - \varphi) + m_3 l_1 l_2 \dot{\phi}^2 \sin(\varphi - \psi)$$

$$M_1^* \omega_{\psi}^{c_1} = 0 \quad M_2^* \omega_{\psi}^{c_2} = -I_2 \ddot{\psi} \quad M_3^* \omega_{\psi}^{c_3} = 0$$

$$\vec{Q}_2^* = -(m_2 a_2^2 + m_3 l_2^2) \ddot{\psi} - (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \ddot{\phi} \cos(\psi - \varphi) + (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \dot{\phi}^2 \sin(\varphi - \psi) - I_2 \ddot{\psi}$$

### 3.8 Phương trình liên kết

$$f = l_1 \sin \varphi + l_2 \sin \psi - d = 0$$

### 3.9 Phương trình chuyển động của cơ cấu được viết bằng phương trình Kane dạng nhân tử

$$\bar{Q}_1 + \bar{Q}_1^* + \lambda \frac{\partial f}{\partial \varphi} = 0$$

$$\bar{Q}_2 + \bar{Q}_2^* + \lambda \frac{\partial f}{\partial \psi} = 0$$

$$f = l_1 \sin \varphi + l_2 \sin \psi - d = 0$$

Hệ 3 phương trình vi phân với 3 ẩn  $\varphi, \psi, \lambda$

$$\begin{aligned} & -m_1 g a_1 \cos \varphi - m_2 g l_1 \cos \varphi - m_3 g l_1 \cos \varphi - F l_1 \sin \varphi + \\ & -(m_1 a_1^2 + m_2 l_1^2 + m_3 l_1^2) \ddot{\varphi} - (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \ddot{\psi} \cos(\psi - \varphi) + (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \dot{\psi}^2 \sin(\psi - \varphi) - I_1 \ddot{\varphi} \\ & + \lambda \frac{\partial f}{\partial \varphi} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & -m_2 g a_2 \cos \psi - m_3 g l_2 \cos \psi - F l_2 \sin \psi \\ & -(m_2 a_2^2 + m_3 l_2^2) \ddot{\psi} - (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \ddot{\varphi} \cos(\psi - \varphi) + (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \dot{\varphi}^2 \sin(\varphi - \psi) - I_2 \ddot{\psi} \\ & + \lambda \frac{\partial f}{\partial \psi} = 0 \end{aligned}$$

$$f = l_1 \sin \varphi + l_2 \sin \psi - d = 0$$

### 3.10 Giải bài toán động lực học thuận áp dụng thuật toán 2

Hệ phương trình chuyển động của cơ cấu được viết lại như sau

$$(m_1 a_1^2 + m_2 l_1^2 + m_3 l_1^2 + I_1) \ddot{\varphi} + (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \ddot{\psi} \cos(\psi - \varphi) + \lambda \frac{\partial f}{\partial \varphi} \quad (2.1)$$

$$= -m_1 g a_1 \cos \varphi - m_2 g l_1 \cos \varphi - m_3 g l_1 \cos \varphi - F l_1 \sin \varphi + (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \dot{\psi}^2 \sin(\psi - \varphi)$$

$$(m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \ddot{\varphi} \cos(\psi - \varphi) + (m_2 a_2^2 + m_3 l_2^2 + I_2) \ddot{\psi} + \lambda \frac{\partial f}{\partial \psi} \quad (2.2)$$

$$= -m_2 g a_2 \cos \psi - m_3 g l_2 \cos \psi - F l_2 \sin \psi + (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \dot{\varphi}^2 \sin(\varphi - \psi)$$

$$f = l_1 \sin \varphi + l_2 \sin \psi - d = 0 \quad (2.3)$$

Đạo hàm hai lần phương trình liên kết (2.3) ta được

$$\dot{f} = l_1 \dot{\varphi} \cos \varphi + l_2 \dot{\psi} \cos \psi = 0 \quad (2.4)$$

Đạo hàm lần 2 phương trình liên kết

$$l_1 \ddot{\varphi} \cos \varphi + l_2 \ddot{\psi} \cos \psi = l_1 \dot{\varphi}^2 \sin \varphi + l_2 \dot{\psi}^2 \sin \psi \quad (2.5)$$

Các phương trình trên được viết gọn dưới dạng ma trận như sau:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M} & \Phi_s^T \\ \Phi_s & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{s}} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_1 \\ \mathbf{p}_2 \end{bmatrix}$$

S là các tọa độ suy rộng dư  $\mathbf{s} = [\varphi \quad \psi]^T$

M là ma trận khối lượng suy rộng với các phần tử như sau:

$$\mathbf{M} \mathbf{s} = \begin{bmatrix} I_1 + m_1 a_1^2 + (m_2 + m_3) \ell_1^2 & (m_2 a_2 + m_3 \ell_2) \ell_1 \cos(\varphi - \psi) \\ (m_2 a_2 + m_3 \ell_2) \ell_1 \cos(\varphi - \psi) & I_2 + m_2 a_2^2 + m_3 \ell_2^2 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$\Phi_s$  là ma trận jacobii

$$\Phi_s = \frac{\partial f}{\partial \mathbf{s}} = \begin{bmatrix} l_1 \cos \varphi & l_2 \cos \psi \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$\mathbf{p}_1 = \begin{bmatrix} -m_1 g a_1 \cos \varphi - m_2 g l_1 \cos \varphi - m_3 g l_1 \cos \varphi - F l_1 \sin \varphi + (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \sin(\psi - \varphi) \dot{\psi}^2 \\ -m_2 g a_2 \cos \psi - m_3 g l_2 \cos \psi - F l_2 \sin \psi + (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \sin(\varphi - \psi) \dot{\varphi}^2 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$\mathbf{p}_2 = l_1 \dot{\varphi}^2 \sin \varphi + l_2 \dot{\psi}^2 \sin \psi \quad (2.9)$$

Từ hệ phương trình (II), ta suy ra

$$\begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{s}} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{M} & \Phi_s^T \\ \Phi_s & \mathbf{0} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{p}_1 \\ \mathbf{p}_2 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Nhân bên trái phương trình (1.47) với ma trận  $\begin{bmatrix} \mathbf{E} & \mathbf{0} \end{bmatrix}$ , trong đó  $\mathbf{E}$  là ma trận đơn vị cấp  $n$ ,  $\mathbf{O}$  là ma trận chữ nhật cỡ  $r \times n$  ta được

$$\begin{bmatrix} \mathbf{E}, \mathbf{O} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{s}} \\ \lambda \end{bmatrix} = \ddot{\mathbf{s}} = \begin{bmatrix} \mathbf{E}, \mathbf{O} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{M} & \Phi_s^T \\ \Phi_s & \mathbf{0} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{p}_1 \\ \mathbf{p}_2 \end{bmatrix} = \mathbf{g}(\mathbf{s}, \dot{\mathbf{s}}, t) \quad (2.11)$$

Hệ phương trình (26) là hệ phương trình vi phân thường với biến  $\mathbf{s}$ . Nhân bên trái phương trình (25) với ma trận  $\begin{bmatrix} \mathbf{O} & \mathbf{E} \end{bmatrix}$ , ta được phương trình xác định  $\lambda$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{O}, \mathbf{E} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{s}} \\ \lambda \end{bmatrix} = \lambda = \begin{bmatrix} \mathbf{O}, \mathbf{E} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{M} & \Phi_s^T \\ \Phi_s & \mathbf{0} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{p}_1 \\ \mathbf{p}_2 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$



Hệ phương trình (2.11) là hệ phương trình vi phân thường với biến  $s$ . Sử dụng một sơ đồ tích phân số, ta thu được  $s$  và  $\dot{s}$ . Thế vào (2.12), ta thu được  $\lambda$ .

#### 4. Điều chỉnh kích thước.

Thay một số thử nghiệm một số thông số và điều chỉnh ta chọn kích thước phù hợp

Các tham số về hình học và khối lượng của cơ cấu được cho trong bảng 1.

Bảng 5.1:

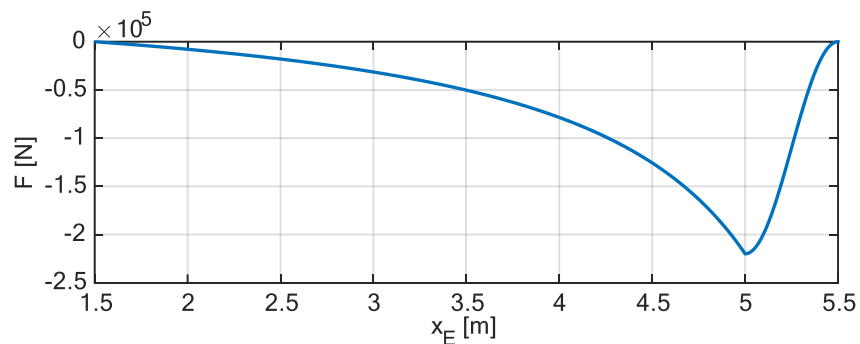
Khâu	Chiều dài $\ell_i$ [m]	Vị trí khối tâm $a_i$ [m]	Khối lượng [kg]	Mô men quán tính khối đối với khối tâm [ $kgm^2$ ]
1	2	0	200	450
2	3.5	1.75	35	35
3			25	
$d = 0.00 [m]$				

- Ngẫu lực phát động:  $M = 0$ ;

- Lực khí nén là hàm của vận tốc và vị trí của con trượt E:

$$+ \text{ Khi } \dot{x}_E > 0 \text{ thì } F = \begin{cases} -\frac{282,857}{6 - x_E} + 62,857 & \text{ khi } 1.5 \leq x_E \leq 5 \\ -110,000 [1 - \sin 2\pi (x_E - 5.25)] & \text{ khi } 5 \leq x_E \leq 5.5 \end{cases}$$

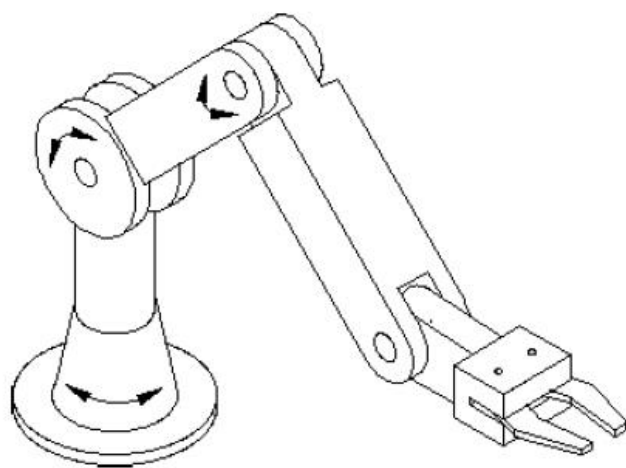
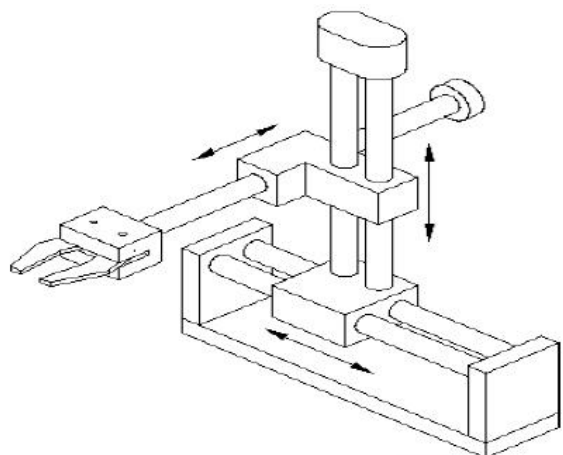
+ Khi  $\dot{x}_E \leq 0$  thì  $F = 0$



Hình 5.2: Đồ thị lực khí nén tác dụng lên con trượt

Điều kiện đầu:  $\varphi_0 = \varphi_0 = \pi, \dot{\varphi}_0 = \dot{\varphi}_0 = 30 [s^{-1}]$

## 5 . Một số mô hình của các hệ cơ học khác



## **6. Kết luận**

Việc mô hình hóa các hệ cơ học rất quan trọng. Công đoạn này là bước đầu tiên trong thiết kế các chi tiết máy, robot. Sau công đoạn mô hình hóa, sẽ tính toán và mô phỏng chuyển động của chi tiết máy. Việc này giúp giảm thiểu chi phí sản xuất, giảm khả năng sai hỏng của chi tiết. Ngoài ra còn tạo ra các mô hình mẫu để đưa vào giảng dạy và tham khảo cho sinh viên. Giúp sinh viên có cái nhìn trực quan hơn về các hệ cơ học.