

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN.....	3
1.1 Hệ con lắc ngược.....	3
1.2 Bài toán điều khiển con lắc ngược.....	3
1.3 Mục đích và phương án điều khiển.....	3
CHƯƠNG 2. MÔ HÌNH HÓA ĐỐI TƯỢNG	5
CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN.....	8
3.1. Thiết kế bộ điều khiển Swing-up.....	8
3.2. Thiết kế bộ điều khiển cân bằng (Phương pháp LQR).....	9
Hình 3.1: Bộ điều khiển phản hồi trạng thái tối ưu (phản hồi dương).....	10
Chương 4: Xây dựng mô hình con lắc ngược bằng Simscape	11
4.1. Giới thiệu về Simscape	11
4.2. Phân tích hệ thống	11
4.3. Xây dựng hệ thống bằng Simscape.....	11
4.3.1. Các khối cơ bản :.....	11
4.3.2. Xây dựng con lắc furuta bằng Simscape.....	13
CHƯƠNG 5. MÔ PHỎNG	20

LỜI MỞ ĐẦU

Trong thực tế ta bắt gặp ngày càng nhiều các hệ thống đặt ra yêu cầu phải giải quyết bài toán giữ thăng bằng hay chống rung lắc cho hệ. Một số ví dụ quen thuộc có thể kể đến hệ xe hai bánh tự cân bằng, hệ gimbal chống rung cho camera, robot di chuyển bằng hai chân... Các hệ này có mặc dù có kết cấu khác nhau xong mục đích điều khiển nhìn chung đều có nguyên tắc như bài toán điều khiển hệ con lắc ngược. Hệ con lắc ngược thực ra đã được đưa vào nghiên cứu trong lĩnh vực điều khiển tự động từ rất sớm, khoảng từ những năm 50 của thế kỷ trước, nó vốn là một đối tượng không ổn định, thường được sử dụng để kiểm tra khả năng thực thi và tính hiệu quả của các thuật toán điều khiển. Dù đã có từ lâu nhưng bài toán điều khiển con lắc ngược vẫn luôn dành được nhiều sự quan tâm, các giải thuật điều khiển mới cho nó vẫn liên tục được ra đời và kiểm nghiệm. Mục tiêu của đồ án này là xây dựng hệ thống điều khiển cho hệ con lắc ngược Furuta.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.1 Hệ con lắc ngược

Đối tượng được nghiên cứu trong đồ án này là hệ con lắc ngược quay (con lắc ngược Furuta). Với cơ cấu cơ khí như hình 1.1, thiết bị chấp hành tạo chuyển động quay là một động cơ DC, thiết bị đo bao gồm 2 encoder để xác định góc quay động cơ và góc quay con lắc. Thông số các thiết bị được cho trong bảng 1.1.



Hình 1.1. Mô hình thực tế con lắc ngược Furuta

1.2 Bài toán điều khiển con lắc ngược

Bài toán đặt ra là điều khiển cơ cấu chấp hành để tạo chuyển động cho con lắc, sao cho đưa được con lắc từ vị trí ban đầu thẳng đứng hướng xuống dưới đến được vị trí cân bằng trên là vị trí thẳng đứng hướng lên, đồng thời phải giữ được nó ổn định tại đó dù có ngoại lực hay nhiễu tác động.

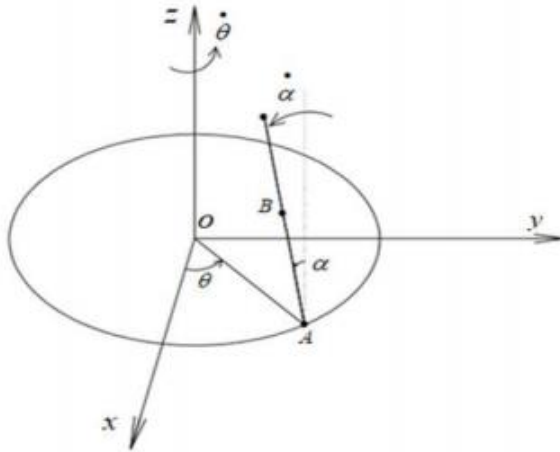
1.3 Mục đích và phương án điều khiển

Từ mô tả bài toán, có thể thấy mục đích điều khiển của ta là giải quyết hai bài toán sau:

- Bài toán điều khiển swing-up: đưa được con lắc từ vị trí ban đầu (thẳng đứng hướng xuống) lên đến lân cận vị trí cân bằng trên.
- Bài toán điều khiển cân bằng: duy trì được hệ ổn định quanh vị trí cân bằng dù chịu tác động của ngoại lực.

Với mỗi bài toán trên ta sẽ xây dựng một bộ điều khiển riêng và mỗi bộ điều khiển sẽ hoạt động trong một giai đoạn khác nhau. Cụ thể quá trình hoạt động của hệ thống như sau: ban đầu con lắc ở vị trí thẳng đứng hướng xuống, khi bắt đầu chạy, bộ điều khiển swing-up sẽ hoạt động trước khiến con lắc dao động, cho đến khi vị trí con lắc đến vùng lân cận vị trí cân bằng trên thì bộ điều khiển swing-up ngừng hoạt động, đồng thời bộ điều khiển cân bằng bắt đầu hoạt động để đưa con lắc tới vị trí cân bằng và duy trì nó ổn định tại vị trí đó.

CHƯƠNG 2. MÔ HÌNH HÓA ĐỐI TƯỢNG



Hình 2.1. Mô hình đơn giản hệ con lắc ngược Furuta

Hệ con lắc ngược Furuta (chỉ gồm phần cơ khí) được mô tả một cách đơn giản như trong hình 2.1. Hệ bao gồm: một tay quay (OA) nằm ngang, chiều dài l_0 được gắn vuông góc với trục động cơ, khi động cơ quay sẽ khiến thanh này quay trong mặt phẳng nằm ngang; con lắc có khối lượng m , chiều dài $2l_1$, gắn tại A và có thể quay linh hoạt trong mặt phẳng vuông góc với OA.

Một số đại lượng khác cần quan tâm:

- J_0 : momen quán tính của tay quay với trục quay qua tâm O.
- J_1 : momen quán tính của con lắc với khối tâm B.
- b_0 : hệ số ma sát của trục động cơ.
- b_1 : hệ số ma sát của trục con lắc.

Xét trong hệ tọa độ Oxyz cố định như hình 2.1, θ và α được sử dụng là các hệ tọa độ suy rộng. Tại một thời điểm, khi cánh tay quay được một góc θ so với trục Ox, thì con lắc rời đi một góc α so với phương thẳng đứng.

Giả sử trọng lực của con lắc đặt tại điểm giữa B. Tọa độ khối tâm B của con lắc:

$$\begin{cases} x_B = l_0 \cos(\theta) + l_1 \sin(\alpha) \sin(\theta) \\ y_B = l_0 \sin(\theta) - l_1 \sin(\alpha) \cos(\theta) \\ z_B = l_1 \cos(\alpha) \end{cases} \quad (2.1)$$

Đạo hàm hai vế của (2.1) ta được :

$$\begin{cases} \dot{x}_B = -l_0 \sin(\theta) \dot{\theta} + l_1 \cos(\alpha) \sin(\theta) \dot{\alpha} + l_1 \sin(\alpha) \cos(\theta) \dot{\theta} \\ \dot{y}_B = l_0 \cos(\theta) \dot{\theta} - l_1 \cos(\alpha) \cos(\theta) \dot{\alpha} + l_1 \sin(\alpha) \sin(\theta) \dot{\theta} \\ \dot{z}_B = -l_1 \sin(\alpha) \dot{\alpha} \end{cases} \quad (2.2)$$

Suy ra được vận tốc của khối tâm B của con lắc:

$$v_1^2 = \dot{x}_B^2 + \dot{y}_B^2 + \dot{z}_B^2 = l_0^2 \dot{\theta}^2 + l_1^2 (\sin(\alpha))^2 \dot{\theta}^2 + l_1^2 \dot{\alpha}^2 - 2l_0 l_1 \cos(\alpha) \dot{\alpha} \dot{\theta} \quad (2.3)$$

Động năng của hệ :

$$K = \frac{1}{2} (J_0 \dot{\theta}^2 + J_1 \dot{\alpha}^2 + m v_1^2) \quad (2.4)$$

Thay (2.3) vào (2.4) ta được:

$$K = \frac{1}{2} (J_0 + m l_0^2 + m l_1^2 (\sin(\alpha))^2) \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} (J_1 + m l_1^2) \dot{\alpha}^2 - m l_0 l_1 \cos(\alpha) \dot{\alpha} \dot{\theta} \quad (2.5)$$

Chọn mốc thế năng $T = 0$ tại vị trí cao nhất của con lắc ngược. Ta có thế năng của hệ được tính như sau:

$$T = m g l_1 (\cos(\alpha) - 1) \quad (2.6)$$

Từ (2.5) và (2.6) ta có được công thức hàm Lagrange :

$$\begin{aligned} L &= K - T \\ &= \frac{1}{2} (J_0 + m l_0^2 + m l_1^2 (\sin(\alpha))^2) \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} (J_1 + m l_1^2) \dot{\alpha}^2 - m l_0 l_1 \cos(\alpha) \dot{\alpha} \dot{\theta} - m g l_1 (\cos(\alpha) - 1) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Gọi τ là momen tác dụng của động cơ.

Áp dụng công thức : $F_i = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i}$ Ta có hệ phương trình động học :

$$\begin{cases} \tau - b_0 \dot{\theta} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} \\ -b_1 \dot{\alpha} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \alpha} \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \tau - b_0 \dot{\theta} = (J_0 + m l_0^2 + m l_1^2 (\sin(\alpha))^2) \ddot{\theta} - m l_0 l_1 \cos(\alpha) \ddot{\alpha} + m l_1^2 \sin(2\alpha) \dot{\alpha} \dot{\theta} + m l_0 l_1 \sin(\alpha) \dot{\alpha}^2 \\ -b_1 \dot{\alpha} = -m l_0 l_1 \cos(\alpha) \ddot{\theta} + (J_1 + m l_1^2) \ddot{\alpha} - \frac{1}{2} m l_1^2 \sin(2\alpha) \dot{\theta}^2 - m g l_1 \sin(\alpha) \end{cases} \quad (2.8)$$

Hệ phương trình (2.8) có thể được viết lại dưới dạng:

$$H(\alpha) \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} + V(\dot{\theta}, \dot{\alpha}, \theta, \alpha) + G(\alpha) = T \quad (2.9)$$

Trong đó:

$$H(\alpha) = \begin{pmatrix} J_0 + ml_0^2 + ml_1^2 (\sin(\alpha))^2 & -ml_0 l_1 \cos(\alpha) \\ -ml_0 l_1 \cos(\alpha) & J_1 + ml_1^2 \end{pmatrix} \quad G(\alpha) = \begin{pmatrix} 0 \\ -mgl_1 \sin(\alpha) \end{pmatrix}$$

$$V(\dot{\theta}, \dot{\alpha}, \theta, \alpha) = \begin{pmatrix} b_0 \dot{\theta} + ml_1^2 \sin(2\alpha) \dot{\alpha} \dot{\theta} + ml_0 l_1 \sin(\alpha) \dot{\alpha}^2 \\ b_1 \dot{\alpha} - 0.5 ml_1^2 \sin(2\alpha) \dot{\theta}^2 \end{pmatrix} \quad T = \begin{pmatrix} \tau \\ 0 \end{pmatrix}$$

Từ (2.9) ta có mô hình phi tuyến của hệ con lắc ngược Furuta như sau:

$$\ddot{q} = \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} = H^{-1} [T - V - G] = f(\dot{\theta}, \dot{\alpha}, \theta, \alpha, \tau) = \begin{bmatrix} f_1(\dot{\theta}, \dot{\alpha}, \theta, \alpha, \tau) \\ f_2(\dot{\theta}, \dot{\alpha}, \theta, \alpha, \tau) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Trong đó :

$$f_1(\dot{\theta}, \dot{\alpha}, \theta, \alpha, \tau) = \frac{ml_0 l_1 \cos(\alpha) (0.5 ml_1^2 \sin(2\alpha) \dot{\theta}^2 + mgl_1 \sin(\alpha) - b_1 \dot{\alpha})}{\Delta} - \frac{(ml_1^2 + J_1)(ml_1^2 \sin(2\alpha) \dot{\alpha} \dot{\theta} + ml_0 l_1 \sin(\alpha) \dot{\alpha}^2 - \tau + b_0 \dot{\theta})}{\Delta}$$

$$f_2(\dot{\theta}, \dot{\alpha}, \theta, \alpha, \tau) = \frac{(ml_0^2 + ml_1^2 (\sin(\alpha))^2 + J_0)(0.5 ml_1^2 \sin(2\alpha) \dot{\theta}^2 + mgl_1 \sin(\alpha) - b_1 \dot{\alpha})}{\Delta} - \frac{ml_0 l_1 \cos(\alpha) (ml_1^2 \sin(2\alpha) \dot{\alpha} \dot{\theta} + ml_0 l_1 \sin(\alpha) \dot{\alpha}^2 - \tau + b_0 \dot{\theta})}{\Delta}$$

$$\text{Với: } \Delta = J_0 J_1 + m^2 l_1^4 (\sin(\alpha))^2 + m^2 l_0^2 l_1^2 + J_0 m l_1^2 + J_1 m l_0^2 + J_1 m l_1^2 (\sin(\alpha))^2 - m^2 l_0^2 l_1^2 (\cos(\alpha))^2$$

CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

3.1. Thiết kế bộ điều khiển Swing-up

Nhiệm vụ của bộ điều khiển swing-up là phá vỡ sự cân bằng bên của con lắc ở vị trí cân bằng dưới và nhanh chóng đưa con lắc tới được vùng lân cận vị trí cân bằng phía trên ($\alpha \in (-20^\circ, 20^\circ)$). Ta có công thức tính năng lượng của con lắc khi lệch một góc α và tốc độ góc $\dot{\alpha}$ là :

$$E = \frac{1}{2}J\dot{\alpha}^2 + mgl_1(\cos(\alpha) - 1) \quad (3.1)$$

Với J là momen quán tính của con lắc so với tâm quay.

Ở đây ta chọn mốc tính thế năng là vị trí cao nhất của con lắc (vị trí cân bằng phía trên). Khi con lắc đứng yên tại vị trí cân bằng trên thì năng lượng khi đó sẽ là $E_0 = 0$. Tại thời điểm ban đầu, con lắc ở vị trí cân bằng dưới và chưa chuyển động, khi đó nó có năng lượng thấp nhất là $E_{\min} = -2mgl_1$. Nguyên tắc hoạt động của bộ điều khiển swing-up là: dựa trên năng lượng hiện tại của con lắc, tính toán đưa tín hiệu điều khiển ra động cơ một cách hợp lý, đúng cả về độ lớn và hướng tác động, qua đó bổ sung năng lượng cho con lắc để nó từ E_{\min} đạt được mức năng lượng E_0 . Ta sẽ xây dựng công thức tính bộ điều khiển như sau:

Đạo hàm phương trình (3.1) ta được:

$$\dot{E} = (J_1 + ml_1^2)\dot{\alpha}\ddot{\alpha} - mgl_1\sin(\alpha)\dot{\alpha} \quad (3.2)$$

Kết hợp (3.2) với (2.8) ta được :

$$\dot{E} = (-b_1\dot{\alpha} + ml_0l_1\cos(\alpha)\ddot{\theta} + \frac{1}{2}ml_1^2\sin(2\alpha)\dot{\theta}^2)\dot{\alpha} \quad (3.3)$$

Thành phần ma sát nhỏ nên ta có thể bỏ qua trong công thức (3.3) để có:

$$\dot{E} = ml_0l_1\cos(\alpha)\dot{\alpha}\ddot{\theta} + \frac{1}{2}ml_1^2\sin(2\alpha)\dot{\alpha}\dot{\theta}^2 \quad (3.4)$$

Mặt khác ta có phương trình động học của momen đầu trục động cơ:

$$J_\Sigma.\ddot{\theta} = \tau \Leftrightarrow \ddot{\theta} = \frac{\tau}{J_\Sigma} \quad (3.5)$$

Trong đó J_Σ là tổng momen quán tính của hệ so với trục quay động cơ (bao gồm cả momen của hệ tay quay và con lắc): $J_\Sigma = J_0 + ml_0^2 + ml_1^2\sin^2(\alpha)$.

Thay (3.5) vào (3.4) ta được:

$$\dot{E} = \frac{ml_0 l_1 \cos(\alpha) \dot{\alpha}}{J_\Sigma} \tau + \frac{1}{2} ml_1^2 \sin(2\alpha) \dot{\alpha} \dot{\theta}^2 \quad (3.6)$$

Chọn hàm ứng viên Lyapunov : $V = \frac{1}{2} E^2$. Ta chọn được tín hiệu điều khiển τ để \dot{V} bán xác định âm như sau :

$$\tau = -kE \text{sign}(\dot{\alpha} \cos(\alpha)) - \frac{J_\Sigma l_1 \sin(\alpha)}{l_o} \dot{\theta}^2 \quad (k > 0) \quad (= -\tau_1 - \tau_2) \quad (3.7)$$

Thật vậy, với τ như trên ta có:

$$\dot{V} = E \dot{E} = \frac{-kml_0 l_1}{J_\Sigma} (E^2 \text{sign}(\dot{\alpha} \cos(\alpha)) \cos(\alpha) \dot{\alpha}) \leq 0 \quad (3.8)$$

Chú ý hàm $\text{sign}()$ ở đây ta quy ước khác một chút với định nghĩa: $\text{sign}(0) = 1$.

Ta thấy hàm \dot{V} bán xác định âm và có thể bằng 0 tại vị trí $\alpha = \pm 90^\circ$, tuy nhiên thực tế con lắc không thể duy trì ổn định ở vị trí này, do đó tín hiệu điều khiển luôn có xu hướng đưa hệ về vị trí cân bằng ($E=0$). Xét thấy khi chạy thực tế thành phần τ_2 trong (3.7) thường rất nhỏ so với τ_1 , do đó ta có thể sử dụng công thức điều khiển đơn giản như sau:

$$\tau = -kE \text{sign}(\dot{\alpha} \cos(\alpha)) \quad (3.9)$$

Thay $\tau = k_T i_A$ ta được công thức tính i_{dk} đưa về bộ điều khiển dòng như sau:

$$i_{dk} = -k_{sw} E \text{sign}(\cos(\alpha) \dot{\alpha}) \quad (k_{sw} > 0) \quad (3.10)$$

3.2. Thiết kế bộ điều khiển cân bằng (Phương pháp LQR)

Bộ điều khiển phản hồi trạng thái tối ưu (LQR) được xây dựng cho hệ tuyến tính tham số hằng:

$$\frac{d\underline{x}}{dt} = A\underline{x} + B\underline{u} \quad (3.11)$$

Mục tiêu là xác định tín hiệu điều khiển tối ưu $\underline{u}^* = u(\underline{x}, t)$ đưa hệ từ \underline{x}_0 tùy ý cho trước tới được \underline{x}_T bất kỳ, đồng thời thỏa mãn hàm mục tiêu J đạt giá trị nhỏ nhất. J có dạng toàn phương như sau:

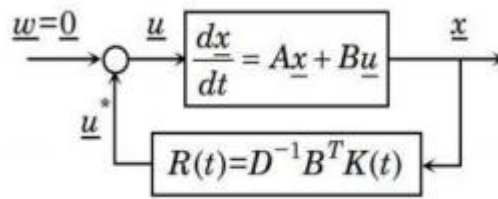
$$J = \frac{1}{2} \int_0^T (\underline{x}^T C \underline{x} + \underline{u}^T D \underline{u}) dt \quad (3.12)$$

Với giả thiết: hai ma trận C, D là đối xứng, trong đó C bán xác định dương và D xác định dương ($C = C^T \geq 0, D = D^T \geq 0$). Khoảng thời gian T xảy ra quá trình tối ưu là hữu hạn cho trước hoặc vô hạn.

Giải bài toán tối ưu sẽ xác định được bộ điều khiển phản hồi trạng thái cần tìm:

$$\underline{u}^* = D^{-1} B^T K(t) \underline{x} = R(t) \underline{x} \quad (3.13)$$

$K(t)$ được xác định bằng cách tính ma trận hàm mũ, hoặc giải phương trình vi phân Riccati (khi T hữu hạn), phương trình đại số Riccati (khi T vô hạn).



Hình 3.1: Bộ điều khiển phản hồi trạng thái tối ưu (phản hồi dương)

Chương 4: Xây dựng mô hình con lắc ngược bằng Simscape

4.1. Giới thiệu về Simscape

Simscape cho phép ta tạo ra hệ thống vật lý trong môi trường Simulink của MATLAB. Với Simscape, ta có thể xây dựng được các phần tử vật lý dựa trên những kết nối vật lý. Hệ thống có thể là động cơ điện, cầu diode,....

4.2. Phân tích hệ thống

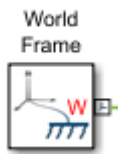
Hệ thống gồm 2 thanh cứng được nối với nhau bằng một khớp trụ và 1 thanh được nối với 1 động cơ.

→ Hệ thống Simscape :

- Một khối nền hay coi là gốc để đặt hệ con lắc ngược và động cơ
- 2 thanh dài L0 và 2L1, 1 thanh nằm ngang và 1 thanh thẳng đứng (con lắc)
- 2 khớp trụ

4.3. Xây dựng hệ thống bằng Simscape

4.3.1. Các khối cơ bản :



World Frame : Khối để khởi tạo gốc tọa độ.



Solid : Khối để tạo ra các hình khối vật lý : Khối này tạo ra các mô hình vật lý tĩnh cơ bản như hình trụ, hình tròn, hình hộp chữ nhật,... thông qua các thông số cơ bản như chiều dài, bán kính, khối lượng riêng, khối lượng tại khối tâm, hay mô men quán tính....

Description

Represents a solid combining a geometry, an inertia and mass, a graphics component, and rigidly attached frames into a single unit. A solid is the common building block of rigid bodies. The Solid block obtains the inertia from the geometry and density, from the geometry and mass, or from an inertia tensor that you specify.

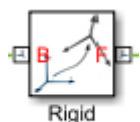
In the expandable nodes under Properties, select the types of geometry, inertia, graphic features, and frames that you want and their parameterizations.

Port R is a frame port that represents a reference frame associated with the geometry. Each additional created frame generates another frame port.

Properties

Geometry		
Shape	Brick	
Dimensions	[0.01 0.01 0.01]	m
Inertia		
Type	Custom	
Mass	m0	kg
Center of Mass	[0 0 0]	m
Moments of Inertia	[1 1 1]*1e-3	kg*m^2
Products of Inertia	[0 0 0]	kg*m^2
Graphic		
Type	From Geometry	
Visual Properties		
Color	[1.0 0.2 0.0]	
Opacity	1.0	
Frames		

Ngoài ra còn có các thông số hình ảnh như màu sắc



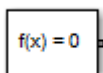
Rigid Transform3

Rigid Transform : Khối dịch hệ tọa độ, ta có 2 phép dịch hệ tọa độ là phép tịnh tiến và phép xoay. Cần phải dịch hệ tọa độ đi để có thể gắn kết các khối vật lý một cách hợp lý. Có thể tịnh tiến hoặc xoay cùng lúc nhưng để dễ dàng tùy chỉnh thì nên tách riêng xoay và tịnh tiến.

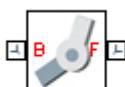


Mechanism Configuration

Mechanism Configuration : Khối đặt tham số môi trường chung cho toàn hệ như gia tốc trọng trường.



Solver Configuration : Khối đặt tham số mô phỏng.



Revolute Joint : Khối khớp trụ. Khối này dùng để kết nối các khối vật lý. Có thể đặt tham số như một động cơ, lấy ra các tham số góc như có cảm biến đo và ma sát ổ trục.

Revolute Joint : Revolute Joint 2

Description

Represents a revolute joint acting between two frames. This joint has one rotational degree of freedom represented by one revolute primitive. The joint constrains the origins of the two frames to be coincident and the z-axes of the base and follower frames to be coincident, while the follower x-axis and y-axis can rotate around the z-axis.

In the expandable nodes under Properties, specify the state, actuation method, sensing capabilities, and internal mechanics of the primitives of this joint. After you apply these settings, the block displays the corresponding physical signal ports.

Ports B and F are frame ports that represent the base and follower frames, respectively. The joint direction is defined by motion of the follower frame relative to the base frame.

Properties

- ☒ Z Revolute Primitive (Rz)
 - ☒ State Targets

Specify Position Target	<input checked="" type="checkbox"/>
Specify Velocity Target	<input type="checkbox"/>
 - ☒ Internal Mechanics

Equilibrium Position	pi	rad	▼
Spring Stiffness	0	N*m/rad	▼
Damping Coefficient	beta1	N*m/(rad/s)	▼
 - ☒ Actuation

Torque	None	▼
Motion	Automatically Computed	▼
 - ☒ Sensing

Position	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocity	<input checked="" type="checkbox"/>
Acceleration	<input type="checkbox"/>
Actuator Torque	<input type="checkbox"/>
 - ☒ Composite Force/Torque Sensing

Direction	Follower on Base	▼
Resolution Frame	Base	▼
Constraint Force	<input type="checkbox"/>	
Constraint Torque	<input type="checkbox"/>	
Total Force	<input type="checkbox"/>	
Total Torque	<input type="checkbox"/>	

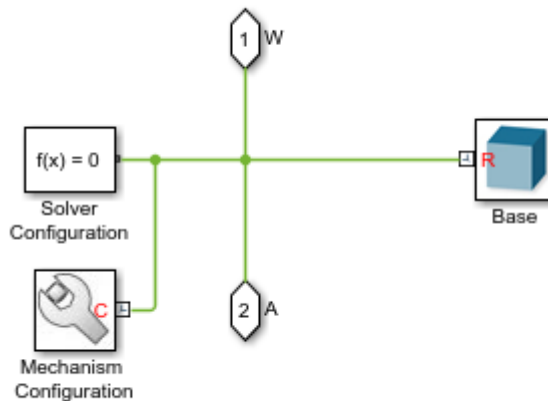
OK Cancel Help Apply

4.3.2. Xây dựng con lắc furuta bằng Simscape

Khối nền :

Tao World Frame để làm gốc của hệ tọa độ gốc.

Tao khôi nền - nơi đặt con lắc furuta.



Lấy khối Solid từ thư viện Simscape để tạo khối base với các tham số :

Trong Geometry :

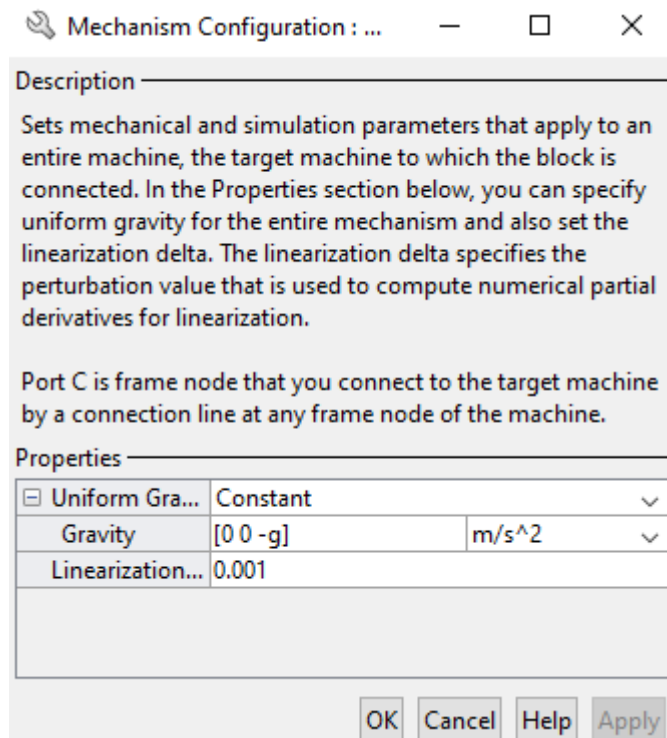
Shape : Cylinder

Radius : 0.1 m

Length : 0.5 m

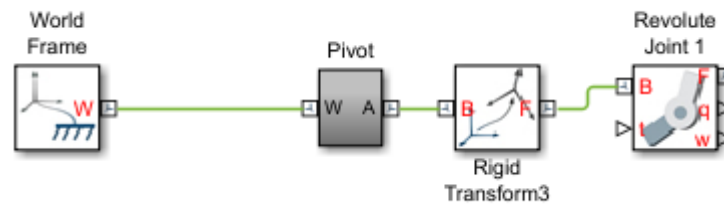
Các chỉ số khác để mặc định, 2 khối Connection Port, 1 khối để kết nối với World Frame (khối W như trong hình), 1 khối để kết nối với cánh tay của con lắc Furuta (khối A như trong hình).

Vào khối Mechanism Configuration, chỉnh ma trận trọng trường như hình

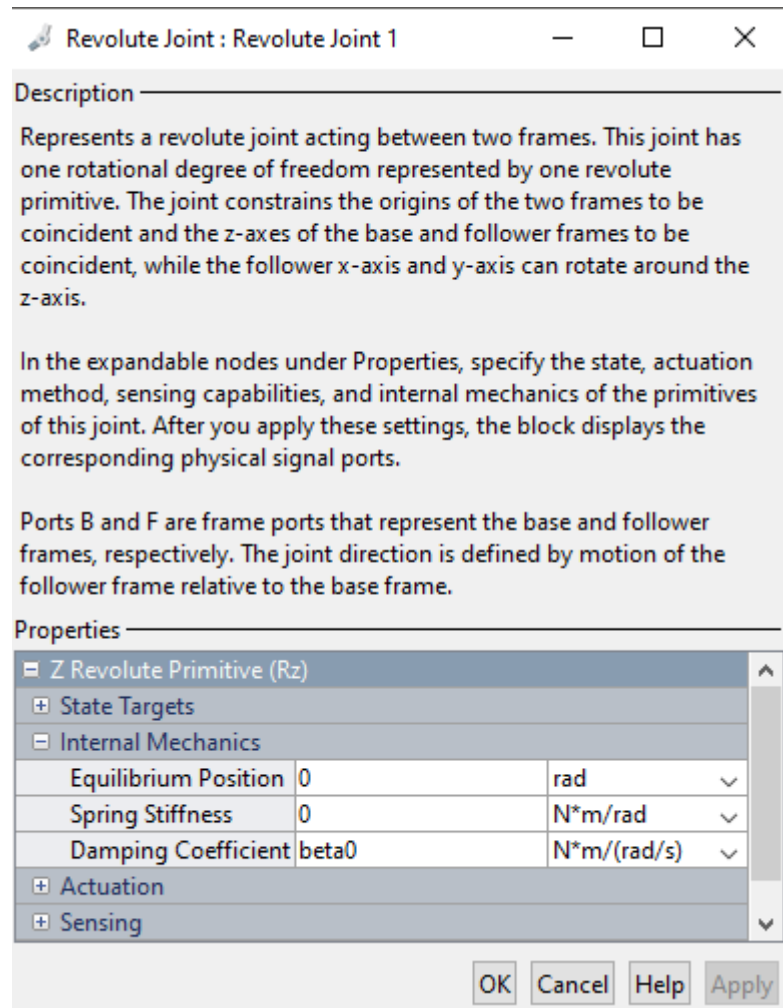


Với $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, dấu trừ để vectơ trọng trường hướng xuống dưới.

Kết nối với cánh tay của con lắc ta cần một khớp trụ. Đầu tiên ta cần dịch tọa độ về đỉnh của khối gốc., ta sử dụng khối Rigid Transform để dịch dọc theo trục Z nửa chiều dài của khối gốc và gắn khớp trụ vào.

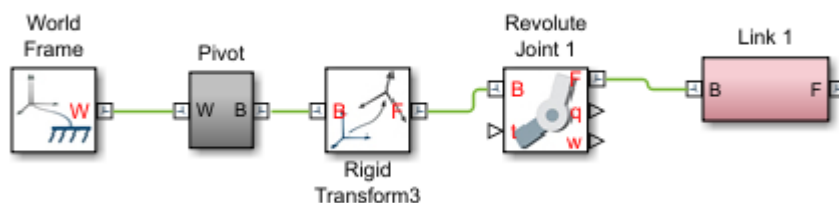


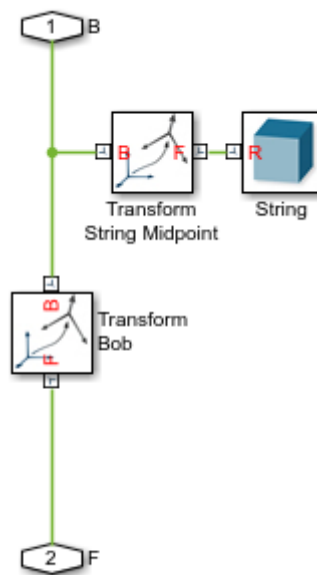
Ta đặt hệ số ma sát của khớp này là beta0



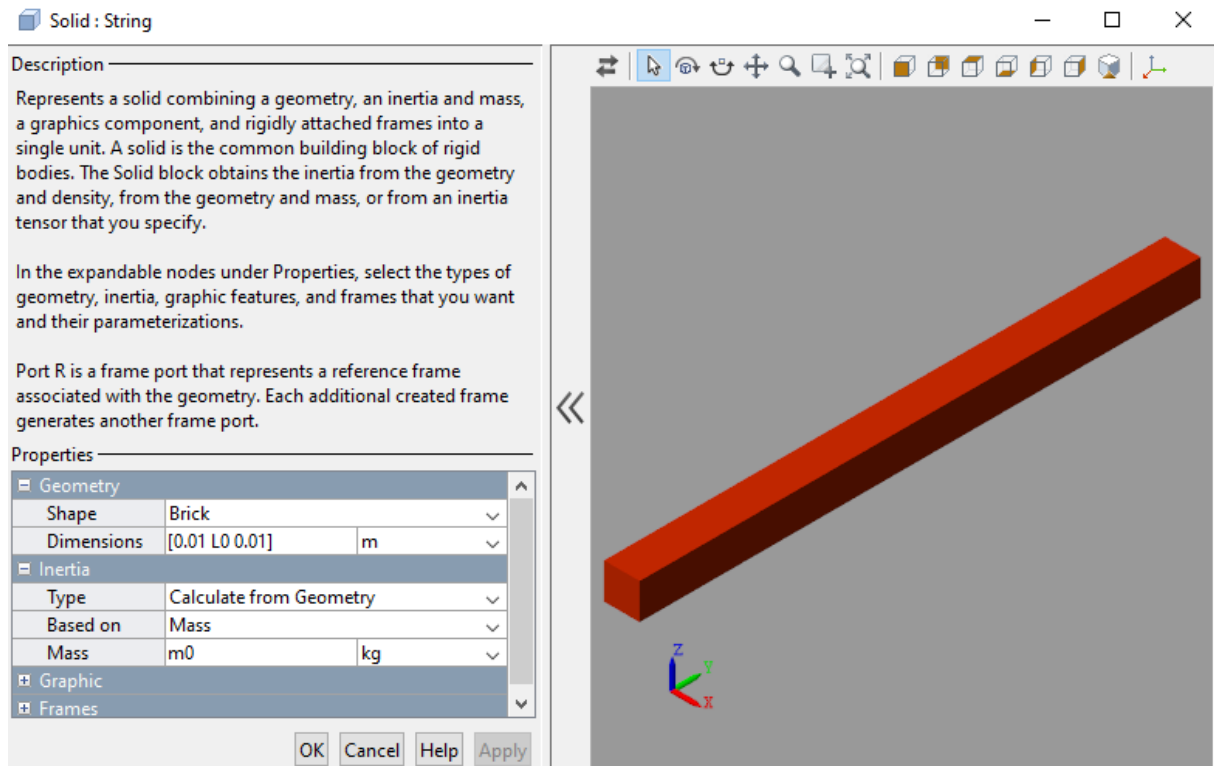
Tạo cánh tay cho con lắc :

Cánh tay có độ dài L_0 nên ta cần dịch tọa độ ra $L_0/2$ để tạo cánh tay và dịch ra L_0 để tiếp tục kết nối với con lắc

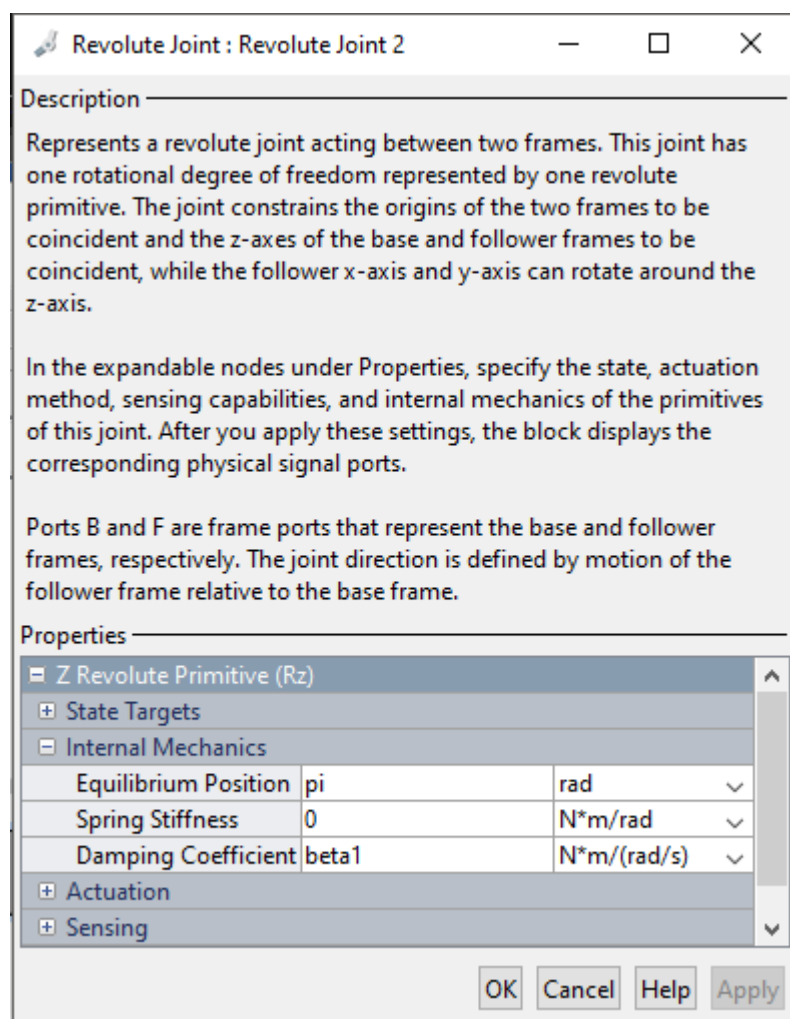
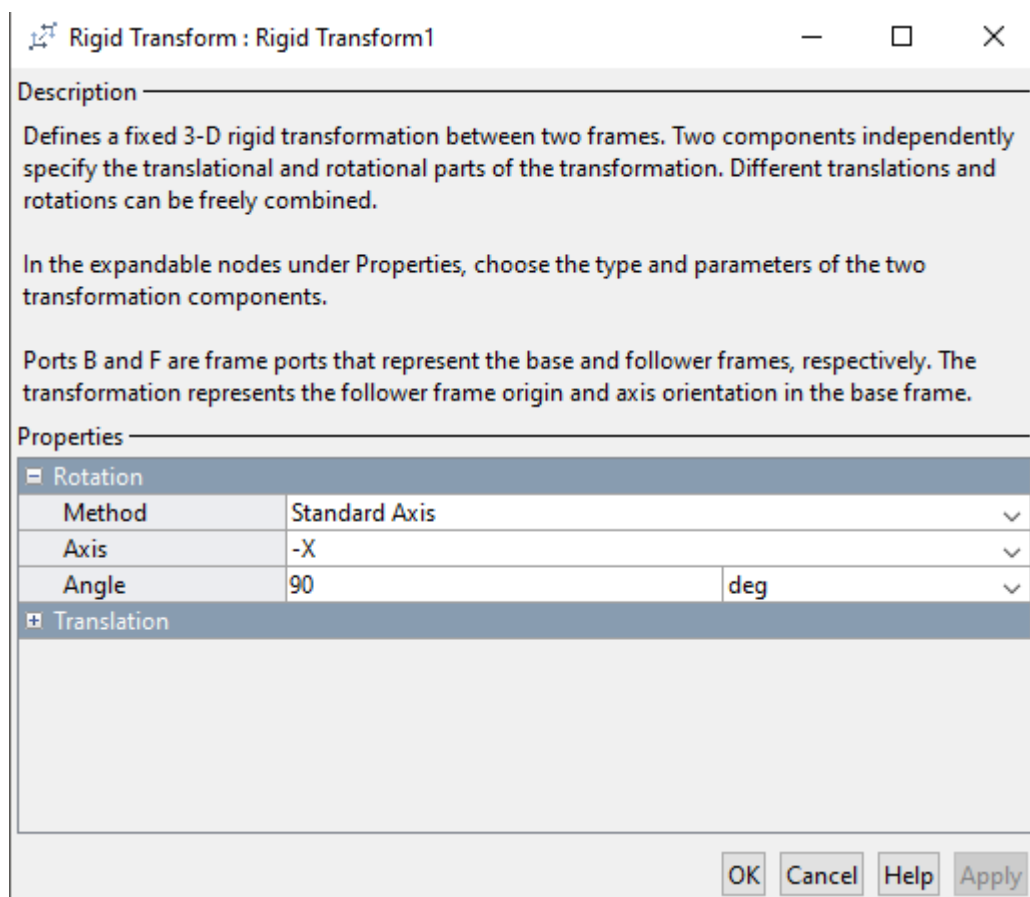




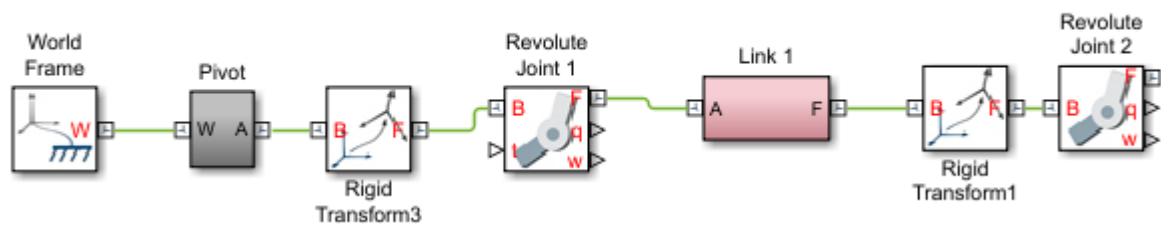
Bên trong khối Solid (tên là String) đặt thông số như sau



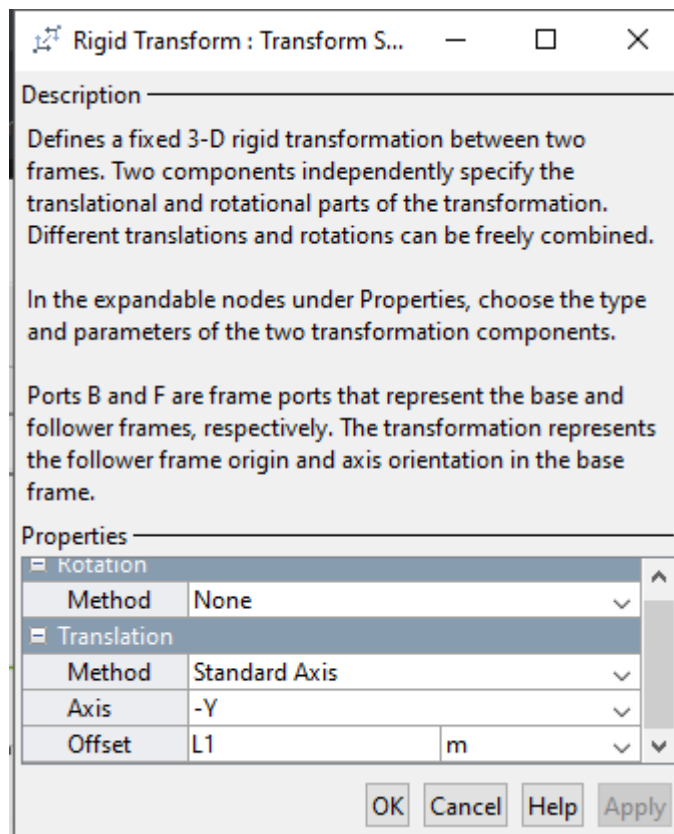
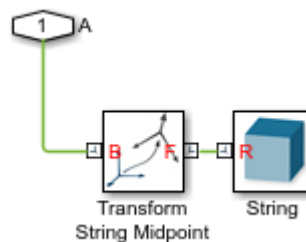
Tiếp tục ta kết nối với một khớp quay nhưng ta cần quay trục tọa độ :

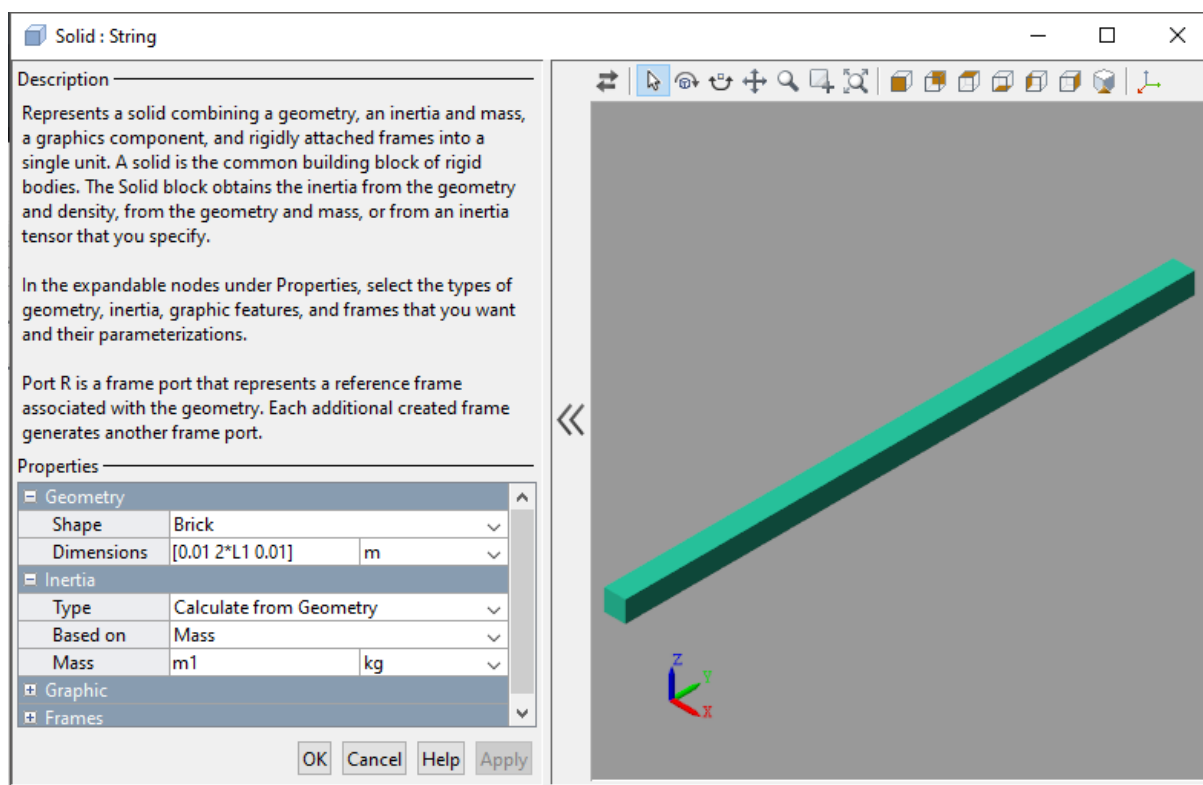


Kết nối lại ta có

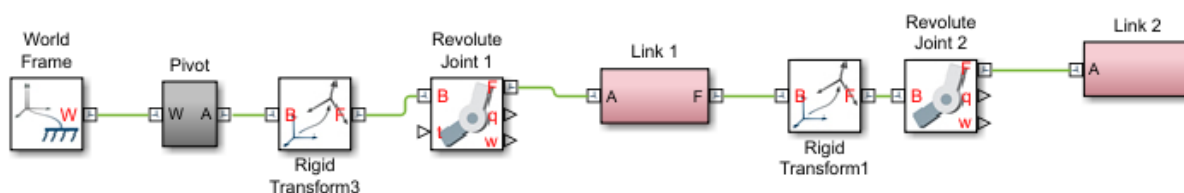


Tạo con lắc cuối cùng :

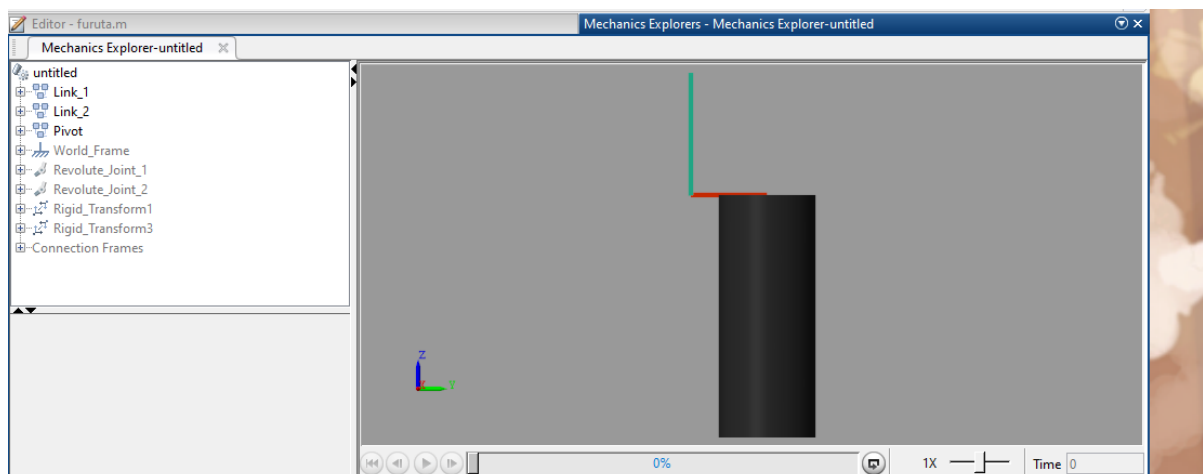




Kết nối lại ta có toàn bộ mô hình



Với các tham số ở chương 5 ta vào **Simulation > Update Diagram** sẽ có như MATLAB

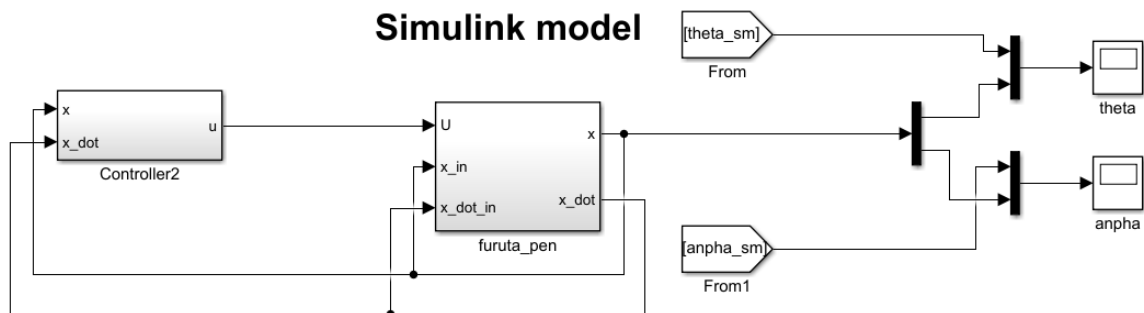


CHƯƠNG 5. MÔ PHỎNG

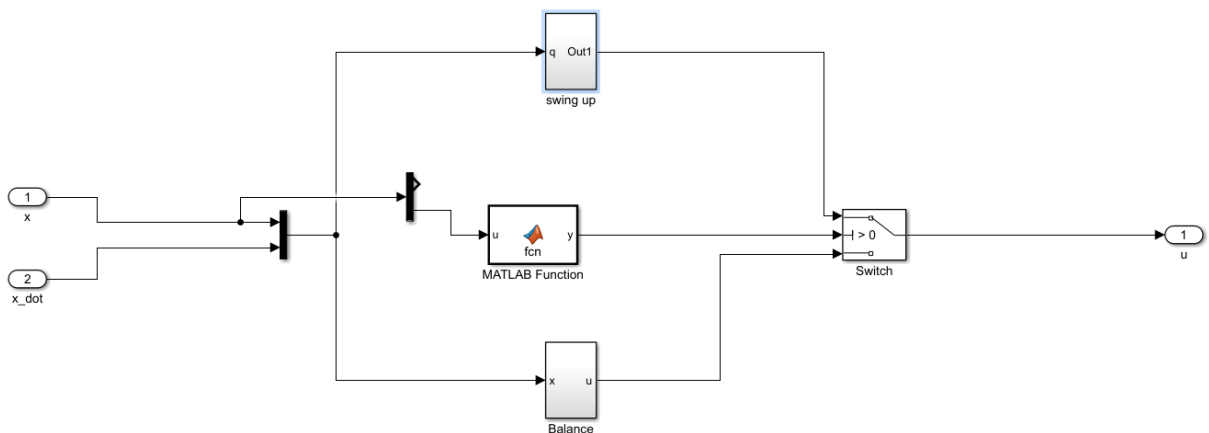
Dựa theo kết quả đồ án tốt nghiệp : “ Đồ án con lắc ngược K57 “ ta có những tham số dưới đây :

- Chiều dài, khối lượng của con lắc tay quay:
 $m = 0.078 \text{ kg}$; $l_0 = 0.157 \text{ m}$; $l_1 = 0.133 \text{ m}$.
- Momen quán tính của cả hệ tay quay với trục động cơ : $J_0 = 4,4.10^{-3} \text{ kgm}^2$.
- Momen quán tính của con lắc với khối tâm con lắc là: $J_1 = 5,5026.10^{-4} \text{ kgm}^2$.
- Hằng số điện-momen của động cơ : $k_T = 0,07 \text{ Nm/A}$.
- Gia tốc trọng trường : $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.
- Ma sát trục động cơ : $b_0 = 5,8.10^{-4}$.
- Ma sát trục quay con lắc : $b_1 = 1,4142.10^{-3}$.

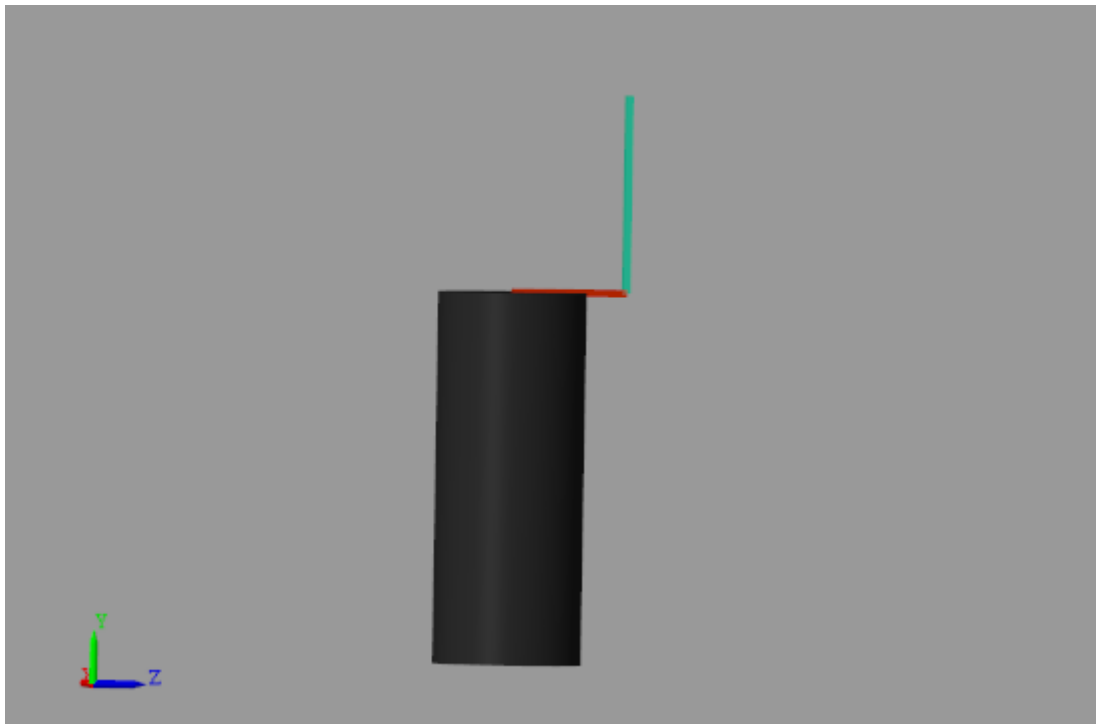
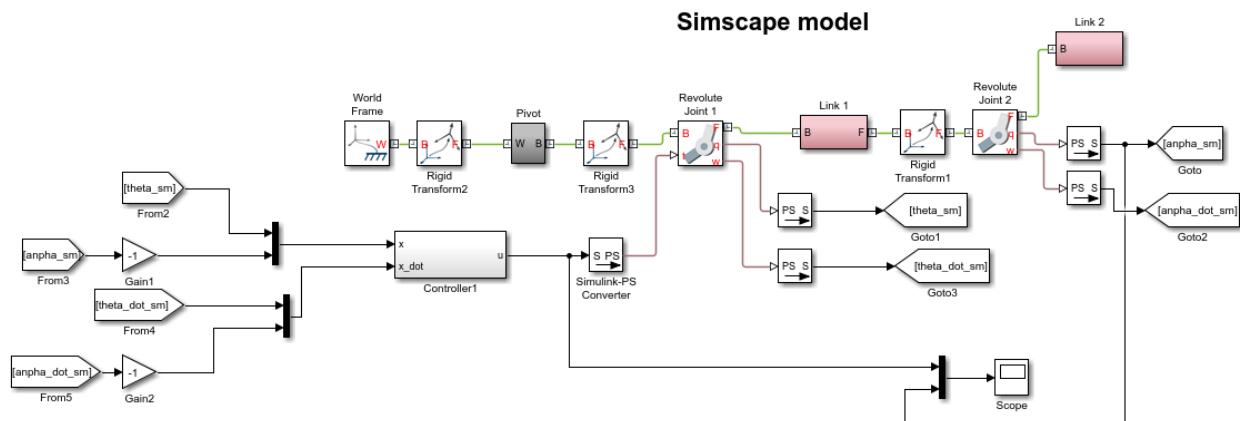
Ta có mô hình simulink



Bộ điều khiển



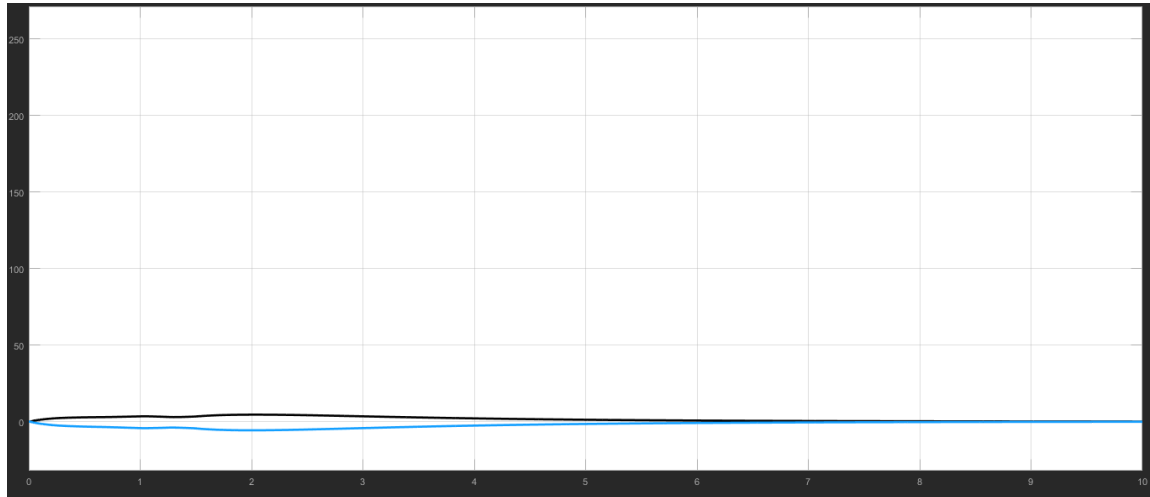
Mô hình Simscape



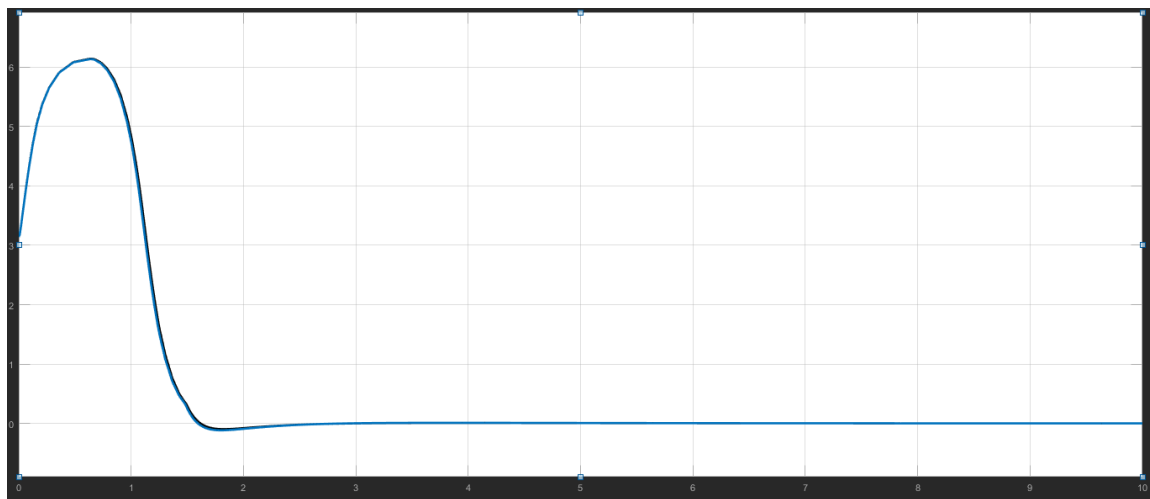
Kết quả mô phỏng

Với bộ điều khiển LQR (màu xanh là theo mô hình simulink, màu đen là mô hình Simscape)

Góc theta ở động cơ

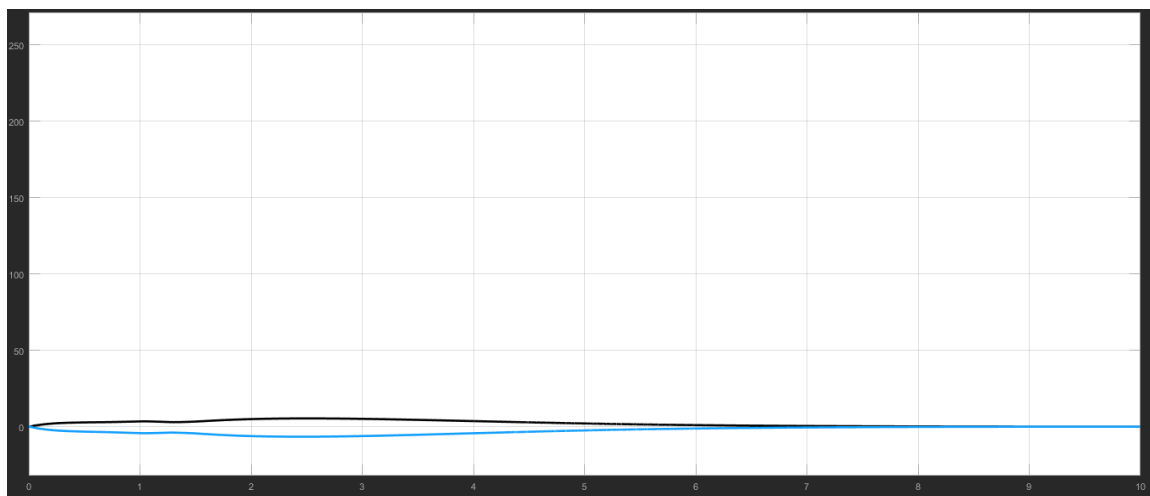


Góc anpha của con lắc

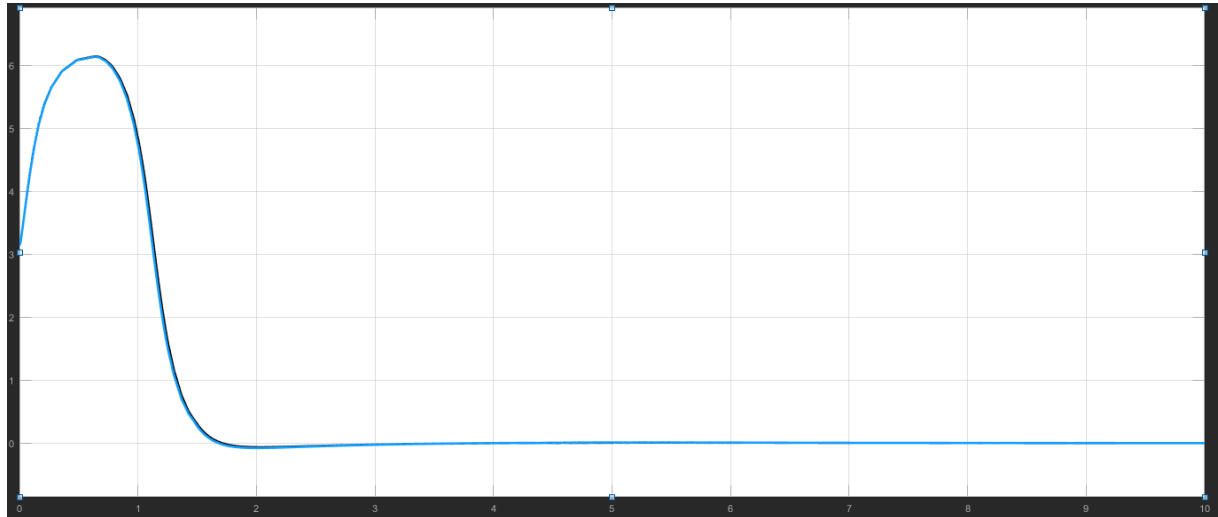


Với bộ điều khiển trượt (màu xanh là theo mô hình simulink, màu đen là mô hình
simscape)

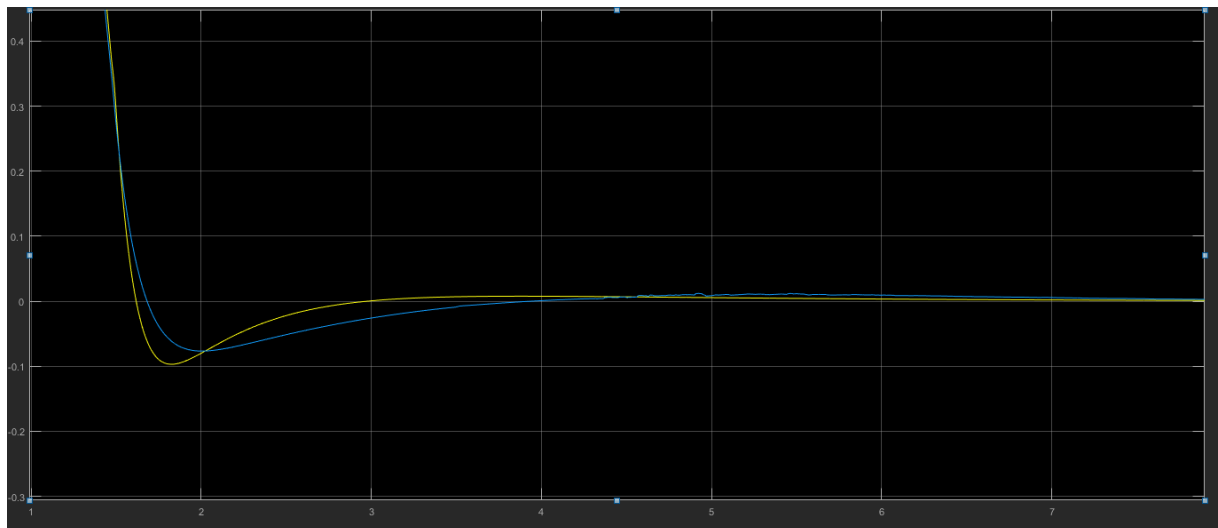
Góc theta ở động cơ



Góc lệch anpha của con lắc



So sánh 2 bộ điều khiển



Màu xanh là bộ điều khiển trượt, màu vàng là bộ điều khiển LQR ta thấy bộ điều khiển LQR đưa hệ thống về gốc nhanh hơn bộ điều khiển trượt.