

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ



BÁO CÁO MÔN HỌC:
THỰC HÀNH THIẾT KẾ VÀ XÂY DỰNG ROBOT 2
NĂM HỌC 2020 – 2021
Tên đề tài : Xe cân bằng con lắc ngược

Giảng viên: ThS. Trần Như Chí

ThS. Đỗ Huy Điệp

Nhóm: 2

Nhóm sinh viên: Phạm Đức Anh

Trần Đức Anh

Nguyễn Đình Dương

Khuất Thành Đông

Vũ Duy Hưng

Lớp: K63R

HÀ NỘI 2021

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU CHUNG	3
1.1. Error! Bookmark not defined.	3
1.2. Error! Bookmark not defined.	3
CHƯƠNG 2: XÂY DỰNG MÔ HÌNH	4
2.1 Error! Bookmark not defined.	4
2.2 Error! Bookmark not defined.	5
2.3 Mô hình hoàn chỉnhError! Bookmark not defined.	6
CHƯƠNG 3: XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN	7
3.1. Error! Bookmark not defined.	7
3.2. Error! Bookmark not defined.	10
3.3. Error! Bookmark not defined.	13
CHƯƠNG 4: KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC	13
4.1 Error! Bookmark not defined.	13
4.2 Kết quả thu được.	13
CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN	14
5.1 Error! Bookmark not defined.	14
5.2 Error! Bookmark not defined.	14
5.3 Error! Bookmark not defined.	14

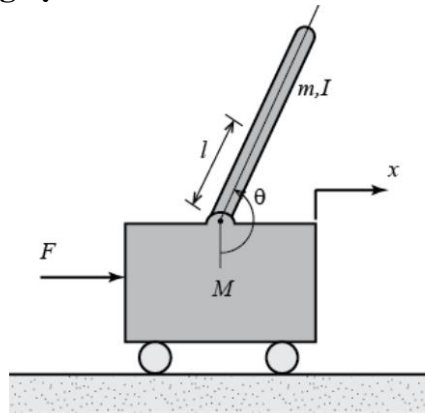
CHƯƠNG 1 : GIỚI THIỆU CHUNG

Chương này giới thiệu ngắn gọn và khái quát về đề tài, cũng như lý do chọn đề tài và cấu trúc của đề tài.

1.1. Giới thiệu

Trong lĩnh vực điều khiển tự động, điều khiển con lắc ngược là một bài toán kinh điển do có nhiều ứng dụng khác nhau như: điều khiển cân bằng cánh tay robot trên các dây chuyền lắp ráp, điều khiển xe hai bánh tự cân bằng, điều khiển cân bằng khi phóng tàu vũ trụ, cân bằng giàn khoan trên biển... Ngoài ra, đây còn là một điển hình về việc sử dụng các bộ điều khiển tuyến tính để điều khiển ổn định cho một đối tượng phi tuyến. Khi lý thuyết về các luật điều khiển hiện đại ngày càng phong phú, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của vi mạch số, việc thực thi các thuật toán điều khiển phức tạp trên con lắc ngược được dễ dàng thực hiện để kiểm chứng các lý thuyết đó.

1.2. Mô tả mô hình con lắc ngược



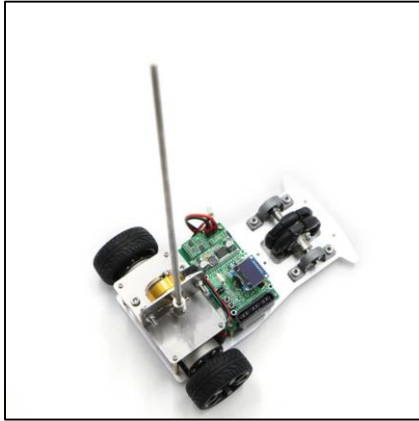
- Con lắc ngược là con lắc có trọng tâm ở phía trên điểm trục. Thông thường con lắc ngược gồm một tay đòn gắn lên một xe di chuyển như biểu diễn trên Hình 1. Con lắc ngược được gắn lên mặt xe thông qua một trục chuyển động với phạm vi từ 0 tới 180^0 (theo mặt phẳng của nóc xe).
- Con lắc ngược không thể giữ ổn định theo chiều thẳng đứng khi xe đứng yên. Thông thường sẽ thiết kế hệ thống điều khiển tạo ra một lực tác động vào xe, khi đó xe di chuyển và giữ cho con lắc được cân bằng.
- Con lắc ngược là ví dụ rất phổ biến trong nghiên cứu về lý thuyết điều khiển và các hệ thống động học. Con lắc ngược được coi như là đối tượng để kiểm thử các giải thuật điều khiển. Trên thực tế nhiều ứng dụng được xây dựng từ nguyên lý của con lắc ngược, ví dụ như điều khiển độ cao của tên lửa khi cất cánh.
- Con lắc hoạt động trong không gian 2 chiều với ràng buộc dao động trong mặt phẳng thẳng đứng. Lối vào điều khiển là lực F tác động vào xe di chuyển theo chiều ngang. Lối ra là vị trí góc θ của con lắc và vị trí x theo chiều ngang của xe.

CHƯƠNG 2 : THIẾT KẾ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH XE

Ở chương này, chúng em mô tả quá trình tìm hiểu và thiết kế mô hình từ những yêu cầu về chức năng của xe.

2.1 Tìm hiểu, đánh giá và thiết kế mô hình

2.1.1. Thống kê một số mô hình xe tự hành

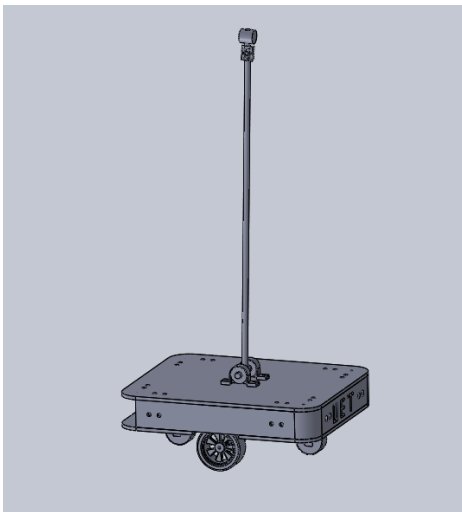


2.1.2. Đánh giá ưu, nhược điểm của các mô hình kể trên

- Ưu điểm : Có tính thẩm mỹ, các linh kiện và thiết bị được sắp xếp gọn gàng, xe nhỏ gọn, linh hoạt, khung xe chắc chắn.
- Nhược điểm: giá thành cao, nhiều mô hình khó thiết kế.

2.1.3. Thiết kế mô hình xe

Từ việc đánh giá ưu và nhược điểm của một số mô hình xe trên thị trường, chúng tôi đã tính toán và thiết kế ra mô hình xe phù hợp với những chức năng của xe..



- Các đại lượng :

M trọng lượng của xe

1.44 kg

m	trọng lượng của con lắc	0.2 kg
b	hệ số ma sát của xe	0.1 N/m/sec
l	chiều dài tới tâm của con lắc	0.5 m
I	khối lượng mô men quán tính	0.006 kg.m ²
F	lực tác động tới xe	
x	vị trí của xe	
θ	góc của con lắc theo trục đứng	

2.2 Kết cấu của mô hình xe

2.2.1. Bộ xử lý trung tâm : Arduino Uno R3

Nhắc tới dòng mạch Arduino dùng để lập trình, cái đầu tiên mà người ta thường nói tới chính là dòng Arduino UNO. Hiện dòng mạch này đã phát triển tới thế hệ thứ 3 (R3). Arduino UNO là một trong những loại vi điều khiển phổ biến nhất hiện nay. Arduino UNO có thể sử dụng 3 vi điều khiển họ 8bit AVR là ATmega8, ATmega168, ATmega328. Bộ não này có thể xử lý những tác vụ đơn giản như điều khiển đèn LED nhấp nháy, xử lý tín hiệu cho xe điều khiển từ xa, làm một trạm đo nhiệt độ - độ ẩm và hiển thị lên màn hình LCD,... hay những ứng dụng khác. Kết hợp với việc giá thành rẻ, đây chính là sự lựa chọn hoàn hảo



Arduino Uno R3

2.2.2. UMP6050

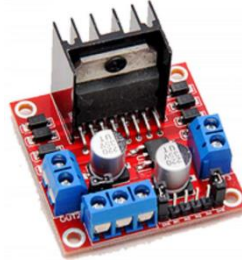
Là cảm biến gia tốc góc nghiêng giúp nhận thông số về độ nghiêng của con lắc từ đó xử lý hành động tiếp theo



2.2.3. Động cơ và mạch điều khiển động cơ



Động cơ DC vàng



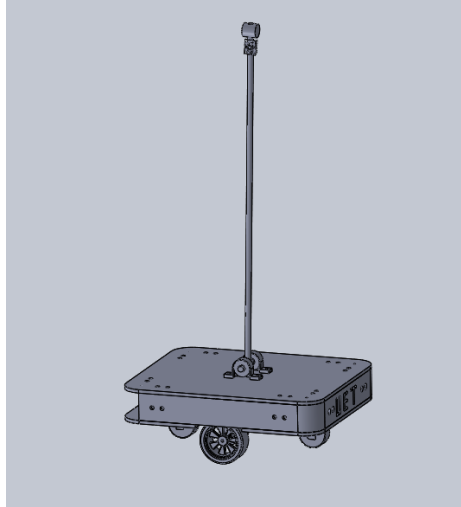
Mạch điều khiển động cơ L298

Qua tìm hiểu nhóm chúng em nhận thấy rằng : động cơ giảm tốc vàng có tỉ số truyền 1/120, chất lượng ổn định, giá thành lại vừa phải cùng với khả năng dễ lắp ráp, còn mạch điều khiển động cơ L298 có khả năng điều khiển được 2 động cơ, có thể bấm xung và dễ điều khiển, công suất tối đa lên đến 25W mà chi phí thấp. Từ những tìm hiểu đó, chúng em quyết định sử dụng động cơ giảm tốc vàng cùng với mạch điều khiển động cơ L298.

2.2.4. Nguồn

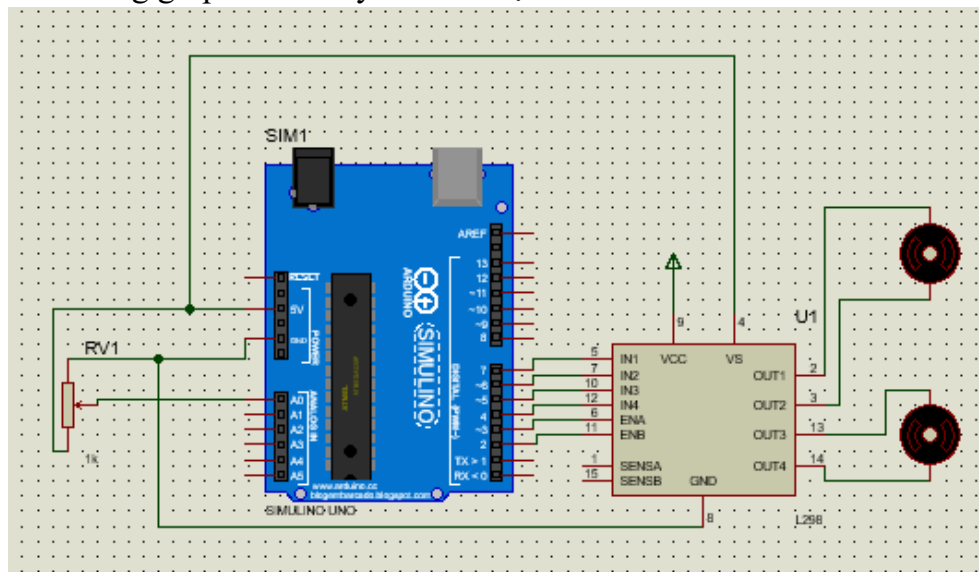
	Dành cho động cơ	Raspberry Pi 3
Phân loại	Pin sạc Lithium	Pin sạc Lion
Dung lượng	2600mAh	7500mAh
Dòng xả	0.2C	
Thời gian sạc	3-4 tiếng	8 tiếng
Số lượng	3	1

2.3 Mô hình hoàn chỉnh



Mô hình xe trên bản vẽ 3D - Solidworks

Mô hình được làm với phần đế được cắt bằng gỗ tấm, liên kết với nhau bằng các vít. Con lắc ngược cấu thành từ thanh kim loại mỏng rộng giữa. Ngoài ra còn sử dụng thêm 2 bánh xe điều hướng giúp xe di chuyển linh hoạt hơn.



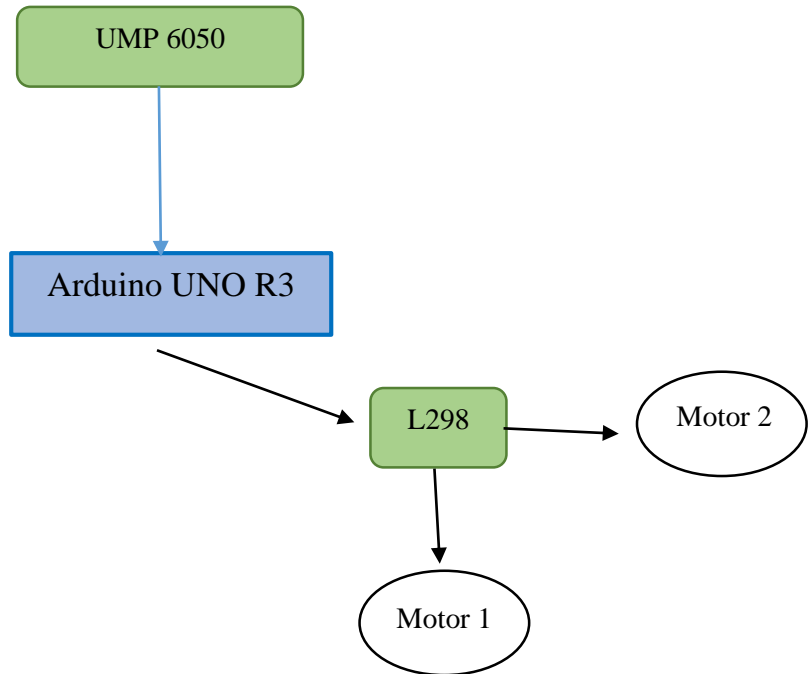
Mô hình mạch xe – Proteus

CHƯƠNG 3 : THIẾT KẾ VÀ XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

Chương này mô tả về hệ thống điều khiển của chúng em, nó bao gồm hệ thống phát hiện làn đường, hệ thống phát hiện và nhận diện biển báo giao thông từ đó sẽ đưa các chỉ thị phù hợp tới hệ thống điều khiển.

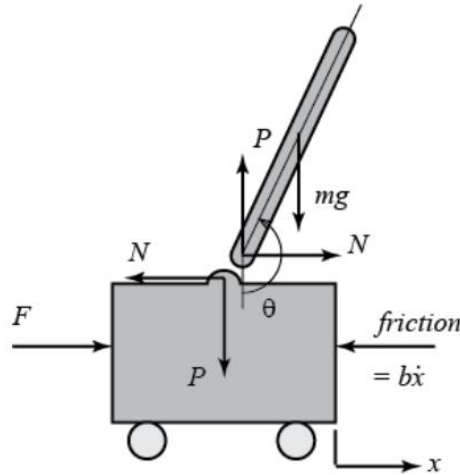
3.1 Mô tả hệ thống điều khiển

3.1.1. Sơ đồ



3.1.2. Thuật toán

Để xây dựng mô hình toán học cho con lắc ngược thì mô hình ở Hình 1 sẽ được chuyển thành sơ đồ chuyển động tự do (free-body) với hai thành phần như Hình 2 dưới đây:



Hình 2: Sơ đồ free-body của hệ con lắc ngược

Theo định luật 2 Newton đối với các thành phần lực tác động lên xe theo chiều ngang thì thu được phương trình sau:

$$M\ddot{x} + b\dot{x} + N = F \quad (1)$$

Tương tự có thể thu được phương trình lực tác dụng theo chiều dọc nhưng do thông tin về phương trình không cần thiết nên có thể bỏ qua. Trong phương trình (1) thì phản lực N được xác định bởi:

$$N = m\ddot{x} + ml\ddot{\theta} \cos \theta - ml\dot{\theta}^2 \sin \theta \quad (2)$$

Thay phương trình (2) vào (1) để thu được phương trình tác dụng của lực F như sau:

$$(M + m)\ddot{x} + b\dot{x} + ml\ddot{\theta} \cos \theta - ml\dot{\theta}^2 \sin \theta = F \quad (3)$$

Phương trình chuyển động thứ hai của hệ thống là tổng các lực vuông góc với con lắc ngược như sau:

$$P \sin \theta + N \cos \theta - mg \sin \theta = ml\ddot{\theta} + m\ddot{x} \cos \theta \quad (4)$$

Để tìm các thành phần P và N trong phương trình trên thì sử dụng phương trình tổng mô men tại tâm của con lắc:

$$-Pl \sin \theta - Nl \cos \theta = I\ddot{\theta} \quad (5)$$

Kết hợp các phương trình trên thu được phương trình chuyển động thứ 2 là:

$$(I + ml^2)\ddot{\theta} + mgl \sin \theta = -ml\ddot{x} \cos \theta \quad (6)$$

Tuyến tính hóa mô hình toán học của con lắc

Các phương trình mô tả hoạt động của con lắc ngược ở phần trên là các phương trình phi tuyến mô tả đúng bản chất phi tuyến của con lắc ngược. Tuy nhiên chúng ta thấy rằng mục tiêu của hệ thống điều khiển là giữ con lắc ổn định tại vị trí thẳng đứng, tương đương với góc $\theta = \pi$ hay còn gọi là điểm cân bằng, vì thế các phương trình trên sẽ được tuyến tính hóa tại điểm cân bằng với giả thiết rằng con lắc sẽ dao động trong một khoảng rất nhỏ tại vị trí này.

Đặt ϕ là góc lệch giữa vị trí của con lắc so với điểm cân bằng hay $\theta = \pi + \phi$. Giả sử góc lệch ϕ có giá trị nhỏ, khi đó ta có thể xấp xỉ các thành phần phi tuyến của hệ thống như sau:

$$\cos \theta = \cos(\pi + \phi) \approx -1 \quad (7)$$

$$\sin \theta = \sin(\pi + \phi) \approx -\phi \quad (8)$$

$$\dot{\theta}^2 = \dot{\phi}^2 \approx 0 \quad (9)$$

Thay các phương trình xấp xỉ trên vào các phương trình phi tuyến ở phần 3 ta thu được hai phương trình chuyển động tuyến tính sau, trong đó u thay cho F:

$$(I + ml^2)\ddot{\phi} - mgl\phi = ml\ddot{x} \quad (10)$$

$$(M + m)\ddot{x} + b\dot{x} - ml\ddot{\phi} = u \quad (11)$$

Hàm truyền

Để phân tích hoạt động con lắc ngược trong hệ thống điều khiển, cần biểu diễn mô hình toán học của con lắc dưới dạng hàm truyền.

Biến đổi Laplace để thu được hàm truyền của hệ con lắc-xe:

$$(I + ml^2)\Phi(s)s^2 - mgl\Phi(s) = mlX(s)s^2 \quad (12)$$

$$(M + m)X(s)s^2 + bX(s)s - ml\Phi(s)s^2 = U(s) \quad (13)$$

Từ phương trình (3) và (4), ta rút gọn để thu được phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa lực tác động và độ lệch góc của con lắc, giữa lực tác động và vị trí xe như sau:

$$P_{pend(s)} = \frac{\Phi(s)}{U(s)} = \frac{\frac{ml}{q}s}{s^3 + \frac{b(I + ml^2)}{q}s^2 - \frac{(M + m)mgl}{q}s - \frac{bmgl}{q}} \quad \left[\frac{rad}{N} \right] \quad (14)$$

$$P_{\text{cart}(s)} = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{(I + ml^2)s^2 - gml}{s^4 + \frac{b(I + ml^2)}{q}s^3 - \frac{(M + m)mgl}{q}s^2 - \frac{bmgl}{q}s} \quad \left[\frac{m}{N}\right] \quad (15)$$

trong đó: $q = (M + m)(I + ml^2) - (ml^2)$

Không gian trạng thái

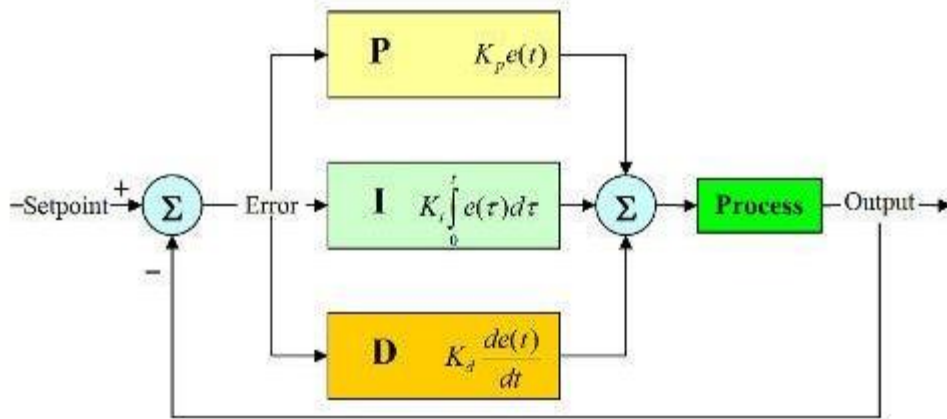
Một biểu diễn khác của mô hình con lắc là biểu diễn trong không gian trạng thái. Từ phương trình (10) và (11) thì đặt các biến trạng thái là $\dot{x}, \ddot{x}, \dot{\phi}, \ddot{\phi}$. Khi đó phương trình vi phân của các biến trạng thái sẽ là:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \\ \dot{\phi} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-(I + ml^2)b}{I(M + m) + Mml^2} & \frac{m^2 gl^2}{I(M + m) + Mml^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{-mlb}{I(M + m) + Mml^2} & \frac{mgl(M + m)}{I(M + m) + Mml^2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{(I + ml^2)}{I(M + m) + Mml^2} \\ 0 \\ \frac{ml}{I(M + m) + Mml^2} \end{bmatrix} u$$

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (16)$$

3.2 Bộ điều khiển PID

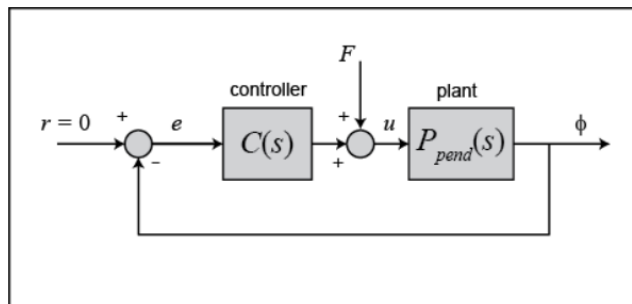
Giải thuật tính toán bộ điều khiển PD bao gồm 3 thông số riêng biệt, do đó đôi khi nó còn được gọi là **điều khiển ba khâu**: các giá trị tỉ lệ, tích phân và đạo hàm, viết tắt là P , I , và D . Giá trị *tỉ lệ* xác định tác động của sai số hiện tại, giá trị *tích phân* xác định tác động của tổng các sai số quá khứ, và giá trị *vi phân* xác định tác động của tốc độ biến đổi sai số. Tổng chập của ba tác động này dùng để điều chỉnh quá trình thông qua một phần tử điều khiển như vị trí của van điều khiển hay bộ nguồn của phần tử gia nhiệt. Nhờ vậy, những giá trị này có thể làm sáng tỏ về quan hệ thời gian: P phụ thuộc vào sai số *hiện tại*, I phụ thuộc vào tích lũy các sai số *quá khứ*, và D dự đoán các sai số *tương lai*, dựa vào tốc độ thay đổi hiện tại.



Sơ đồ PID

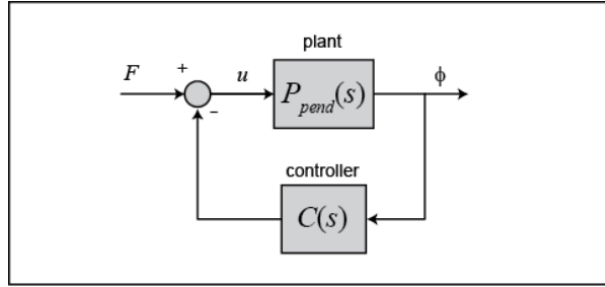
Qua thực nghiệm chúng em quyết định dùng hệ thống điều khiển vòng kín. Đối với các hệ thống điều khiển vòng kín sử dụng các bộ điều khiển PID hay thiết kế bộ điều khiển theo phương pháp quỹ tích nghiệm, phương pháp bù, phương pháp đáp ứng tần số thường được áp dụng đối với các hệ thống một lối vào, một lối ra (Single Input – Single Output). Vì thế trong yêu cầu thiết kế hệ thống điều khiển đối với con lắc đơn thì điều cần quan tâm chính là thiết kế bộ điều khiển sao cho giữ cho con lắc ổn định tại vị trí cân bằng, có nghĩa là điều khiển sao cho góc θ không vượt quá 0.05 rad theo trục thẳng đứng hay góc lệch ϕ rất nhỏ.

Sơ đồ hệ thống điều khiển vòng kín đối với góc lệch ϕ được thể hiện như Hình 3.



Hình 3: Sơ đồ hệ thống điều khiển vòng kín

Lối vào yêu cầu của hệ thống là $r = 0$ có nghĩa là mong muốn điều khiển xe sao cho góc lệch ϕ thay đổi rất nhỏ quanh điểm cân bằng khi có một lực F tác động lên xe. Ngoại lực F tác động lên xe được xem như nhiễu xung. Sơ đồ hệ thống điều khiển ở Hình 3 có thể được biểu diễn lại như Hình 4.



Hình 4: Biểu diễn khác của sơ đồ hệ thống điều khiển vòng kín

Hàm truyền vòng kín của sơ đồ biểu diễn ở Hình 4 cho lỗi vào là lực F và lỗi ra là góc lệch của con lắc ϕ như sau:

$$T(s) = \frac{\Phi(s)}{F(s)} = \frac{P_{pend}(s)}{1 + C(s)P_{pend}(s)} \quad (7)$$

Trong đó $P_{pend}(s)$ có dạng như ở công thức (5).

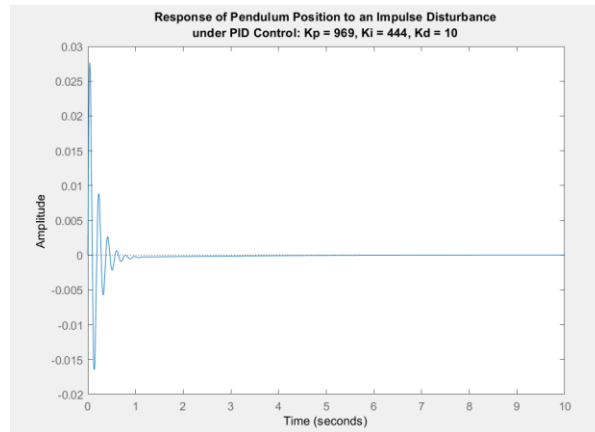
Hệ thống điều khiển vòng kín sẽ sử dụng bộ điều khiển $C(s)$ là bộ điều khiển PID có hàm truyền được biểu diễn dưới dạng:

$$C(s) = K_p + K_I s + \frac{K_D}{s} \quad (8)$$

với K_p , K_I , K_D là hệ số của bộ điều khiển PID.

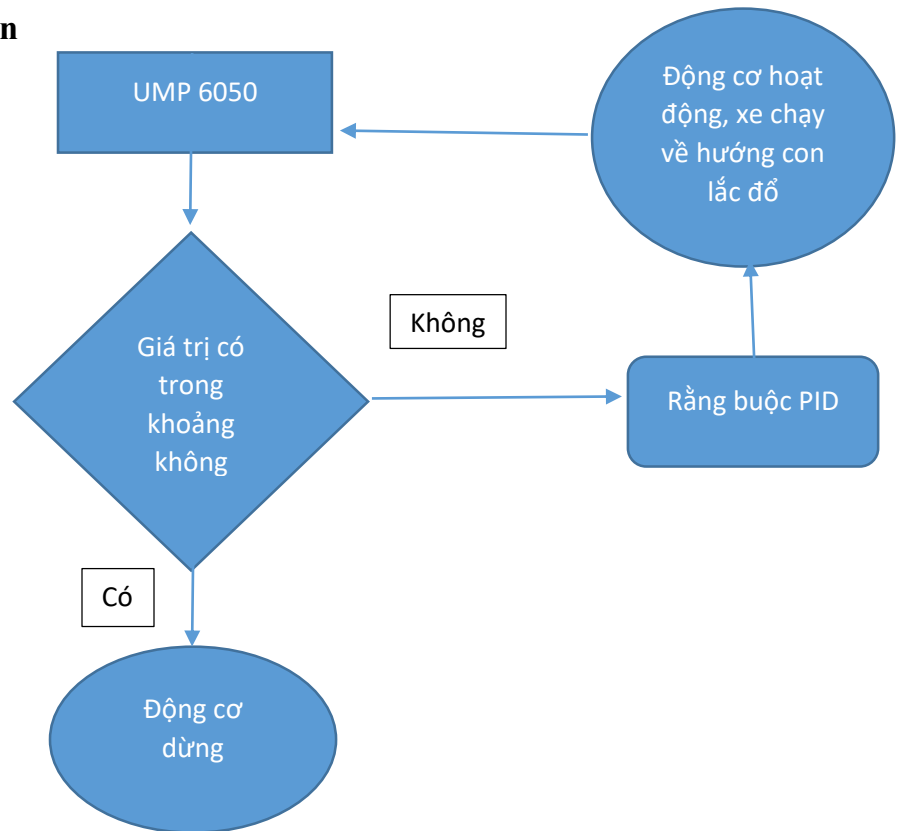
Sau quá trình thực nghiệm hệ số chúng em tìm được thông số phù hợp:

$K_p=969$, $K_i=444$, $K_d=10$.



Hình 6: Đáp ứng xung của hệ thống điều khiển vòng kín với các giá trị K_p , K_I , K_D khác nhau
Như vậy với giá trị $K_p = 969$, $K_I = 444$, $K_D = 10$ thì hệ thống điều khiển thỏa mãn yêu cầu đề ra.

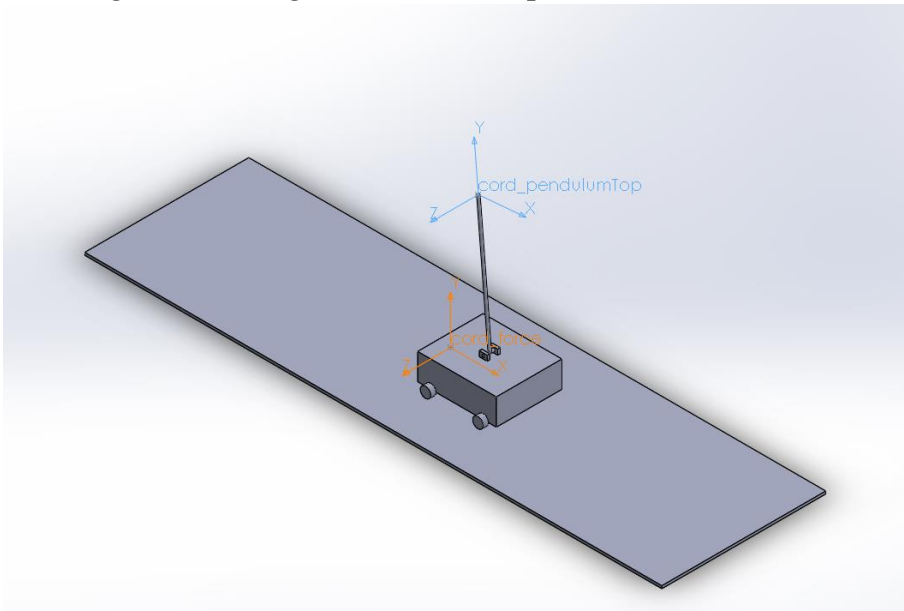
3.3 Thuật toán điều khiển



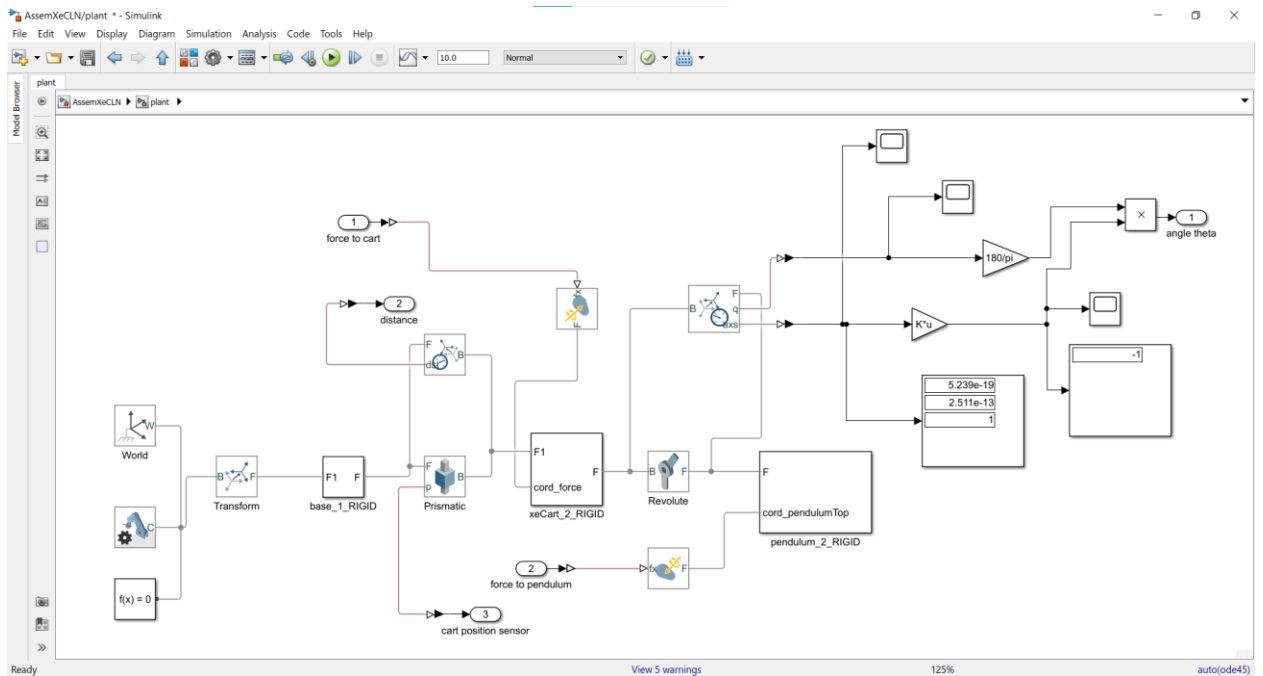
CHƯƠNG 4 : KIỂM THỬ VÀ ĐÁNH GIÁ HỆ THỐNG

4.1. Điều kiện và môi trường kiểm thử

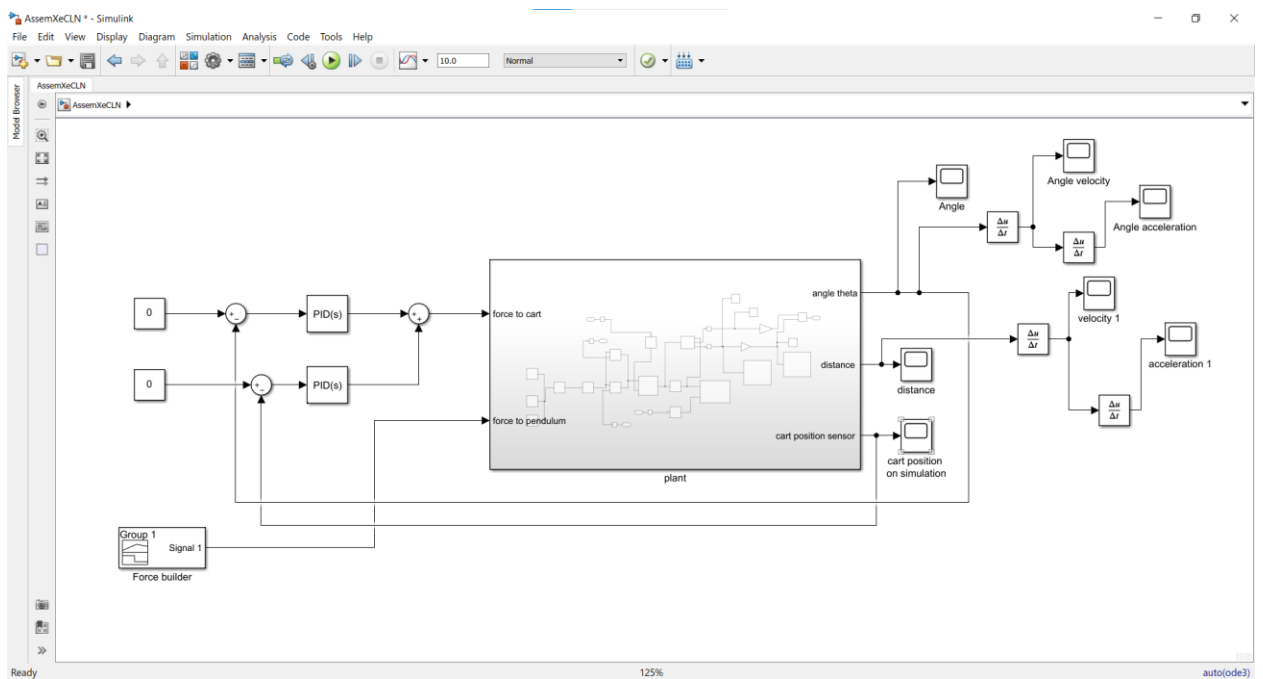
Sử dụng môi trường Matlab kết hợp Solidworks để kiểm thử thuật toán PID.



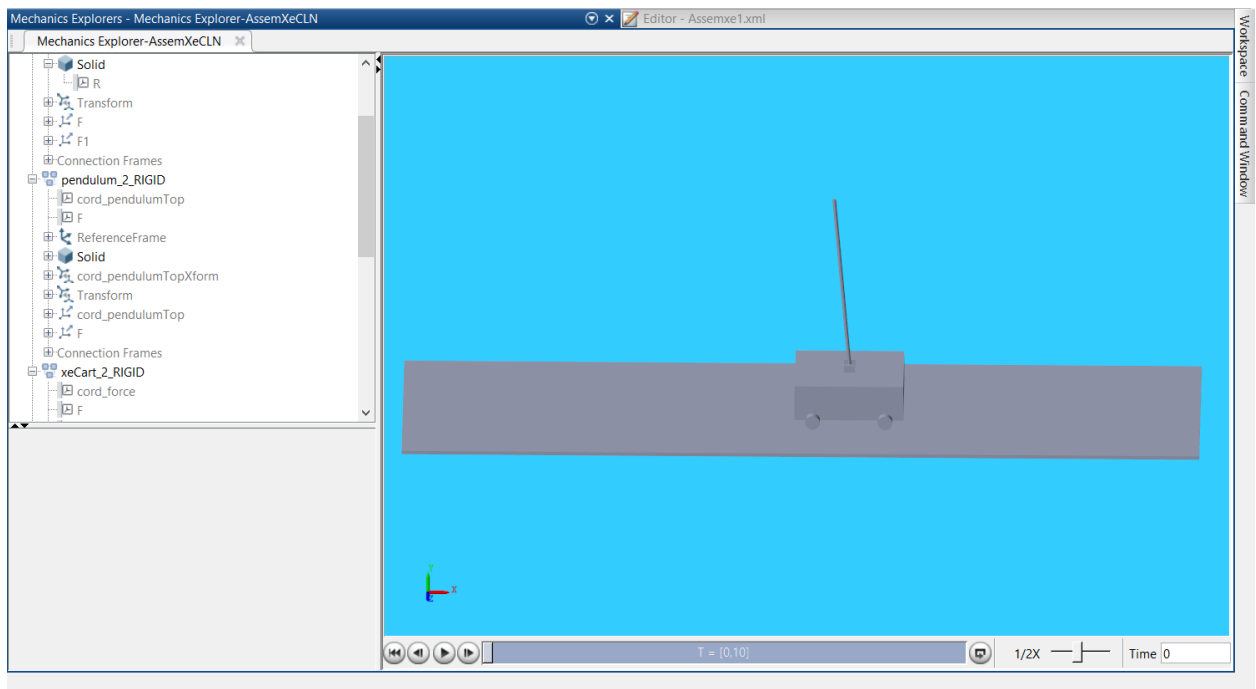
Mô hình mô phỏng xe thiết kế trên Solidwork



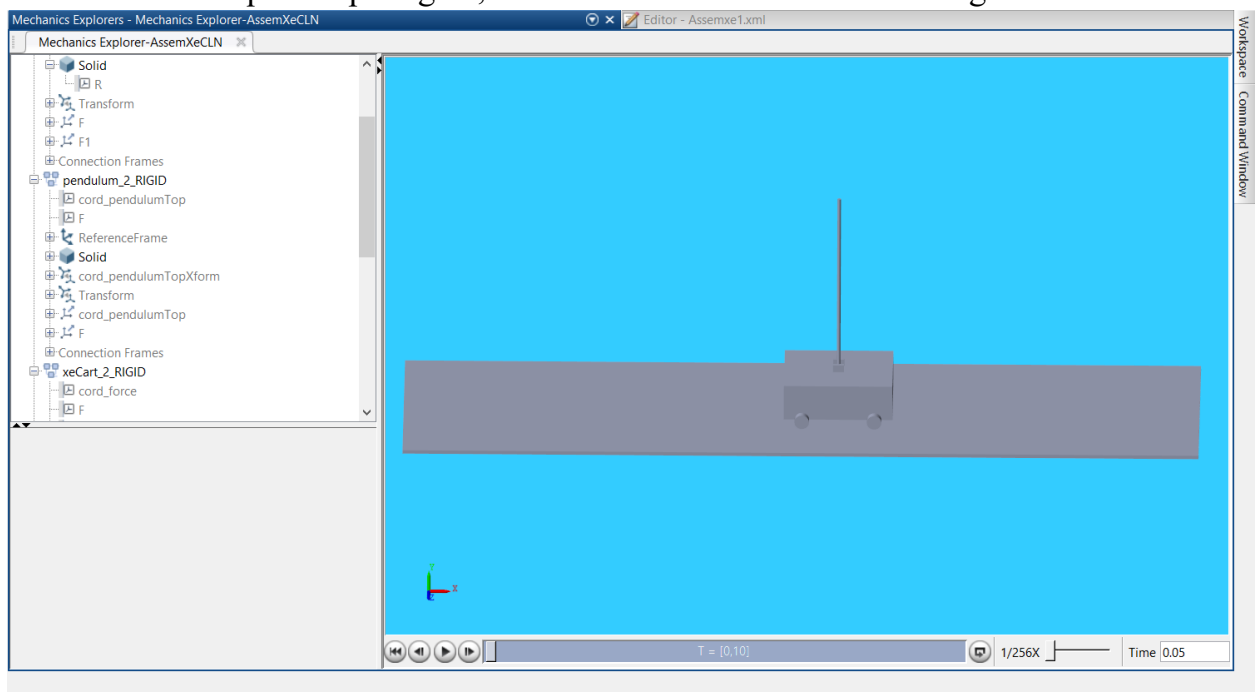
Kết hợp mô hình mô phỏng Solidwork – Matlab bằng Simscape Multibody Link và Simulink



Hệ mô phỏng xe có PID và tác động lực bằng Matlab Simulink



Kết quả mô phỏng xe, thời điểm bắt đầu xe chưa cân bằng



Kết quả mô phỏng xe, thời điểm xe cân bằng có PID

4.2. Kết quả thu được

- Kết quả đạt được tương đối tốt, xe thực hiện việc cân bằng khá tốt, trong thời gian lâu. Thời gian mô phỏng xe bắt đầu đến lúc cân bằng là 0,03 giây với hệ số PID.
- Do còn hạn chế về PID nên vẫn chưa chính xác tuyệt đối.

- Do động cơ sử dụng không phải loại có phản hồi nên không thể tối ưu thuật toán một cách tốt nhất có thể.
- Thay thế EMP 6050 bằng biến trở nên giá trị nhiều lúc còn bị sai lệch, dẫn đến nhiều lúc còn sai số, phải điều chỉnh lại code.

CHƯƠNG 5 : KẾT QUẢ VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

5.1. Kết quả

Qua môn học, chúng em đã tích lũy được kiến thức cơ bản về thuật toán điều khiển. Biết tư duy hơn về phần thiết kế, vẽ 3D, tính toán về lực, về vật liệu,... Biết tư duy về thuật toán, tìm hiểu về PID với ứng dụng cao trong đề tài Mobile Robot. Qua quá trình làm, chúng em đã gặp nhiều khó khăn nhưng đã biết cùng nhau ngồi lại và cùng nhau giải quyết vấn đề, từ đó phát triển hơn về vấn đề teamwork.

5.2. Hướng phát triển

Dựa trên kết quả thu được và những nhược điểm còn tồn tại, trong tương lai hệ thống sẽ được tối ưu hóa hơn về tốc độ xử lý cũng như có thêm các tính năng mới. Trước hết, sau khi tối ưu hóa được tốc độ xử lý và tốc độ của xe, chúng em sẽ phát triển với mô hình lớn hơn, chính xác hơn và áp dụng được nhiều hơn trong thực tế.

5.3. Lời cảm ơn

Chúng em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến Thạc sĩ Trần Như Chí từ khoa Điện tử-Viễn thông - Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội đã hết lòng giúp đỡ chúng em trong các vấn đề về khái niệm, thuật toán, giải thuật và đã theo sát chúng em suốt thời gian vừa qua của môn học.

Chúng em cũng xin gửi lời cảm ơn đến Thạc sĩ Đỗ Huy Điệp từ Khoa Cơ học kỹ thuật và Tự động hóa - Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội đã giúp đỡ bọn em rất nhiều trong việc thiết kế mô hình 3D, tính toán cơ học và gia công thiết kế.

Cuối cùng, chúng em xin cảm ơn các thầy cô và anh chị ở cả 2 khoa là Khoa Điện tử-Viễn thông và Khoa CHKT&TĐH - Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội đã tạo những điều kiện tốt nhất để bọn em có thể hoàn thành tốt môn học.