

Thiết kế và đánh giá thực nghiệm bộ điều khiển PID ổn định hệ thống cân bằng bóng trên thanh

Design and experimental evaluation of a PID controller for stabilization of the Ball and Beam Balancing system

Nguyễn Ngô Anh Quân*, Hà Đắc Bình
Nguyen Ngo Anh Quan, Ha Dac Binh

*Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam
Faculty of Electrical & Electronic Engineering, Duy Tan University, Da Nang, Vietnam*

(Ngày nhận bài: 08/01/2020, ngày phản biện xong: 15/01/2020, ngày chấp nhận đăng: 06/02/2020)

Tóm tắt

Hệ thống cân bằng bóng trên thanh có tính chất phi tuyến cao và rất khó để đạt được quỹ đạo điều khiển chính xác. Bài báo trình bày cách xây dựng mô hình hóa và việc áp dụng thuật toán điều khiển PID (Proportional - Integral - Derivative) để điều khiển vị trí bóng. Mô phỏng mô hình trên Matlab để dự đoán chuyển động của quả bóng và tinh chỉnh các thông số PID để hệ thống ổn định. Bộ PID sẽ xử lý sự khác nhau giữa vị trí mong muốn và thực tế thành tín hiệu điều khiển để hệ thống điều khiển góc quay của thanh sao cho quả bóng cân bằng tại vị trí cân bằng. Kết quả mô phỏng và thử nghiệm trên mô hình thực tế cho thấy được bộ điều khiển PID giúp ổn định hệ thống.

Từ khóa: Hệ thống cân bằng bóng trên thanh, bộ điều khiển PID.

Abstract

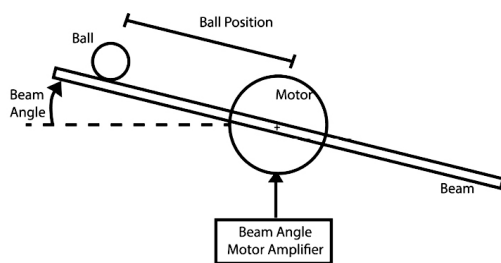
The Ball and Beam system is highly non-linear and difficult to achieve correct controlling trajectory. This paper is on how to modelize and apply PID (Proportional - Integral - Derivative) Controlling Algorithm to direct the ball's position. The model will be simulated in Matlab to predict the ball's movements and adjust PID parameters in order to stabilize the system. The PID controller will process differences between desired and real position into controlling signal so that the system controls Beam's angle in order to direct the Ball to it's balanced position. Simulations and trials on realistic models show that the PID control help stabilize the system.

Keywords: Ball and Beam system, PID controller.

1. Giới thiệu

Hệ thống cân bằng bóng trên thanh là một mô hình thực nghiệm quen thuộc, với cấu tạo vật lý khá đơn giản nhưng tương đối phức tạp về mặt động lực học. Nó có độ bất ổn định cao và là cơ sở để tạo ra các hệ thống tự cân bằng như: hệ thống phóng tên lửa, cân bằng máy bay theo phương ngang, xe tự hành... [1-8].

Hệ thống cân bằng bóng trên thanh là mô hình gồm thanh nằm ngang, quả bóng, một động cơ điện 1 chiều (DC), một cảm biến dùng để xác định vị trí bóng, một cảm biến dùng để xác định góc nghiêng của thanh và mạch điều khiển. Quả bóng di chuyển trên thanh nhờ tác dụng của trọng lực khi thanh bị nghiêng so với mặt phẳng ngang như Hình 1.



Hình 1. Hệ thống cân bằng bóng trên thanh trục giữa

Vị trí bóng được xác định nhờ cảm biến, bộ điều khiển nhận được sai lệch giữa vị trí bóng trên thanh và vị trí bóng mong muốn, từ đó đưa ra tín hiệu điều khiển động cơ thay đổi góc nghiêng của thanh đưa bóng về vị trí mong muốn. Đây là đối tượng thường được các nhà nghiên cứu lựa chọn để kiểm chứng những thuật toán điều khiển của mình, từ những thuật toán điều khiển cổ điển cho đến những thuật toán điều khiển hiện đại, điều khiển thông minh [1-10]. Thuật toán điều khiển mờ (Fuzzy) [2,3,9] được sử dụng kết hợp với bộ điều khiển PD hoặc PID để ổn định hệ thống, các tác giả đã sử dụng thuật toán điều khiển mờ để chỉnh định các thông số K_p , K_i và K_d . Kết quả là hệ thống ổn định, độ vọt lố thấp cho thấy bóng sắt cân bằng rất nhanh sau khi tác động nhiễu. Giải thuật nơ-ron thích nghi [4] được dùng để giải quyết được những ảnh hưởng của tính phi tuyến lên độ ổn định của hệ thống, phiên điều khiển sau có tính kế thừa và chất lượng tốt hơn nên sự dao động của quả bóng sắt giảm dần và đứng yên tại vị trí cân bằng. Theo [3,5,7,10], sử dụng bộ điều khiển PID không quá phức tạp về mặt giải thuật và đáp ứng nhanh trong thời gian thực để cân bằng quả bóng trên thanh. Mặc dù có nhiều kết quả nghiên cứu liên quan, tuy nhiên các giải thuật trên chỉ giải quyết được vấn đề cân bằng quả bóng sắt [1-4], [610] và bóng nhựa [5]. Theo hiểu biết của tác giả, chưa có tài liệu nào giải quyết được vấn đề cân bằng quả bóng gỗ. Do tính chất của vật liệu khác nhau nên khả năng nó sẽ tạo ra những vấn đề khác nhau.

Phần còn lại của bài báo này được tổ chức như sau: Phần 2 là mô hình hóa hệ thống, nội dung

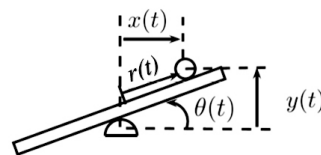
thiết kế bộ điều khiển và thiết kế phần cứng sẽ được trình bày ở Phần 3, Phần 4 trình bày kết quả và đánh giá, Phần 5 là kết luận và hướng phát triển.

2. Mô hình hóa hệ thống

2.1. Mô hình hóa hệ thống cân bằng bóng trên thanh

Quả bóng lăn trên thanh trượt dưới tác động của lực hấp dẫn. Thanh được nghiêng từ một mômen xoắn bên ngoài để kiểm soát vị trí của quả bóng trên thanh. Tập hợp các tọa độ tổng quát mô tả đầy đủ hệ thống [6]:

$$q(t) = \begin{bmatrix} r(t) \\ \theta(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$



Hình 2. Tọa độ tổng quát của hệ thống

Với $r(t)$ là vị trí của quả bóng trên thanh và $\theta(t)$ là góc nghiêng của thanh so với phương ngang.

Phương trình Lagrange có dạng:

$$L = K - U \quad (2)$$

Động năng của thanh:

$$K_1 = \frac{1}{2} J \dot{\theta}^2 \quad (3)$$

Động năng của bóng:

$$K_2 = \frac{1}{2} J_b \dot{\theta}_b^2 + \frac{1}{2} m v_b^2 \quad (4)$$

Ở đây: $\dot{\theta}_b = \dot{r} / R$ (5)

Tính v_b theo tọa độ tổng quát:

$$v_b^2 = \dot{x}^2 + \dot{y}^2 \quad (6)$$

$$x = r \cos(\theta) \quad (7)$$

$$\dot{x}^2 = \dot{r}^2 \cos^2(\theta) - 2r\dot{r}\dot{\theta} \cos(\theta)\sin(\theta) + r^2\dot{\theta}^2 \sin^2(\theta) \quad (8)$$

$$y = r \sin(\theta) \quad (9)$$

$$\dot{y}^2 = \dot{r}^2 \sin^2(\theta) + 2r\dot{r}\dot{\theta} \cos(\theta)\sin(\theta) + r^2\dot{\theta}^2 \cos^2(\theta) \quad (10)$$

Thay phương trình (6), (8) và (10) vào (4), ta được phương trình động năng của bóng:

$$K_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{J_b}{R^2} + m \right) \dot{r}^2 + \frac{1}{2} m r^2 \dot{\theta}^2 \quad (11)$$

Thế năng của hệ thống:

$$U = mgr \sin \theta \quad (12)$$

Lagrange phương trình hệ thống:

$$L = \frac{1}{2} \left(\frac{J_b}{R^2} + m \right) \dot{r}^2 + \frac{1}{2} (mr^2 + J) \dot{\theta}^2 - mgr \sin(\theta) \quad (13)$$

Phương trình vi phân thứ nhất là:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{r}} \right) - \frac{\partial L}{\partial r} = 0 \quad (14)$$

$$\Leftrightarrow \left(\frac{J_b}{R^2} + m \right) \ddot{r} + mg \sin(\theta) - mr\dot{\theta}^2 = 0 \quad (15)$$

Phương trình vi phân thứ hai là:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = \tau \quad (16)$$

$$\Leftrightarrow (mr^2 + J) \ddot{\theta} + 2mr\dot{\theta} + mgr \cos(\theta) = \tau \quad (17)$$

Bảng 1. Các ký hiệu trong hệ thống cân bằng bóng trên thanh

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
m	kg	Khối lượng của bóng
R	m	Bán kính của bóng
J_b	$kg \cdot m^2$	Moment quán tính bóng
J	$kg \cdot m^2$	Moment quán tính thanh
g	m/s^2	Gia tốc trọng trường
θ	Arc	Góc giữa thanh và phương ngang
θb	Arc	Góc quay của bóng
τ	$kg \cdot m^2/s^2$	Moment xoắn tác động vào thanh

Tuyến tính hóa phương trình (15) này về góc nghiêng của thanh ($\sin \theta = \theta$), chúng ta được xấp xỉ tuyến tính của hệ thống:

$$\left(\frac{J_b}{R^2} + m \right) \ddot{r} = mg\theta \quad (18)$$

Laplace phương trình trên ta được hàm truyền mối quan hệ giữa vị trí quả bóng và góc nghiêng của thanh:

$$G(s) = \frac{R(s)}{\theta(s)} = \frac{mg}{\left(\frac{J_b}{R^2} + m \right) s^2} \left[\frac{m}{rad} \right] \quad (19)$$

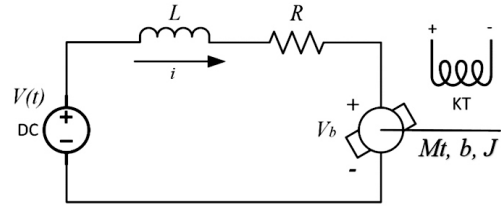
Bảng 2. Thông số dùng trong mô phỏng

m	Khối lượng quả bóng	kg	0,058
R	Bán kính quả bóng	m	0,0245
J_b	Moment quán tính bóng	$kg \cdot m^2$	$13,93 \cdot 10^{-6}$
g	Gia tốc trọng trường	m/s^2	9,81

2.2. Mô hình hóa động cơ điện

Một thiết bị truyền động phổ biến trong các

hệ thống điều khiển là động cơ DC. Mạch điện tương đương của phần ứng và sơ đồ thân tự do của rôto được thể hiện trong Hình 3.



Hình 3. Mô hình động cơ điện

Bảng 3. Các ký hiệu trong động cơ

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
V	V	Điện áp phần ứng
R	Ω	Điện trở phần ứng
J	$kg \cdot m^2$	Moment quán tính của Rôto
L	H	Điện cảm phần ứng
i	A	Dòng điện phần ứng
V_b	V	Sức điện động phần ứng
θ	Arc	Góc quay của trục động cơ
b	Nms	Hệ số giảm chấn
M_t	Nm	Moment tải
ω	rad/s	Tốc độ quay của động cơ
K_b	$V/rad/s$	Hệ số sức điện động cảm ứng
K_t	Nm/A	Hệ số moment

Áp dụng định luật Kirchoff cho mạch Hình 3, ta được:

$$V(t) = V_R + V_L + V_b(t) \quad (20)$$

$$\Leftrightarrow V(t) = Ri + L \frac{di}{dt} + V_b(t) \quad (21)$$

$$\text{Mà: } V_b(t) = K_b \phi \omega(t) = K_b \phi \frac{d\theta}{dt} = K_b \frac{d\theta}{dt} \quad (22)$$

$$\Rightarrow \frac{di(t)}{dt} = \frac{1}{L} \cdot \left(-Ri + V(t) - K_b \frac{d\theta}{dt} \right) \quad (23)$$

Áp dụng định luật II Newton cho chuyển động quay của trục động cơ:

$$M(t) = Mt(t) + b\omega(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (24)$$

$$\Leftrightarrow M(t) = Mt(t) + b \frac{d\theta(t)}{dt} + J \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} \quad (25)$$

$$\text{Mà } M(t) = K_t \phi I(t), \quad Mt(t) = 0 \quad (26)$$

$$\Rightarrow \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} = \frac{1}{J} \cdot \left(K_t i(t) - b \frac{d\theta(t)}{dt} \right) \quad (27)$$

Biến đổi Laplace cho phương trình (23) và (27), ta được:

$$(Ls + R)I(s) = V(s) - K_b s\theta(s) \quad (28)$$

$$(Js^2 + bs)\theta(s) = K_r I(s) \tag{29}$$

Hàm truyền giữa vị trí góc và điện áp đặt vào động cơ:

$$H(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_r}{[(Js + B).(Ls + R) + K_r^2]s} \tag{30}$$

Bảng 4. Thông số động cơ dùng trong mô phỏng

Mô-men quán tính Rotor	J	$\text{kg.m}^2/\text{s}^2$	0,043
Hệ số giảm chấn	b	Nms	1,53
Điện trở Rotor	R	Ω	4,7
Điện cảm Rotor	L	H	0,016
Hệ số sức điện động	K	Nm/A	4,91

3. Thiết kế bộ điều khiển và thiết kế phần cứng

3.1. Bộ điều khiển PID

Giải thuật tính toán PID hay còn gọi là bộ điều khiển ba khâu, bao gồm: Proportional (tỉ lệ), Integral (tích phân) và Derivative (đạo hàm). 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. 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.

Theo [1-2], biểu thức giải thuật PID là:

$$u(t) = K_p.e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d. \frac{de(t)}{dt} \tag{31}$$

Phương pháp điều chỉnh Ziegler - Nichols:

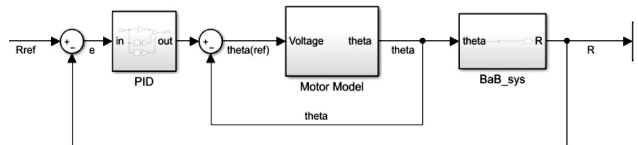
Trong phương pháp này, đầu tiên K_i và K_d được đặt bằng 0. K_p sẽ được tăng đến một giá trị tới hạn K_c , ở đó đầu ra của hệ thống bắt đầu dao động. K_c và chu kỳ dao động pc sẽ được sử dụng để đặt các tham số còn lại như sau:

$$K_p = 0,6. K_c \tag{31}$$

$$K_i = 2 K_p / pc \tag{32}$$

$$K_d = K_p. pc / 8 \tag{33}$$

Tuy nhiên rất khó để thiết kế bộ PID bằng phương pháp Ziegler - Nichols vì hệ thống cân bằng bóng trên thanh là hệ thống bậc cao (bậc 5) [5]. Để làm cho việc thiết kế điều khiển dễ dàng, toàn bộ hệ thống được tách thành hai vòng phản hồi: vòng lặp bên trong và vòng lặp bên ngoài.



Hình 4. Bộ điều khiển PID hệ thống cân bằng bóng trên thanh

Vậy ta chọn các hệ số PID bằng phương pháp tinh chỉnh bằng tay dựa trên bảng đặt tính bộ điều khiển PID:

Bảng 5. Bảng đặt tính luật điều khiển PID

Thông số	Thời gian quá độ	Độ vọt lố	Thời gian đáp ứng	Steady-state error
K_p	Giảm	Tăng	Ít thay đổi	Giảm
K_i	Giảm	Tăng	Tăng	Khử được
K_d	Ít thay đổi	Giảm	Giảm	Ít thay đổi

- Chọn K_p trước: Thử bộ điều khiển P với hệ thống cân bằng bóng trên thanh thật (hoặc mô phỏng), điều chỉnh K_p sao cho thời gian đáp ứng đủ nhanh, chấp nhận độ vọt lố nhỏ.

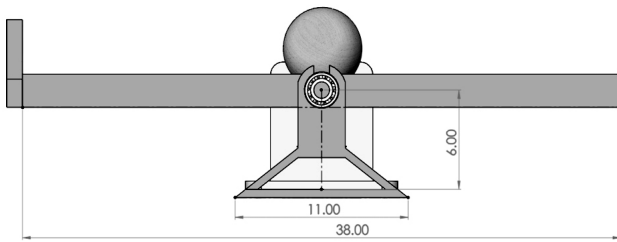
- Thêm thành phần D để loại bỏ độ vọt lố, tăng K_d từ từ, thử nghiệm và chọn giá trị thích hợp. Sai số ổn định (State-steady error) có thể sẽ xuất hiện.

- Thêm thành phần I để giảm sai số ổn định. Nên tăng K_i từ bé đến lớn để giảm sai số ổn định, đồng thời không để cho độ vọt lố xuất hiện trở lại.

Kết quả mô phỏng và đánh giá trình bày ở Phần 4.

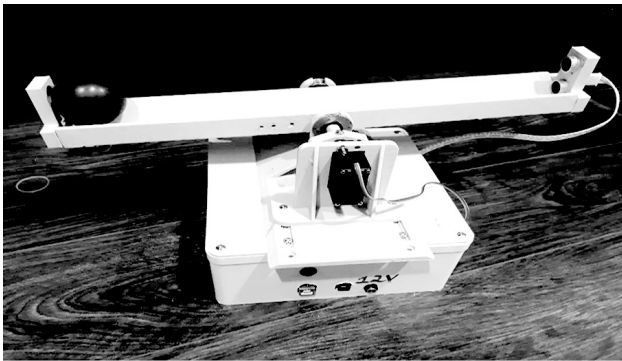
3.2. Thiết kế cơ khí

Phần cơ khí gồm 5 phần: Đế, thanh, giá đỡ thanh, giá đỡ động cơ và giá cảm biến như Hình 5.



Hình 5. Mô hình thiết kế trên SolidWork

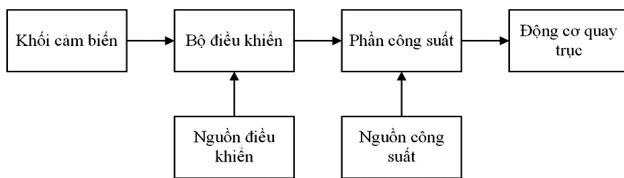
Tất cả thành phần đều được làm từ nhựa in từ máy in 3D để bảo đảm sự thẩm mỹ cho mô hình như Hình 6.



Hình 6. Mô hình thực tế

3.3. Thiết kế phần điện

Sơ đồ khối phần mạch điện điều khiển như Hình 7.



Hình 7. Sơ đồ khối phần điện

+ Khối nguồn:

Theo nguyên tắc điều khiển, hệ thống sẽ có hai nguồn riêng biệt gọi là nguồn điều khiển và nguồn công suất. Nguồn điều khiển là nguồn cấp điện cho bộ điều khiển, khối cảm biến thông thường có mức điện áp khoản 3,3 - 6 VDC. Trong khi đó nguồn công suất là nguồn cấp cho mạch lái, các động cơ, điện áp của nguồn này phụ thuộc vào điện áp của động cơ hoạt động.

+ Khối bộ điều khiển:

Là trung tâm xử lý tín hiệu nhận về, sau đó xử lý và xuất lệnh thực thi sao cho động cơ quay đúng góc làm quả bóng về vị trí cân bằng.

+ Khối cảm biến:

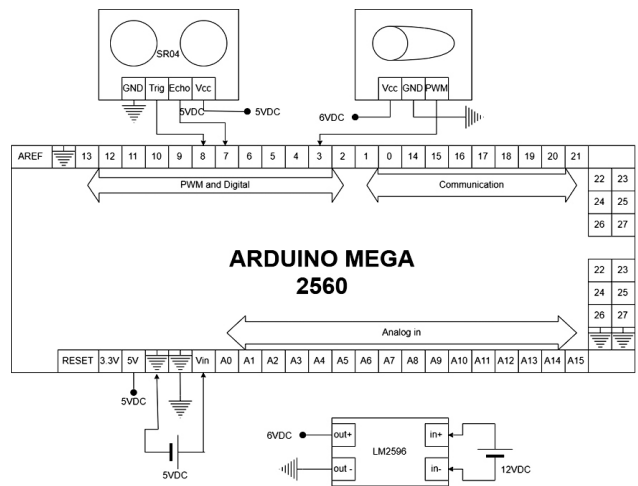
Dùng để nhận biết vị trí của quả bóng khi thanh nghiêng.

+ Khối công suất:

Đây là một khối mạch lái. Mạch lái là một mạch điện có khả năng nhận xung điều khiển (thường là xung PWM) từ bộ điều khiển và xuất ra điện áp để điều khiển tốc độ thanh.

+ Mạch điện và linh kiện điện tử còn lại bao gồm: Mạch CPU Arduino Mega 2560, Động cơ RC servo MG996R, Cảm biến siêu âm HC – SR04.

Cảm biến siêu âm gửi tín hiệu đầu ra ở dạng tín hiệu số tới vi điều khiển Arduino Mega2560. Xử lý tín hiệu này ta được giá trị khoảng cách cũng là đầu vào của PID được so sánh với điểm đặt. Động cơ servo được kết nối với chân 3 (PWM) để điều chế độ rộng xung, nhận đầu vào giá trị (góc) từ bộ điều khiển PID. Kết nối mạch điện được hiển thị trong Hình 8.

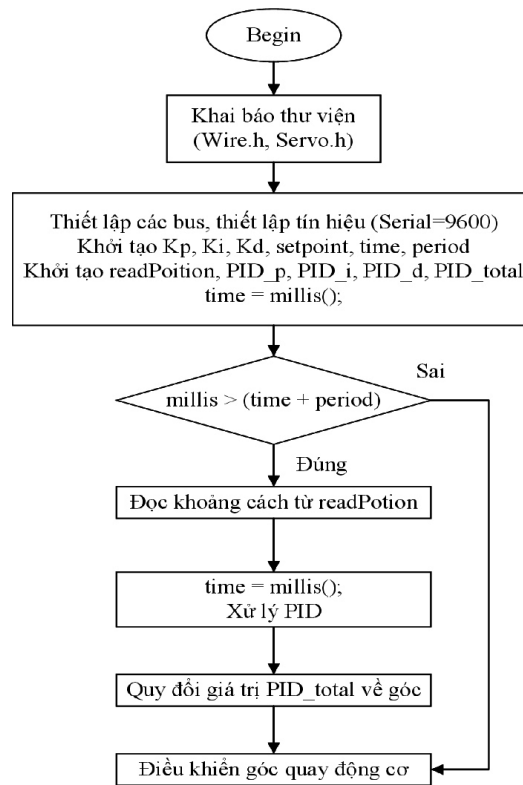


Hình 8. Sơ mạch điện của hệ thống

3.4. Lưu đồ thuật toán

3.4.1. Sơ đồ khối điều khiển chính

Lưu đồ chương trình của mạch điều khiển chính như Hình 9.



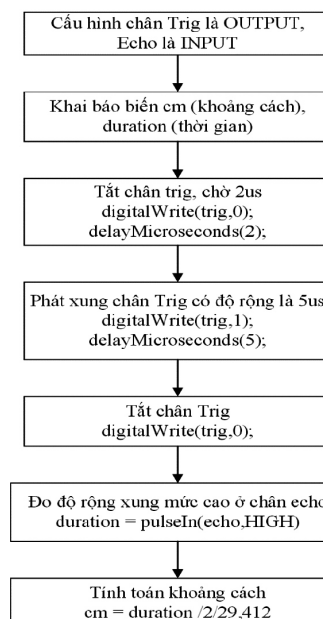
Hình 9. Sơ đồ khối điều khiển chính

- Giải thích: Hàm *millis()* có nhiệm vụ trả về một số - là thời gian (tính theo mili giây) kể từ lúc mạch Arduino bắt đầu chương trình. Đầu tiên ta khởi tạo biến *time* và cho *time = millis()* là thời gian bắt đầu chương trình, biến *period* là thời gian lấy mẫu. Câu lệnh $millis > (time + period)$ nghĩa

là thời gian hiện tại của hệ thống mà lớn hơn thời gian ban đầu và thời gian lấy mẫu thì sẽ bắt đầu tính toán PID.

3.4.2. Sơ đồ khối nhận khoảng cách

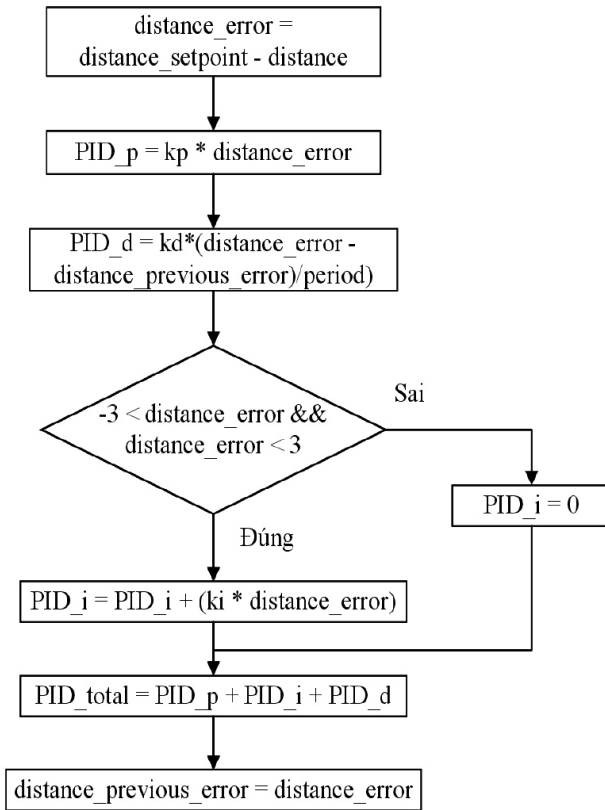
Lưu đồ chương trình nhận khoảng cách của mạch điều khiển như Hình 10.



Hình 10. Sơ đồ khối nhận khoảng cách

3.4.3. Sơ đồ khối điều khiển PID

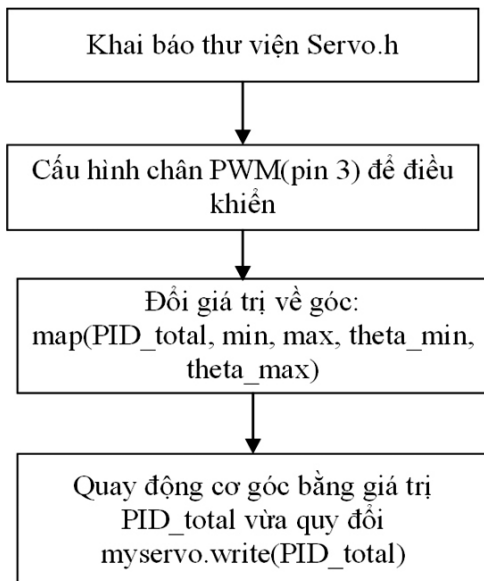
Lưu đồ chương trình điều khiển PID như Hình 11.



Hình 11. Sơ đồ khối điều khiển PID

3.4.4. Sơ đồ khối điều khiển góc quay động cơ

Lưu đồ chương trình điều khiển động cơ như Hình 12.



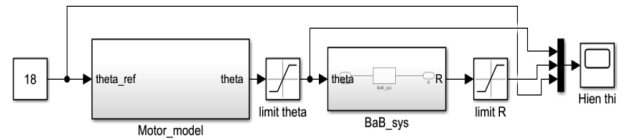
Hình 12. Sơ đồ khối điều khiển góc quay động cơ

4. Kết quả và đánh giá

4.1. Kết quả mô phỏng và đánh giá

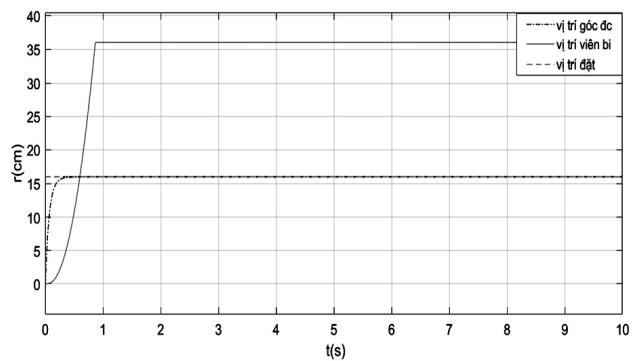
4.1.1. Hệ thống khi chưa có bộ điều khiển

- Sơ đồ khối mô phỏng:



Hình 13. Sơ đồ mô phỏng hệ thống chưa có bộ điều khiển

- Kết quả mô phỏng:



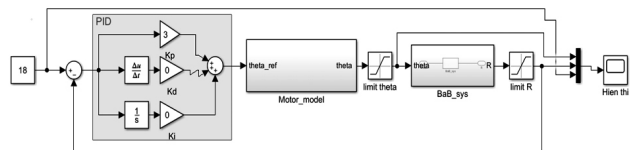
Hình 14. Hệ thống khi chưa có PID

- Đánh giá: Ta thấy rằng khi không có bộ điều khiển, quả bóng lăn qua giá trị đặt và lăn tiếp về phía bên trái của thanh và hệ thống không đưa quả bóng về lại vị trí đặt. Vậy phải cần có bộ điều khiển để quả bóng có thể luôn ở vị trí cân bằng.

4.1.2. Hệ thống khi có bộ điều khiển P

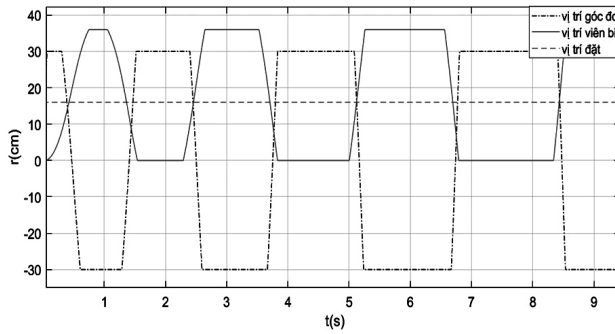
Sau khi thử nghiệm các giá trị K_p , chọn $K_p = 3$ thì thời gian dao động nhanh của quả bóng qua vị trí cân bằng:

- Sơ đồ khối mô phỏng: Với $K_p = 3$, $K_i = K_d = 0$.



Hình 15. Sơ đồ mô phỏng hệ thống với bộ điều khiển P

- Kết quả mô phỏng:



Hình 16. Mô phỏng hệ thống khi có bộ điều khiển P

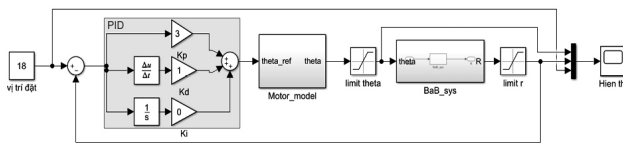
- Đánh giá:

Như Hình 16, ta nhận thấy với bộ điều khiển P làm hệ thống luôn dao động quanh vị trí đặt 18 và với biên độ lớn nhất là 0 và 36. Đáp ứng của hệ thống dao động, độ vọt lố cao có nghĩa là quả bóng luôn lặn qua lại vị trí cân bằng và không thể đứng yên tại vị trí cân bằng. Như vậy cần phải thêm bộ điều khiển vi phân (D) để làm giảm độ vọt lố.

4.1.3. Hệ thống khi có bộ điều khiển PD

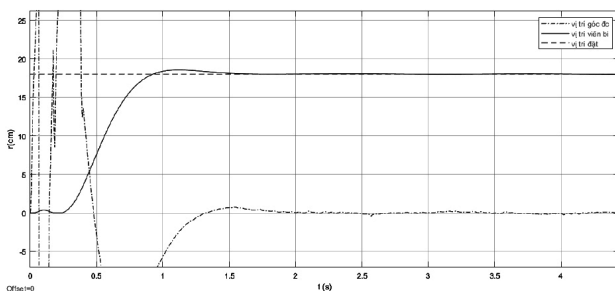
Sơ đồ mô phỏng hệ thống có bộ điều khiển PD như Hình 17. Tăng các giá trị K_d sao cho hệ thống không vọt lố và ổn định, chọn được $K_d = 1$.

- Sơ đồ khối mô phỏng: Với $K_p = 3$, $K_i = 0$, $K_d = 1$.



Hình 17. Sơ đồ mô phỏng hệ thống có bộ điều khiển PD

- Kết quả mô phỏng:



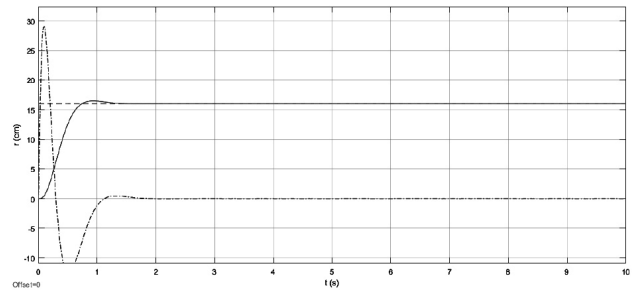
Hình 18. Hệ thống có bộ điều khiển PD

- Đánh giá: Hệ thống với bộ điều khiển PID với $K_p = 3$, $K_i = 0$ và $K_d = 1$, ta thấy hệ thống

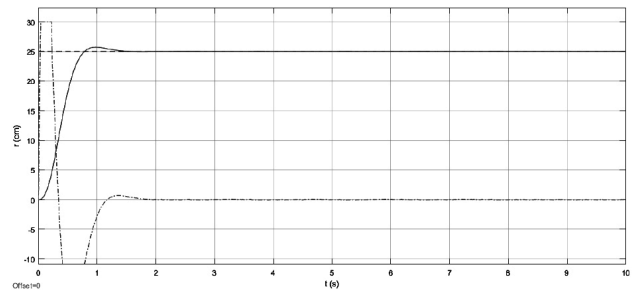
tương đối ổn định, vẫn có chút dao động của quả bóng quanh vị trí cân bằng nhưng không quá lớn.

Khảo sát thêm với các giá trị đặt 16:

- Kết quả mô phỏng:



Hình 19. Hệ thống sau khi tinh chỉnh với giá trị đặt là 16



Hình 20. Hệ thống sau khi tinh chỉnh với giá trị đặt là 25

- Đánh giá: Dựa vào các kết quả mô phỏng cho thấy các thông số của bộ điều khiển PID từ mô phỏng có thể làm ổn định được hệ thống trên. Áp dụng thông số PID ta chọn trong mô phỏng cho mô hình thực tế và tinh chỉnh cho hệ thống ổn định hơn.

4.2. Kết quả kiểm nghiệm mô hình thực tế và đánh giá

Bảng 6. Kết quả thử nghiệm thực tế

Với $K_p = 3$, $K_i = 0$, $K_d = 1$				
Số lần khảo sát (lần)	Vị trí đặt (cm)	Thời gian đáp ứng (giây)	Sai số xác lập (cm)	Độ vọt lố (%)
10	16	7 – 14	± 2	12,5%
10	18	5 – 11	± 2	11,11%
10	25	10 – 16	± 4	16 %

- Đánh giá: Mô hình thực tế hệ thống tương đối ổn định (có nhiều nguyên do), với giá trị đặt ở xa như 25 thì khó ổn định hơn vì cảm biến siêu âm hoạt động chưa được dẫn đến sai số. Giá trị nhận đo được sai lệch nhiều có thể do cấu tạo

hình cầu của quả bóng. Góc quay động cơ đáp ứng đúng với vị trí của quả bóng.

5. Kết luận và hướng phát triển

5.1. Kết luận

Một mô hình toán học của hệ thống cân bằng bóng trên thanh được phát triển bằng các định luật vật lý và điện. Các giá trị tham số của bộ điều khiển (K_p , K_i và K_d) có được bằng cách sử dụng phương pháp điều chỉnh thủ công từ mô phỏng và mô hình thực tế để hệ thống phản hồi tốt nhất. Từ kết quả thử nghiệm, chúng tôi thấy rằng các tham số bộ điều khiển mang lại phản hồi tốt nhất của hệ thống là: $K_p = 3$, $K_i = 0$ và $K_d = 1$. Độ chính xác của hệ thống được kiểm tra bằng cách điều chỉnh vị trí của quả bóng gỗ tại ba điểm khác nhau và nhận thấy rằng độ chính xác bị ảnh hưởng bởi việc thay đổi điểm đặt. Vì bóng gỗ nhẹ và tính chất bề mặt của gỗ nên quán tính và lực ma sát lên thanh khác so với sắt nên để quả bóng cân bằng phải tốn nhiều thời gian.

5.2. Hướng phát triển

Khắc phục các lỗi có trong mô hình thực tế và giải thuật điều khiển PID bằng việc sử dụng loại cảm biến tốt hơn để nhận được chính xác hơn khoảng cách với vật là hình cầu, dùng bộ lọc Kalman để cải thiện tín hiệu đầu vào, thay động cơ Servo chất lượng hơn có thể phản hồi điều khiển tốc độ động cơ, sử dụng các giải thuật tối ưu hơn để có thể cân bằng quả bóng gỗ trên thanh.

Tài liệu tham khảo

- [1] Wei Wang (2007), Control of a Ball and Beam System, The University of Adelaide South Australia.
- [2] Võ Văn Châu (2014), Thiết kế bộ điều khiển mờ - trượt – PD ổn định vị trí bóng trên thanh cân bằng, Trường Đại học Giao thông vận tải TP Hồ Chí Minh,
- [3] Nguyễn Tiến Diễm, Đặng Xuân Kiên (2014), Ổn định hệ thống bóng và thanh bằng phương pháp điều khiển Fuzzy-PID, Trường Đại học Giao thông vận tải TP Hồ Chí Minh.
- [4] Võ Công Phương, Nguyễn Trần Hồng Trí, Võ Văn Châu (2014), Thiết kế bộ điều khiển trượt thích nghi phân ly dùng mạng Neron giữ ổn định vị trí bi sắt trên thanh cân bằng, Trường Đại học Giao thông vận tải TP Hồ Chí Minh.
- [5] A. Taifour Ali, Ahmed A. M., Almahdi H. A., Osama A. Taha, A. Naseraldeem A (2017), Design and Implementation of Ball and Beam System Using PID Controller.
- [6] Robert Hirsh (1999), Ball on Beam Instructional System, Shandor Motion Systems.
- [7] Geoffrey Chiou, Andy Plascencia, Tyler Rowe (2016), Balancing A Ball And Beam With Pid.
- [8] K. Hirota and W. Pedrycz, "OR/AND Neuron in Modeling Fuzzy Set Connectives", IEEE Trans. On Fuzzy Systems, Vol 2, pp.151-161, May 1994.
- [9] Cristiano Osinki, A. L. Rocca Silveira, Claudinei Stiegelmaier, Mariane Gavioli Bergamini, Gideon Villar Leandro (2019), Control of Ball and Beam System Using FuzzyPID Controller.
- [10] Andrew De Juan, Safaa Al Tameemi, Andres Fernandez (2014), Ball and Beam Control System.