

HỆ BỒN NƯỚC ĐÔI DÙNG PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN PID

Lê Tấn Kiên¹ – Nguyễn Hữu Thiết² – Phan Tấn Quốc³

I. GIỚI THIỆU ĐỀ TÀI

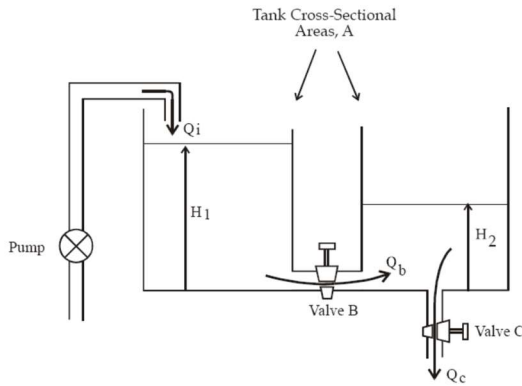
Hiện nay sự nghiệp công nghiệp hóa, hiện đại hóa ngày càng phát triển mạnh mẽ nên yêu cầu sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật và phát triển các công nghệ tự động ngày càng được yêu cầu có độ chính xác cao. Trong đó, các nhà máy, xí nghiệp có nhu cầu về việc điều khiển lưu lượng của mực nước, nhiên liệu cũng rất nhiều. Đây là một khâu quan trọng trong quá trình sản xuất và bài toán được đưa ra ở đây là ta phải làm thế nào để điều khiển lưu lượng một cách chính xác. Trong bài báo cáo này ta sẽ sử dụng phương pháp PID để điều khiển mực nước trong bồn nước đôi – một ví dụ tiêu biểu trong việc điều khiển lưu lượng.

II. THỰC HIỆN ĐỀ TÀI

A. Cơ sở lý thuyết

1. Bồn nước đôi

Ở trường hợp này, ta lựa chọn hệ bình nước đôi một đầu ra (SISO) làm đối tượng để thực hiện đề tài, ta sử dụng bình nước đôi liên kết như hình 1.



Hình 1: Cấu hình bồn nước đôi liên kết hệ SISO

Đối với mô hình này, nước được bơm trực tiếp vào bồn 1 và nước từ bồn 1 qua van B sẽ chảy vào bồn 2. Ở đây ta xây dựng bộ điều khiển để điều khiển mực nước ở bồn 2 với ngõ vào điện áp cấp cho máy bơm.

Lưu lượng nước chảy vào bồn 1 từ máy bơm: [1]

$$Q_i = K_p U(t) \quad (1)$$

Vận tốc nước chảy ra từ van xả B: [1]

$$V_B = C_{dB} \sqrt{2g(H_1(t) - H_2(t))} \quad (2)$$

Diện tích mặt cắt trong của bồn 1: [1]

$$A_1 = \frac{1}{4} \pi * D_1^2 \quad (3)$$

Diện tích mặt cắt của van xả B bồn 1: [1]

$$a_B = \frac{1}{4} \pi * D_B^2 \quad (4)$$

Từ (2) và (4) ta tính được lưu lượng nước chảy ra khỏi bồn 1 như sau: [1]

$$Q_{o1} = a_B * V_B = C_{dB} a_B \sqrt{2g(H_1(t) - H_2(t))} \quad (5)$$

Phương trình vi phân mô tả động học của bồn 1: [1]

$$A_1 \frac{\partial H_1(t)}{\partial t} = Q_i - Q_{o1} = K_p U(t) - C_{dB} a_B \sqrt{2g(H_1(t) - H_2(t))} \quad (6)$$

Từ đây ta suy ra được phương trình vi phân mô tả sự biến thiên cả mực nước trong bồn 1 là: [1]

$$\frac{\partial H_1(t)}{\partial t} = - \frac{C_{dB} a_B \sqrt{2g}}{A_1} \sqrt{H_1(t) - H_2(t)} + \frac{K_p}{A_1} U(t) \quad (7)$$

¹ Lê Tấn Kiên, 20139026, Faculty of Electrical and Electronics Engineering

² Nguyễn Hữu Thiết, 20139051, Faculty of Electrical and Electronics Engineering

³ Phan Tấn Quốc, 20139086, Faculty of Electrical and Electronics Engineering

Lưu lượng nước chảy vào bồn 2: [1]

$$Q_{i2} = C_{dB} a_B \sqrt{2g(H_1(t) - H_2(t))} \quad (8)$$

Vận tốc nước chảy ra khỏi bồn 2:

$$V_C = C_{dC} \sqrt{2gH_2(t)} \quad (9)$$

Diện tích mặt cắt van xả của bồn 2: [1]

$$A_2 = \frac{1}{4} \pi * D_2^2 \quad (10)$$

Lưu lượng nước chảy ra khỏi bồn 2: [1]

$$Q_{02} = a_C * V_C = C_{dC} a_C \sqrt{2gH_2(t)} \quad (11)$$

Từ đây ta có phương trình vi phân mô tả động học cho bồn 2 là: [1]

$$A_2 \frac{\partial H_2(t)}{\partial t} = Q_{i2} - Q_{02} = C_{dB} a_B \sqrt{2g(H_1(t) - H_2(t))} - C_{dC} a_C \sqrt{2gH_2(t)} \quad (12)$$

Suy ra phương trình vi phân mô tả sự biến thiên mực nước trong bồn 2 là: [1]

$$\frac{\partial H_2(t)}{\partial t} = \frac{C_{dB} a_B \sqrt{2g}}{A_2} \sqrt{H_1(t) - H_2(t)} - \frac{C_{dC} a_C \sqrt{2g}}{A_2} \sqrt{H_2(t)} \quad (13)$$

Từ (6) và (13) ta có hệ phương trình: [1]

$$\begin{cases} \frac{\partial H_1(t)}{\partial t} = -\frac{C_{dB} a_B \sqrt{2g}}{A_1} \sqrt{H_1(t) - H_2(t)} + \frac{K_p}{A_1} U(t) \\ \frac{\partial H_2(t)}{\partial t} = \frac{C_{dB} a_B \sqrt{2g}}{A_2} \sqrt{H_1(t) - H_2(t)} - \frac{C_{dC} a_C \sqrt{2g}}{A_2} \sqrt{H_2(t)} \end{cases} \quad (14)$$

Vì diện tích của hai bồn giống nhau ($A_1=A_2=A$) nên hệ phương trình được viết lại như sau: [1]

$$\begin{cases} \frac{\partial H_1(t)}{\partial t} = -\frac{C_{dB} a_B \sqrt{2g}}{A} \sqrt{H_1(t) - H_2(t)} + \frac{K_p}{A} U(t) \\ \frac{\partial H_2(t)}{\partial t} = \frac{C_{dB} a_B \sqrt{2g}}{A} \sqrt{H_1(t) - H_2(t)} - \frac{C_{dC} a_C \sqrt{2g}}{A} \sqrt{H_2(t)} \end{cases} \quad (15)$$

Chọn các thông số của đối tượng điều khiển theo bảng 1 để làm mô hình thực tế đúng và sử dụng các thông số đó để tính được các chỉ số PID thích hợp:

Ký hiệu	Mô tả	Giá trị	Đơn vị
K_p	Hệ số của máy bơm	3.3	Cm^3/Sv
C_{Db}	Hệ số của val xả B	1	
C_{Dc}	Hệ số của val xả C	1	
A	Chiều dài mỗi bồn	18	Cm
B	Chiều rộng mỗi bồn	9,5	Cm
D_B	Đường kính của val xả B	0,6	Cm
D_C	Đường kính của val xả C	0,6	Cm
H_{\max}	Chiều cao của mỗi bồn	30,5	Cm

Bảng 1: Các thông số của đối tượng điều khiển

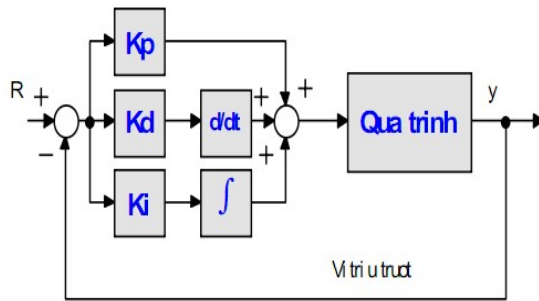
2. Bộ điều khiển PID

Bộ điều khiển PID (A proportional integral derivative controller) là bộ điều khiển sử dụng kỹ thuật điều khiển theo vòng lặp có hồi tiếp được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển tự động. [2]

Một bộ điều khiển PID cố gắng hiệu chỉnh sai lệch giữa tín hiệu ngõ ra và ngõ vào sau đó đưa ra một tín hiệu điều khiển để điều chỉnh quá trình cho phù hợp. [2]

PID là một trong những lý thuyết cổ điển và cũ nhất dùng cho điều khiển tuy nhiên nó vẫn ứng dụng rộng rãi cho đến ngày nay. [2]

Sơ đồ khối của bộ điều khiển PID:



Hình 2: Sơ đồ khối của bộ PID

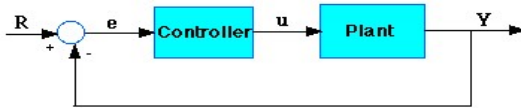
2.1. Hàm truyền đạt

$$W(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I p} + T_D p\right) = K_p + \frac{K_I}{p} + K_D p$$

Bộ điều khiển gồm có 3 thành phần:

- +K_p: Hệ số tỷ lệ.
- +K_I: Hệ số tích phân.
- +K_d: Hệ số vi phân.

Xét 1 hệ thống có sơ đồ khối như sau:



Hình 3: Sơ đồ khối của một hệ thống

Trong đó:

Plant: đối tượng cần điều khiển

Controller: đưa tín hiệu điều khiển đối tượng, được thiết kế để hệ thống đạt đáp ứng mong muốn.

Biến e là thành phần sai lệch, là hiệu giữa giá trị tín hiệu vào mong muốn và tín hiệu ra thực tế. Tín hiệu sai lệch (e) sẽ đưa tới bộ PID, và bộ điều khiển tính toán cả thành phần tích phân lẫn vi phân của (e). Tín hiệu ra (u) của bộ điều khiển bằng: [3]

$$u = K_p e + K_I \int e dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (2.2)$$

Lúc này đối tượng điều khiển có tín hiệu vào là (u), và tín hiệu ra là (Y). (Y) được hồi tiếp về bằng các cảm biến để tiếp tục tính sai lệch (e). Và bộ điều khiển lại tiếp tục như trên.

2.2. Đặc tính bộ điều khiển PID:

Thành phần tỉ lệ (K_p) có tác dụng làm tăng tốc độ đáp ứng của hệ, và làm giảm chứ không triệt tiêu sai số xác lập của hệ (steady-state error). [3]

Thành phần tích phân (K_i) có tác dụng triệt tiêu sai số xác lập nhưng có thể làm giảm tốc độ đáp ứng của hệ. [3]

Thành phần vi phân (K_d) làm tăng độ ổn định hệ thống, giảm độ vọt lố và cải thiện tốc độ đáp ứng của hệ. [3]

Ảnh hưởng của các thành phần K_p, K_i, K_d đối với hệ kín được tóm tắt trong bảng sau:

	Thời gian lên	Vọt lố	Thời gian xác lập	Sai số xác lập
K _p	Giảm	Tăng	Thay đổi nhỏ	Giảm
K _i	Giảm	Tăng	Tăng	Thay đổi nhỏ
K _d	Thay đổi nhỏ	Giảm	Giảm	Thay đổi nhỏ

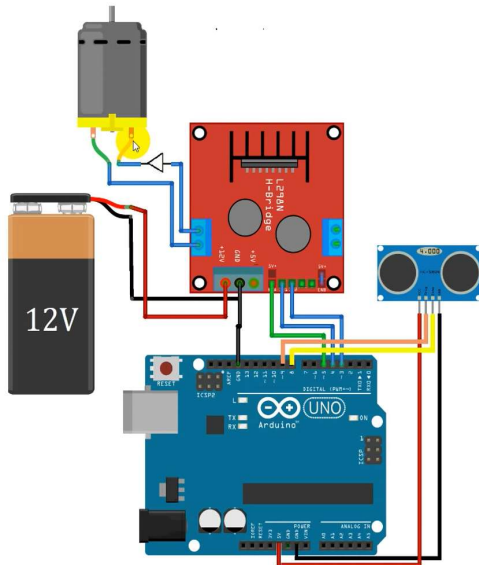
Bảng 2: Ảnh hưởng của các thông số PID lên đối tượng

Lưu ý rằng quan hệ này không phải chính xác tuyệt đối vì K_p, K_i và K_d còn phụ thuộc vào nhau. Trên thực tế, thay đổi một thành phần có thể ảnh hưởng đến hai thành phần còn lại. Vì vậy bảng trên chỉ có tác dụng tham khảo khi chọn K_p, K_i, K_d. [3]

B. Kết nối hệ thống

Đầu tiên, máy bơm được kết nối với các kênh kết nối output A hoặc B trên mô-đun L298N. Trên mô-đun L298N, kênh output A gồm 2 chân 1 và 2, kênh output B gồm 2 chân 13 và 14. Cực dương của nguồn điện được kết nối với chân 4 (VCC) của mô-đun và cực âm nguồn nối với chân 5 (GND) của mô-đun. Trong hệ thống này, nguồn điện cung cấp là 12V, do đó, jumper 12V ở chân 3 được để lại và 5V đầu ra có sẵn trên chân 6 của mô-đun. Ngoài ra, GND của Arduino cũng được

kết nối với chân 5 trên mô-đun để hoàn thành mạch. Sáu chân đầu ra kỹ thuật số trên Arduino được kết nối với các chân tương ứng trong 6 chân từ chân số 7 đến 12 trên mô-đun L298N tùy vào bài toán, hai trong số đó là chân PWM (điều chế độ rộng xung). Cảm biến nhận diện khoảng cách được nối trực tiếp vào arduino. Sau đó ta kết nối mô hình với sơ đồ như hình 4.



Hình 4: Sơ đồ nối dây

C. Mô phỏng hệ thống

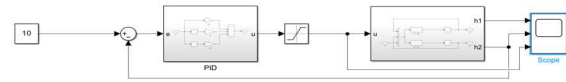
Ta sử dụng phần mềm MATLAB – Simulink để mô phỏng và tìm ra các thông số K_i , K_p , K_d mà chúng ta cần để điều khiển.

Đầu tiên thiết lập các thông số theo bảng 1:

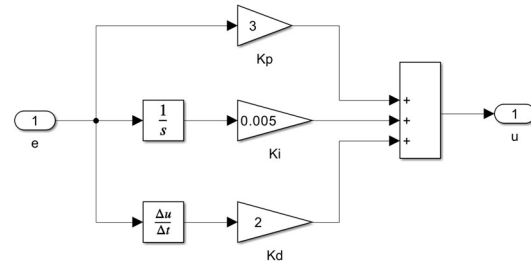
Bondoi_Thongso.m	
1	D1 = 18;
2	D2 = 9.5;
3	CdB = 0.6;
4	CdC = 0.6;
5	kp = 3.3;
6	DB = 0.6;
7	DC = 0.4;
8	A1= D1*D2;
9	A2= D2*D1;
10	aB = 3.14*DB*DB/4
11	aC = 3.14*DB*DC/4
12	g=981;
13	h1_init=0;
14	h2_init=0;
15	h_max = 30.5;

Hình 5: Thông số thiết lập

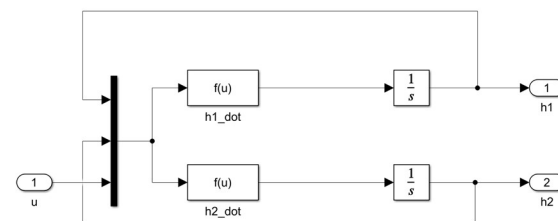
Tiếp theo ta thiết kế hệ thống PID và ta sẽ thử các thông số K_p , K_i , K_d sao cho phù hợp với yêu cầu là sóng đầu ra phải ổn định.



Hình 6: Mô hình thuật toán

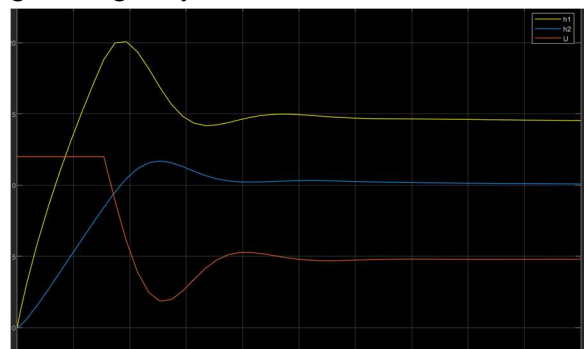


Hình 7: Điều chỉnh hệ số của thuật toán



Hình 8: Cấu hình công thức thuật toán

Sau đó ta sẽ thu được sóng ổn định theo thời gian đúng với yêu cầu mà ta đã đặt ra.



Hình 9: Tín hiệu ổn định theo thời gian khi chọn đúng hệ số K_p , K , K_d

Các thông số của bộ điều khiển PID được chọn theo phương pháp Z-N-1 như trên đảm bảo hệ

thống đã cho làm việc ổn định. Thông số cuối cùng mà ta chọn là $K_p = 3$, $K_i = 0.005$, $K_d = 2$.

D. Kết nối phần mềm

Việc lập trình hệ thống điều khiển tốc độ được lập trình trong Arduino IDE, sơ đồ khối được mô tả trong Hình 6. Cấu trúc chính của mã gồm một hàm ngắt cứ sau mỗi chu kỳ lấy mẫu và các hàm xử lý tín hiệu đọc được từ cảm biến siêu âm. Ngoài ra cũng có một vòng lặp để in tốc độ của động cơ. Tốc độ truyền dữ liệu giữa Arduino và Arduino IDE là 9600 bit/s, tốc độ này là phù hợp để điều khiển động cơ với tốc độ đặt nhỏ trong bài báo cáo này. Nếu tốc độ đặt lớn thì phải thay đổi tốc độ truyền dữ liệu lớn hơn để động cơ hoạt động chính xác hơn. Một hàm ngắt sẽ đưa xung đọc được vào hàm PID, hàm này sẽ được gọi để xử lý tất cả các tham số như setpoint (tốc độ đặt), xung đọc được và đưa ra độ cao mực nước qua xung đọc được, so sánh độ cao đó với tốc độ đặt. Cứ như vậy, ta tính toán và ổn định mực nước đến khi nào nó gần bằng mực nước đã đặt.

III. KẾT QUẢ THỰC HIỆN

Sau khi kết nối phần mềm, phần cứng và nạp code, ta thu được một hệ thống bồn nước đôi có cảm biến siêu âm để kiểm tra độ cao mực nước, máy bơm để bơm nước vào và Arduino của chúng ta sẽ xử lý các tín hiệu và điều khiển máy bơm cho mực nước đúng yêu cầu đã đặt trước là 10cm.



Hình 10: Hệ thống hoàn thành

Link video kết quả:

<https://www.youtube.com/watch?v=ioiffAHpHeQ>

IV. KẾT LUẬN

Hệ thống bồn nước đôi sau khi thực hiện hoạt động ở mức ổn định, mực nước chênh lệch qua các khoảng thời gian không lớn và giữ được ở mực nước đã đặt trước. Điều đó chứng minh rằng ta đã đạt được mục tiêu ban đầu là sử dụng phương pháp PID để điều khiển máy bơm ổn định mực nước.

Mặc dù bộ điều khiển PID là bộ điều khiển cũ dùng cho điều khiển tuy nhiên nó vẫn được ứng dụng rộng rãi cho đến ngày nay.

Hệ thống điều khiển mực nước trong bồn nước đôi khi sử dụng bộ điều khiển PID thích hợp sẽ làm giảm đi độ vọt lố, giảm thời gian quá độ và tăng độ chính xác.

Các thông số của bộ điều khiển PID được xác định theo phương pháp thực nghiệm của Ziegler-Nichols cho kết quả sơ bộ và các thông số cần điều chỉnh lại. Để điều chỉnh các thông số cho phù hợp với đối tượng thì người thiết kế cần có kinh nghiệm và sự hiểu biết về đối tượng điều khiển.

V. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. V. Văn, “Bồn nước đôi Sample-Compress,” Da Nang, 2010.
- [2] G. H. T. Hoàng, Cơ sở điều khiển tự động, TP Hồ Chí Minh: Đại học Bách Khoa TP.HCM.
- [3] T. T. Đ. K. Quốc, Lý thuyết điều khiển tự động.