Xây dựng và điều khiển mô hình mực chất lỏng

Implementation and Control of A Liquid Level Model

Huỳnh Minh Vũ[1], Đường Khánh Sơn[1], Trần Minh Phát[2]

[1]Trường Đại học Kỹ thuật – Công nghệ Cần Thơ

[2]Công ty trách nhiệm hữu hạn Jointech

Tác giả liên hệ: Huỳnh Minh Vũ, E-mail: hmvu@ctuet.edu.vn

Tóm tắt: Kỹ thuật điều khiển là một lĩnh vực liên ngành đòi hỏi kiến thức về toán học và vật lý, mạch điện, cảm biến, cơ cấu chấp hành và vi điều khiển. Nó cũng cung cấp cho người dùng trải nghiệm trong khi thử nghiệm, mô phỏng và triển khai thời gian thực. Bài báo nhằm mục tiêu xây dựng và điều khiển mô hình ổn định mực chất lỏng có thể ứng dụng để thử nghiệm các giải thuật điều khiển khác nhau. Giải pháp được đề xuất là xây dựng phần cứng với chi phí thấp dựa trên Arduino Mega và bộ điều khiển PID được xây dựng trên phần mềm MATALB/Simulink để điều khiển ổn định mức chất lỏng. Kết quả thử nghiệm trên bộ điều khiển PID cho thấy đáp ứng của hệ thống có thời gian xác lập hợp lý, độ vọt lố không đáng kể, sai số xác lập nhỏ. Với kết quả nêu trên, mô hình hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu thực hành, thí nghiệm về điều khiển hệ thống.

Từ khóa: *Arduino Mega; bộ điều khiển PID; điều khiển mức lỏng; điều khiển quá trình; MATLAB/Simulink*

Abstract: Control engineering is an interdisciplinary field requiring knowledge on math and physics, circuits, sensors, actuator, and microcontrollers. It also provides users experiences in testing, simulation and real-time implementation. This paper aims to build and control a liquid level stability model, which can be used to test different control algorithms. The proposed solution is to build low-cost hardware based on Arduino Mega and the PID controller has been built on MATALB/Simulink software for stable control of liquid level. Experimental results on the PID controller shows that the response of the model has suitable setting time, negligible overshoot and small steady-state error. With the above results, the model completely meets the requirements of practice and experiment on system control.

Keywords: *Arduino Mega; liquid level control; MATLAB/Simulink; PID controller; process control*

1. Giới thiệu

Hệ điều khiển ổn định mực chất lỏng là hệ thống phi tuyến, khó điều khiển và ứng dụng rất nhiều trong công nghiệp, điển hình như trong các lĩnh vực: chế biến thực phẩm, sản xuất đồ uống, công nghiệp dược phẩm, hệ thống lọc nước, xử lý hóa chất công nghiệp,…Các thiết bị điển hình được sử dụng trong hệ thống kiểm soát mực chất lỏng bao gồm: máy bơm, van tiết lưu, van on-off,…Ngoài ra, còn có các cảm biến mức chất lỏng như phao nổi, đầu dò điện dung, cảm biến áp suất,…các cảm biến này cung cấp mức chất lỏng đo được cho mục đích điều khiển vòng kín [1].

Có nhiều phương pháp đã được các nhóm tác giả áp dụng để điều khiển ổn định mực chất lỏng. Nhóm tác giả L. Chen, C. Wang, Y. Yu và Y. Zhao đã điều khiển kiểm soát mực chất lỏng lò hơi dựa trên bộ điều khiển PID-mờ thích nghi [2]. Điều khiển kiểm soát mực chất lỏng dựa trên PLC cũng được nhóm tác giả M. Ali, A. Hussein Miry và T. Salman áp dụng [3]. Đồng thời, nhóm tác giả V. M. Tài, N. P. Lưu và N. V. Đ. Hải cũng đã xây dựng mô hình kiểm soát mực nước hệ bồn đơn

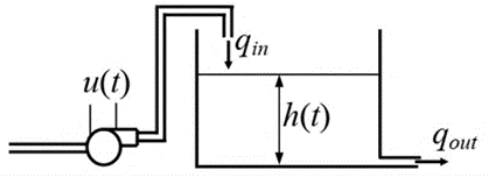
dùng bộ điều khiển PID số [4]. Bộ điều khiển PID (proportional- integral - derivative) là bộ điều khiển được sử dụng phổ biến trong công nghiệp (khoảng 90%) [5]-[6], dựa trên cơ chế phản hồi vòng điều khiển. Bộ điều khiển này sẽ tính toán giá trị sai lêch là hiệu số giữa tín hiệu hồi tiếp từ cảm biến và tín hiệu tham khảo, sau đó áp dụng hiệu chỉnh dựa trên hành động tỷ lệ, tích phân và đạo hàm [7]. Có hai phương pháp điều chỉnh bộ điều khiển PID thông dụng là Ziegler-Nichols và Cohen Coon [8], ngoài ra cũng có nhiều nghiên cứu để các định các thông số của bộ điều khiển này, điển hình như nghiên cứu của nhóm tác giả Hoang Dung - Nguyen và The Hien -Huynh điều khiển vị trí theo thời gian thực dựa trên bộ điều khiển PID mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm [9], nghiên cứu của tác giả Nguyễn Chí Ngôn dựa trên giải thuật di truyền xác định các thông số của bộ điều khiển PID [10]. Bên cạnh đó, nhóm tác giả Fatiha Loucif, Sihem Kechida và Abdennour Sebbagh đã nghiên cứu tìm kiếm các thông số bộ điều khiển PID dựa trên các giải thuật WOA, GWO và PSO, áp dụng để điều khiển tay máy dựa trên phương trình động lực học [11].

Song song, hệ ổn định mực chất lỏng có cấu tạo khá đơn giản, dễ dàng chế tạo để kiểm chứng các giải thuật điều khiển khác nhau. Từ thực tế được nêu trên, bài báo này nhằm thiết kế và chế tạo một mô hình thử nghiệm ổn định mực chất lỏng với chi phí thấp, vật tư, linh kiện phổ biến để phục vụ cho việc kiểm nghiệm nhiều kỹ thuật điều khiển khác nhau dựa trên phần mềm MATLAB/Simulink.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương trình toán học

Khảo sát mô hình mực chất lỏng, được trình bày như hình 1.



Hình 1. Mô hình mực chất lỏng

Phương trình vi phân biểu diễn hệ điều khiển ổn định mực chất lỏng được trình bày như công thức (1) và (2) [12].

$$\dot{h}(t) = \frac{1}{A(h)}\left(ku(t) - aC_D\sqrt{2gh(t)}\right) \quad (1)$$

$$A(h) = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{h_{\max}}h + A_{\min} \quad (2)$$

Bảng 1. Thông số mô phỏng mực chất lỏng

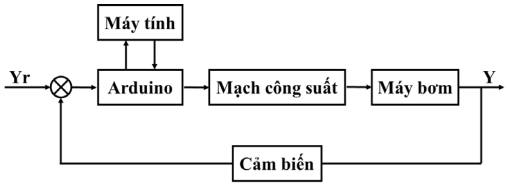
Kí hiệu	Ý nghĩa	Giá trị
$A(h)$	Tiết diện ngang bình chứa	14.5 cm^2
A_{max}, A_{min}	Tiết diện ngang lớn nhất và nhỏ nhất	14.5 cm^2
h_{max}	Độ cao lớn nhất của bình chứa	10.5 cm
a	Tiết diện van xả	0.6 cm^2
k	Hệ số tỉ lệ với công suất của máy bơm	300 cm^3/s
C_D	Hệ số xả	0.2
g	Gia tốc trọng trường	981 cm^2/s
$u(t)$	Điện áp cấp cho máy bơm	-
$h(t)$	Chiều cao mực nước	-

2.2. Mô hình thực nghiệm

2.2.1. Tổng quan mô hình

Sơ đồ điều khiển tổng quan mô hình mực chất lỏng được trình bày như hình 2. Mục tiêu đặt ra là kiểm soát mực chất lỏng theo tín hiệu tham khảo dựa trên giá trị hồi tiếp về từ cảm biến siêu âm. Máy tính sẽ làm nhiệm vụ giao tiếp tín hiệu giữa bộ điều khiển được xây dựng dựa trên phần mềm MATLAB/Simulink và Arduino Mega, từ

đó cung cấp giá trị PWM cho mạch công suất để điều khiển máy bơm.



Hình 2. Sơ đồ điều khiển tổng quan

2.2.2. Xây dựng mô hình

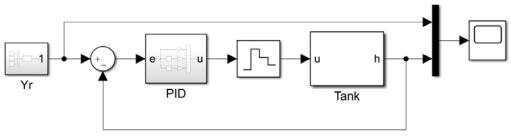
Mô hình được xây dựng bằng các vật liệu phổ biến trên thị trường (được trình bày như hình 3), phần đế chứa các thiết bị điện và thực hiện chức năng làm khung đỡ cho toàn bộ mô hình được xây dựng bằng thép, bồn chứa chất lỏng được xây dựng bằng vật liệu mica, gồm có hai bồn: bồn chính chứa mực chất lỏng cần điều khiển và bồn phụ chứa chất lỏng để cung cấp cho máy bơm.

Hình 3. Mô hình thực nghiệm

2.3. Điều khiển mô hình

2.3.1. Mô phỏng điều khiển

Sơ đồ mô phỏng điều khiển mực chất lỏng được xây dựng trên MATLAB/Simulink dựa trên phương trình (1) và (2), đồng thời các thông số mô phỏng được trình bày tại bảng 1.



Hình 4. Sơ đồ mô phỏng điều khiển

Trong bài báo này thông số của bộ điều khiển PID được tìm kiếm theo phương pháp thử - sai dựa trên bảng 2 [13].

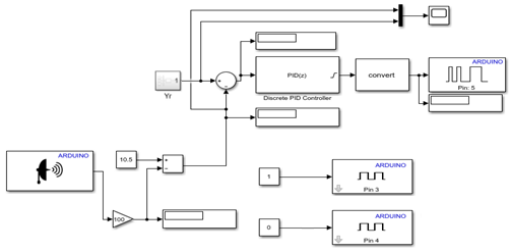
Bảng 2. Ảnh hưởng của việc tăng các thông số độ lợi của bộ điều khiển PID

Đáp ứng vòng kín	Thời gian tăng	Độ vọt lố	Thời gian xác lập	Sai số xác lập
TăngK_P	Giảm	Tăng	Tăng nhẹ	Giảm
TăngK_I	Giảm nhẹ	Tăng	Tăng	Loại bỏ
TăngK_D	Tăng nhẹ	Giảm	Giảm	Thay đổi nhỏ

2.3.2. Thực nghiệm điều khiển

Để khảo sát điều khiển ổn định mực chất lỏng, bài báo đề xuất sử dụng bộ điều khiển PID truyền thống với các thông số bộ điều khiển đã được kiểm chứng bằng phương pháp mô phỏng. Bộ điều khiển được xây dựng trên MATLAB/Simulink và giao tiếp với phần cứng thông qua Arduino Mega, theo nguyên lý điều khiển vòng kín.

Sơ đồ thực nghiệm điều khiển được trình bày như hình 5.

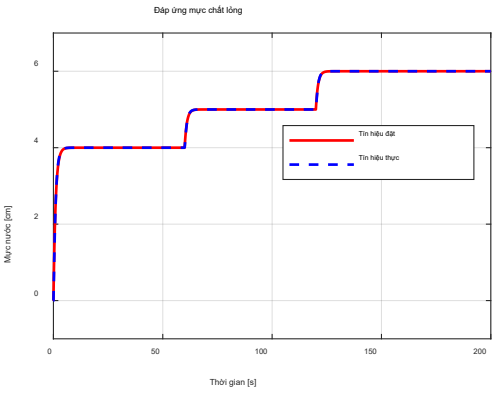


Hình 5. Sơ đồ thực nghiệm điều khiển

3. Kết quả điều khiển mô hình

3.1. Kết quả mô phỏng

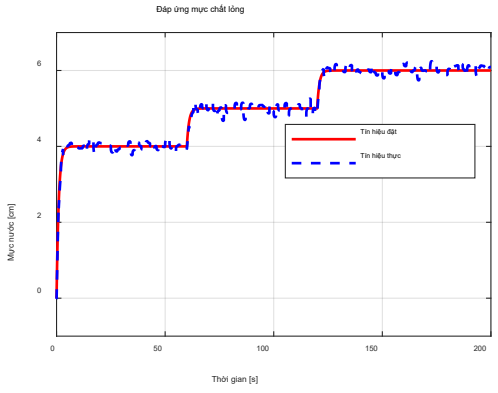
Hình 6 trình bày kết quả mô phỏng của bộ điều khiển PID khi tín hiệu đặt là hình nấc, giả sử cho mực nước tăng dần.



Hình 6. Đáp ứng mực chất lỏng mô phỏng

Kết quả hình 6 cho thấy hiệu quả điều khiển của bộ điều khiển PID điều khiển mực chất lỏng bám theo tín hiệu đặt hình nấc đã qua bộ lọc tương đối tốt, đảm bảo các tiêu chí chất lượng hệ thống như độ vọt lố, thời gian tăng, thời gian xác lập và sai số xác lập.

Để kiểm tra hiệu quả của bộ điều khiển PID dưới tác động của nhiễu, tác giả đã giả sử hệ thống có tác động của nhiễu, cụ thể là nhiễu tại tín hiệu hồi tiếp, giả lập nhiễu do cảm biến siêu âm gây ra, khi đó kết quả điều khiển được trình bày như hình 7.



Hình 7. Đáp ứng mực chất lỏng mô phỏng khi có nhiễu do cảm biến

Kết quả hình 7 nói lên hiệu quả điều khiển của bộ điều khiển PID khi có nhiễu tác động, tín hiệu thực tế vẫn bám với tín hiệu đặt, các thông số chất lượng hệ thống vẫn đảm bảo.

3.2. Kết quả thực nghiệm

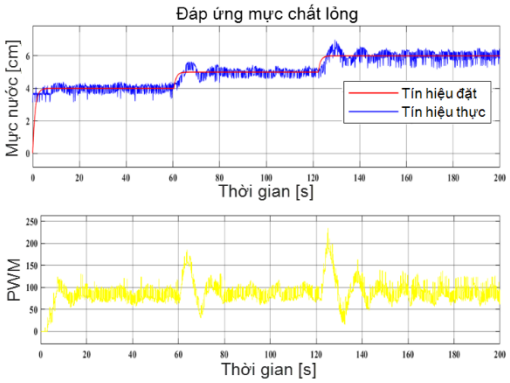
Mô hình thử nghiệm điều khiển mực chất lỏng được chế tạo hoàn thiện như hình 8. Mô hình giao tiếp với MATLAB/Simulink dựa trên Arduino Mega thông qua cổng USB serial. Arduino Mega giữ vai trò truyền và nhận tín hiệu với mô hình, truyền tín hiệu điều khiển từ bộ điều khiển được xây dựng trên máy tính đến máy bơm và nhận tín hiệu hồi tiếp từ cảm biến siêu âm để hình thành bộ điều khiển vòng kín. Thông số kỹ thuật mô hình được trình bày như bảng 3.

Hình 8. Mô hình thí nghiệm hoàn thiện

Bảng 3. Bảng thông số kỹ thuật

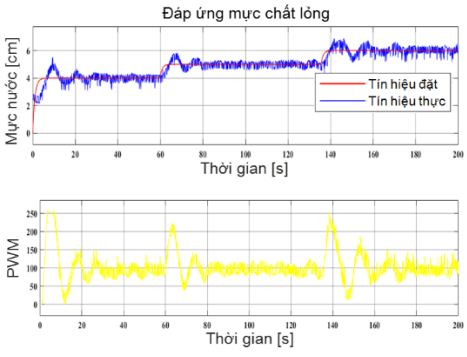
Kích thước	405 x 170 x 211 mm
Khối lượng	10 kg
Phần mềm	MATLAB/Simulink
Vi điều khiển	Arduino Mega 2560
Mạch điều khiển động cơ	L298N
Động cơ	Bơm chìm DC 12V
Cảm biến	HY-SRF05
Vật liệu chính	Thép – Mica

Hình 9 trình bày đáp ứng mực chất lỏng và tín hiệu điều khiển khi đóng van xả, tại thí nghiệm này mực nước được điều khiển bám theo tín hiệu đặt Yr. Thời gian thí nghiệm 200 giây, trong đó 60 giây đầu tiên Yr = 4 cm, tại 60 giây tiếp theo Yr = 5cm và 80 giây còn lại Yr = 6 cm. Kết quả thí nghiệm cho thấy tín hiệu thực tế của mực nước có dao động, tuy nhiên vẫn bám tốt so với tín hiệu đặt.



Hình 9. Đáp ứng mực chất lỏng thực nghiệm

Để khảo sát bài toán điều khiển bám sát với thực tế, tác giả đã tiến hành thí nghiệm điều khiển mực chất lỏng khi van xả hoạt động, với hệ số xả là 20%. Đáp ứng mực chất lỏng và tín hiệu điều khiển được trình bày như hình 10. Kết quả cho thấy mặt nước vẫn tồn tại dao động, tại những thời điểm tín hiệu đặt thay đổi thì tín hiệu điều khiển tăng lên, tuy nhiên tín hiệu thực tế vẫn bám tốt với tín hiệu đặt. Khảo sát và thống kê các kết quả thí nghiệm được trình bày như bảng 4.



Hình 10. Đáp ứng mực chất lỏng thực nghiệm khi mở van xả với hệ số xả 20%

Qua các kết quả thử nghiệm cho thấy mô hình hoàn toàn có thể ứng dụng để khảo sát các thuật toán điều khiển khác nhau (bộ điều khiển PID trong bài báo này đóng vai trò kiểm chứng hoạt động mô hình) và hoàn toàn có thể áp dụng trong thực hành, thí nghiệm.

Bảng 4. Đánh giá chất lượng

Thời gian tăng	5±1(s)
Thời gian xác lập	10±1(s)
Sai số xác lập	0.2±0.05(cm)
Độ vọt lố	0.25±0.01(%)

4. Kết luận

Bài báo này trình bài phương pháp xây dựng và điều khiển mô hình mực chất lỏng với chi phí thấp ứng dụng để giảng dạy và nghiên cứu. Kết quả kiểm nghiệm điều khiển mô hình mực chất lỏng bằng bộ điều khiển PID kinh điển cho thấy đáp ứng của hệ thống có thời gian tăng và thời gian xác lập phù hợp, độ vọt lố và sai số xác lập không đáng kể. Như vậy, mô hình hoàn toàn đáp ứng được mục tiêu đặt ra.

Ngoài ra, các kết quả đạt được trong bài báo còn là cơ sở để triển khai các thuật toán thông minh như mạng nơ-ron nhân tạo, logic mờ, giải thuật di truyền,…nhằm mục tiêu điều khiển mực chất lỏng.

Tài liệu tham khảo

[1] Haizhou Pan et al, “Experimental validation of a nonlinear backstepping liquid level controller for a state coupled two tank systems,” *Control Enngineering Practice 13*, pp. 27-20, 2005.

[2] Liang Chen et al, “The research on boiler drum water level control system based on self-adaptive fuzzy-PID,” *Chinese Control and Decision Conference*, pp. 1582-1584, 2010.

[3] A. A. Methaq et al, “IoT Based Water Tank Level Control System Using PLC,” *2020 International*

Conference on Computer Science and Software Engineering (CSASE), Duhok, Kurdistan Region – Iraq, pp. 7-12, 2020.

[4] Võ Minh Tài và ctv, "Kiểm soát mực nước hệ bồn đơn dùng bộ điều khiển PID số," *Tạp chí Khoa học trường Đại học Đồng Tháp*, số 40, trang 77-82, 2019.

[5] K. J. Åström, T. Hägglund, "The future of PID control", Control Eng. Practice 9, pp. 1163-1175, 2001.

[6] Ehsan Abbasi and Nader Naghavi, "Offline Auto-Tuning of a PID Controller Using Extended Classifier System (XCS) Algorithm," *Journal of Advances in Computer Engineering and Technology*, pp. 41-50, 2017.

[7] Sangram Bharat et al, "A Review on Tuning Methods for PID Controller," *Asian Journal of Convergence in Technology*, pp. 1-4, 2019.

[8] A. A. Azman et al, "Modeling and comparative study of PID Ziegler Nichols (ZN) and Cohen-Coon (CC) tuning method for Multi-tube aluminum sulphate water filter (MTAS)," *2017 IEEE 2nd International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)*, Kota Kinabalu, Malaysia, pp. 25-30, 2017.

[9] Hoang-Dung Nguyen, The Hien Huynh, "Controlling the Position of the Carriage in Real-Time Using the RBF Neural Network Based PID Controller", *The 18th International Conference on Control*, *Automation and Systems*, pp. 1418-1423, 2018.

[10] Nguyễn Chí Ngôn, "Tối ưu hóa bộ điều khiển PID bằng giải thuật di truyền," *Tạp chí Khoa học trường Đại học Cần Thơ*, số 9, trang 241-248, 2008.

[11] Fatiha Loucif et al, "Whale optimizer algorithm to tune PID controller for the trajectory tracking control of robot manipulator," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, pp. 1-11, 2020.

[12] Huỳnh Thái Hoàng, Hệ thống điều khiển thông minh, *NXB Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh*, trang 201, 2014.

[13] Marizan Sulaiman, Mohd Shahrieel Mohd Aras, "GUI Based Control System Analysis Using PID Controller for Education," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, pp. 91-101, 2016.

Ngày nhận bài: 06/11/2023

Ngày hoàn thành sửa bài: 10/12/2023

Ngày chấp nhận đăng: 13/12/2023