

NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG VAN ĐIỀU KHIỂN – BÌNH MỨC BẰNG BÙ MỜ PID

IMPROVING THE CONTROL QUALITY OF VALVE - LEVEL TANK SYSTEM BASED ON FUZZY PID CONTROL

Võ Khánh Thoại, Nguyễn Đức Quận

Trường Cao đẳng Công nghệ, Đại học Đà Nẵng

Tóm tắt - Hệ thống van - bình mức là đối tượng điều khiển quan trọng và phổ biến trong hệ điều khiển quá trình. Bài báo trình bày kết quả của việc áp dụng bộ điều khiển logic mờ lai PID (fuzzy PID controller) để điều khiển hệ thống van - bình mức khi hệ thống có tham số thay đổi với mục đích đáp ứng của hệ thống luôn bám theo quỹ đạo chuẩn. Ban đầu là việc thiết kế bộ điều khiển PID cho hệ thống. Khi hệ thống có tham số thay đổi: dải chết van điều khiển tăng lên, nhiễu lưu lượng vào, nhiễu tải... bộ điều khiển mờ lai PID được thiết kế để bù vào các tham số cho bộ PID. Kết quả mô phỏng trên Matlab – Simulink thể hiện đặc tính của bộ điều khiển PID có bù mờ đã thiết kế nâng cao được chất lượng điều khiển và đáp ứng tốt hơn so với bộ điều khiển PID kinh điển.

Từ khóa - van điều khiển; bình mức; dải chết; điều khiển quá trình; bộ điều khiển PID; điều khiển bù mờ.

1. Đặt vấn đề

Van điều khiển là cơ cấu chấp hành rất quan trọng và phổ biến trong hệ thống điều khiển quá trình [1], [9] cho phép điều chỉnh lưu lượng lưu chất qua các đường ống dẫn. Van điều khiển thông thường có độ chính xác không cao, có thể sai số vị trí tới 5% do: dải chết (deadband), dải giữ (stickband) đại diện cho hành vi của van khi nó không di chuyển, mặc dù đầu vào van tiếp tục thay đổi, trượt nhảy (slip-jump) do sự giải phóng thể năng được dự trữ trong khoảng ma sát tĩnh còn lớn giữ van không di chuyển, gây ra sự thay đổi đột ngột giá trị đầu ra van, do ma sát, áp suất lưu chất thay đổi cũng như do đặc tính phi tuyến của cơ chế chấp hành [1], [2], [3].

Đối với các phương pháp điều khiển kinh điển thì ta phải biết chính xác các thông số và kiểu của đối tượng cần điều khiển. Trường hợp thông số của đối tượng điều khiển thay đổi thì các phương pháp điều khiển kinh điển khó thực hiện. Để khắc phục được nhược điểm trên, điều khiển logic mờ sẽ là một giải pháp.

Bộ điều khiển mờ ra đời trên cơ sở ứng dụng logic mờ, là một bộ điều khiển thông minh, hiện đang đóng vai trò quan trọng trong các hệ thống điều khiển hiện đại, vì nó đáp ứng tốt các chỉ tiêu kỹ thuật, tính bền vững và ổn định cao, dễ thay đổi, dễ lập trình.

Bài báo này trình bày kết quả của phương án bù mờ PID cho hệ thống van điều khiển - bình mức có dải chết van thay đổi, nhiễu lưu lượng lưu chất đầu vào và nhiễu tải đầu ra.

2. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

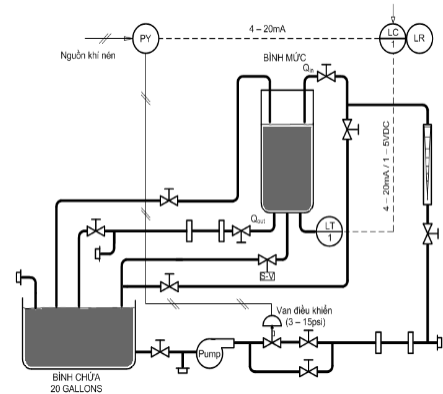
2.1. Hệ thống quá trình mức

Hệ thống gồm bình mức hình trụ với chiều cao 92cm, đường kính đáy 20cm, cảm biến mức đo theo kiểu chênh áp suất, bình chứa và bơm để cung cấp lưu chất vào, van

Abstract - Control valve - level tank system is an important and popular controlled object in the process control system. This paper presents the design of a new fuzzy logic PID hybrid controller to control valve - level tank system when it has parameter changes for the purpose of the system response of always following standard trajectory. PID controller is developed by first describing the continuous-time linear PID control law. When system parameters change: dead band control valve increases; there appear flow noise and loading interference... Therefore, PID hybrid fuzzy controller is designed to compensate for the PID parameters. The simulation results in Matlab - Simulink show that the new PID controller with offset dim improves control quality and responds better than the classical PID controller.

Key words - control valve; level tank; deadband; process control system; PID controller; Fuzzy PID controller.

điều khiển, thiết bị chuyển đổi dòng điện thành áp suất, van tay, hệ thống đường ống tròn với đường kính trung bình 2cm (Hình 1). Bài toán đặt ra là điều khiển van để điều chỉnh lưu lượng chất lỏng (nước, dầu, lưu chất...), để cho độ cao chất lỏng trong bình mức luôn ổn định, không đổi hoặc theo một điểm đặt trước để đảm bảo cung cấp chính xác lượng chất lỏng cho các quá trình công nghiệp như sản xuất thuốc, chưng cất, tinh luyện... cho dù hệ thống có tham số thay đổi.



Hình 1. Hệ thống quá trình mức chất lỏng

Theo [8] ta có phương trình động học của bình mức chất lỏng:

$$\dot{h} = \frac{1}{A}(q_i - K_v \sqrt{gh})$$

trong đó:

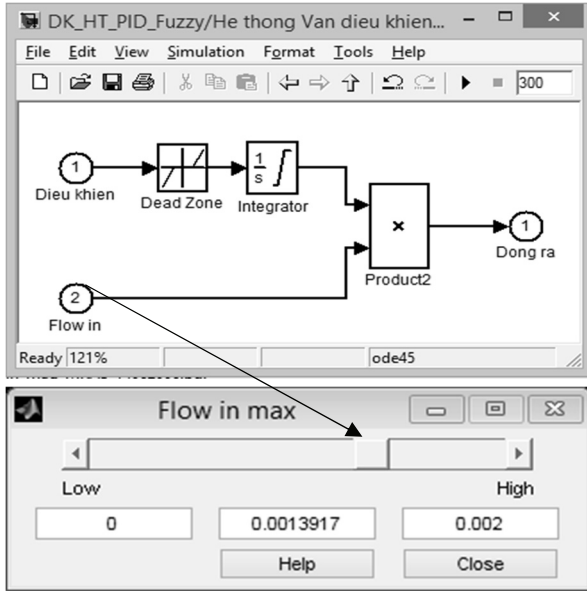
K_v : hệ số lưu lượng qua van;

q_i : lưu lượng vào bình chứa [m^3/s];

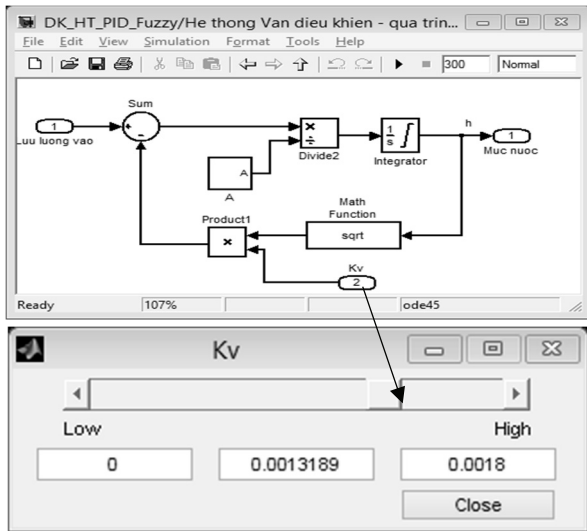
A : diện tích cắt ngang bình chứa [m^2];

h : đạo hàm chiều cao cột chất lỏng (mức) [m].

Lưu lượng chất lỏng qua van như một khâu tích phân 1/s và phụ thuộc vào hệ số mở van Kv. Tuy nhiên, khi dài chết van tăng, mặc dù đã có tín hiệu điều khiển đủ lớn nhưng van không mở, do đó trên Simulink [7] ta thêm vào một khâu Dead Zone, do đó Van điều khiển được mô hình hóa trên như Hình 2 còn Bình mức thể hiện trên Hình 3.



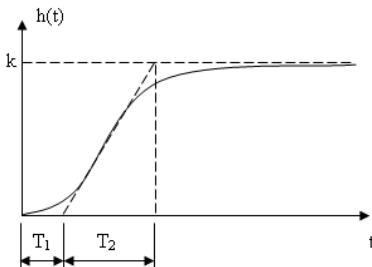
Hình 2. Mô hình hóa van điều khiển



Hình 3. Mô hình hóa bình mức trên Simulink

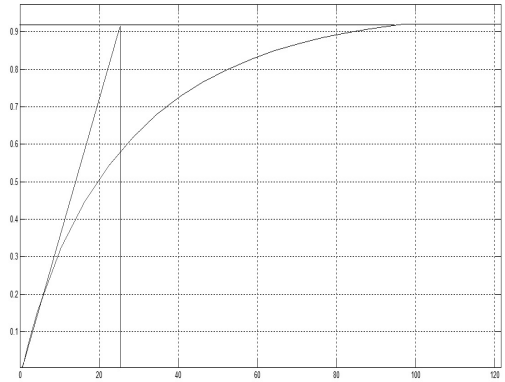
2.2. Bộ điều khiển PID

Phương pháp Ziegler-Nichols thứ nhất [6] áp dụng cho các đối tượng có đáp ứng đối với tín hiệu vào là hàm nấc có dạng chữ S Hình 4.



Hình 4. Đáp ứng nấc của hệ hờ có dạng S

Sử dụng mô hình này cho hệ thống ta thu được đáp ứng như Hình 5.



Hình 5. Đáp ứng quá độ của hệ thống

Dựa vào đáp ứng quá độ như Hình 5 ta có được $k = 0,92$; $T_1=0,5$; $T_2 = 24$. Vì trong bản thân đối tượng đã có khâu tích phân nên trong bộ điều khiển không cần phải có thêm khâu tích phân mới triệt tiêu sai lệch tĩnh. Do đó, chọn bộ điều khiển P và PID với các tham số như trong Bảng 1.

Thông số	k_p	T_1	T_D
BDK			
P	52,1739	-	-
PID	62,6087	1,4000	0,3500

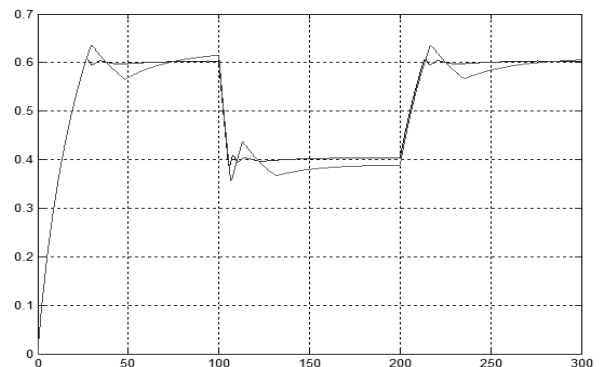
Bảng 1. Các tham số PID điều khiển quá trình

2.3. Sự cần thiết phải dùng bộ điều khiển mờ

Với bộ điều khiển PID đã thiết kế, mức trong bình đạt đúng yêu cầu đặt ra, hệ thống hoạt động ổn định. Tuy nhiên trong quá trình hoạt động, thông số van điều khiển của hệ thống có thể thay đổi (như đã nêu ở Mục 1), các tham số của bộ PID đã thiết kế không còn chính xác nữa.

Nhìn vào đáp ứng của hệ thống (Hình 6), ta thấy khi dài chết của van tăng lên đáp ứng có độ vọt lố tăng, sai số cũng tăng lên, đáp ứng chậm. Do vậy ta cần hiệu chỉnh các thông số của bộ điều khiển PID để điều chỉnh vị trí van phù hợp nhằm nâng cao chất lượng điều khiển hệ thống, đáp ứng các nhu cầu cao về yêu cầu kỹ thuật, công nghệ.

Phương pháp điều khiển được đề xuất là dùng bộ điều khiển bù mờ PID (mờ lai PID).



Hình 6. Đáp ứng so sánh khi có dài chết tăng

2.4. Hệ điều khiển mờ lai PID

Logic mờ (Fuzzy logic) là dựa trên thông tin không được đầy đủ hoặc không chính xác, con người suy luận đưa ra cách xử lý và điều khiển chính xác hệ thống phức tạp hoặc đối tượng mà trước đây chưa giải quyết được.

Điều khiển mờ sử dụng kinh nghiệm vận hành đối tượng và các xử lý điều khiển của các chuyên gia trong thuật toán điều khiển, do vậy hệ điều khiển mờ là một bước tiến gần hơn tới tư duy của con người. Đồng thời khi hệ thống có tham số thay đổi, không xác định chính xác thì điều khiển mờ là một sự lựa chọn.

Hệ điều khiển mờ lai (Fuzzy- hybrid) là một hệ thống điều khiển tự động, trong đó thiết bị điều khiển bao gồm hai thành phần:

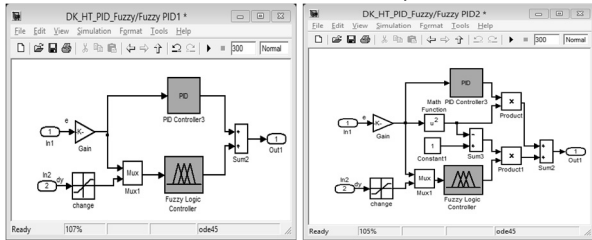
- Thiết bị điều khiển rõ (thường là bộ điều khiển PID kinh điển);
- Thiết bị điều khiển mờ (Fuzzy Control).

2.4.1. Bộ điều khiển mờ PID kiểu cascade dạng 1

Cấu trúc bộ điều khiển được biểu diễn như Hình 7a.

Thuật toán của bộ điều khiển mờ PID dạng 1 [4] là:

$$u_{dk} = u_{PID} + u_{Fuzzy}$$



a. Dạng 1

b. Dạng 2

Hình 7. Cấu trúc hệ mờ lai cascade

2.4.2. Bộ điều khiển mờ PID kiểu cascade dạng 2

Cấu trúc bộ điều khiển được biểu diễn như Hình 7b, trong đó các đại lượng đầu vào của hệ mờ là tín hiệu sai lệch e , đạo hàm của tín hiệu ra dy/dt . Thuật toán của bộ điều khiển mờ PID dạng 2 [11] là:

$$u_{dk} = f(e).u_{PID} + [1-f(e)].u_{Fuzzy}$$

Trong đó $f(e)$ được chọn là hàm u^2 bình phương theo sai lệch ($0 \leq f(e) \leq 1$), nếu sai lệch càng đến 1 thì PID làm việc chính, còn $f(e)$ càng nhỏ thì Fuzzy làm việc chính.

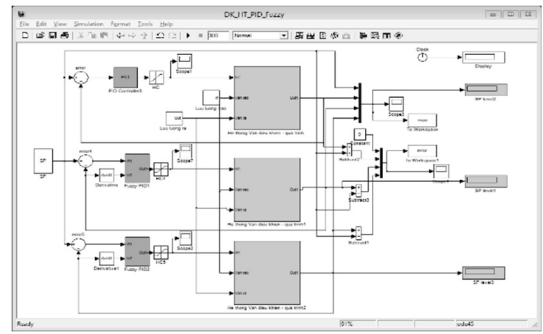
3. Kết quả mô phỏng hệ thống và nhận xét

3.1. Mô hình hóa hệ thống

Từ những yêu cầu đặt ra và các thông số ban đầu, tiến hành mô hình hóa trên Simulink như Hình 8.

3.1.1. Xác định tập mờ

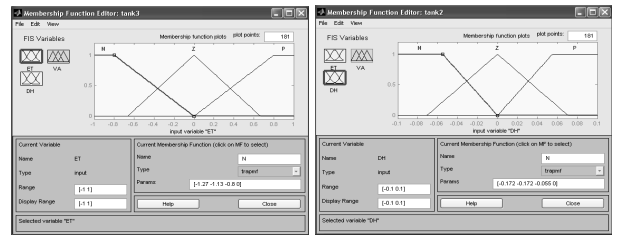
Bộ điều khiển mờ gồm hai đầu vào sai lệch ET, đạo hàm DH và một đầu ra VA. Sai lệch ET được chọn trong miền giá trị $[-1;+1]$; đạo hàm DH theo mức được chọn trong miền giá trị $[-0,1;+0,1]$; đầu ra VA có miền giá trị trong khoảng $[-1;+1]$.



Hình 8. Mô hình hóa hệ thống khi dùng bù mờ

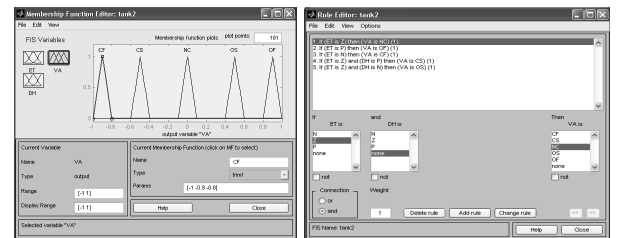
3.1.2. Xác định hàm liên thuộc

- Các đầu vào ET, DH, đầu ra VA cũng như luật điều khiển thể hiện trên Hình 9.



a. Đầu vào ET

b. Đầu vào DH



c. Đầu ra VA

d. Luật điều khiển

Hình 9. Các hàm liên thuộc và luật điều khiển

3.1.3. Xây dựng các luật điều khiển (Hình 11d)

Dựa vào bản chất vật lý, kinh nghiệm và dựa vào đặc tính quá độ thường gặp của hệ thống điều khiển dùng PID, xây dựng luật điều khiển như sau:

Nếu ET là không **thì** VA không đổi;

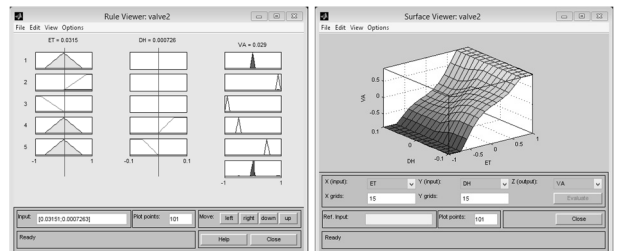
Nếu ET là dương **thì** VA mở nhanh;

Nếu ET là âm **thì** VA đóng nhanh;

Nếu ET là không **và** DH là dương **thì** VA đóng chậm;

Nếu ET là không **và** DH là âm **thì** VA mở chậm.

Luật điều khiển và mô tả bề mặt quan hệ giữa các đầu vào và ra của bộ điều khiển mờ thể hiện trên Hình 10.



a. Luật điều khiển

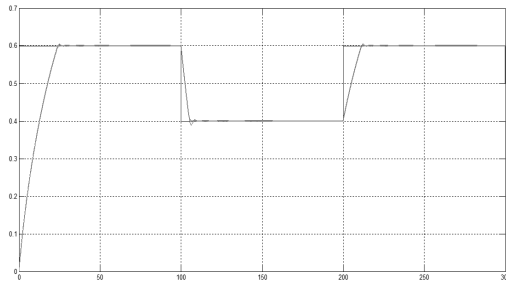
b. Bề mặt bộ điều khiển

Hình 10. Luật điều khiển và bề mặt bộ điều khiển mờ

3.2. Kết quả mô phỏng hệ thống và nhận xét

3.2.1. Trường hợp chưa có dải chết

Hình 11 là kết quả so sánh đáp ứng của hệ thống khi dùng PID và dùng logic mờ trong trường hợp chưa có sự thay đổi về dải chết. Tín hiệu đặt đầu vào thay đổi từ 0 lên 60cm, sau đó xuống 40cm và sau đó lên lại 60cm. Cả ba đường đáp ứng khi dùng PID, PID bù mờ dạng 1, PID bù mờ dạng 2 chồng khít nhau, điều này chứng tỏ là cả PID và PID bù mờ đều cho đáp ứng của hệ thống tốt, sai số rất nhỏ khoảng 1,0 -2,0mm, sai số xác lập gần tiến đến 0, mức nước ở bình bám mức đặt tốt.



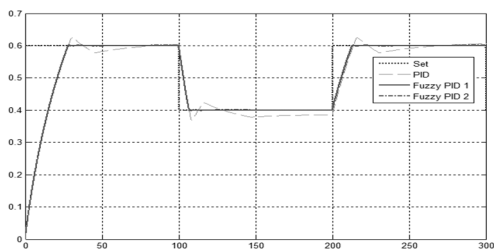
Hình 11. Đáp ứng hệ thống dùng bộ điều khiển PID và PID bù mờ (hệ lý tưởng)

3.2.2. Trường hợp dải chết tăng lên

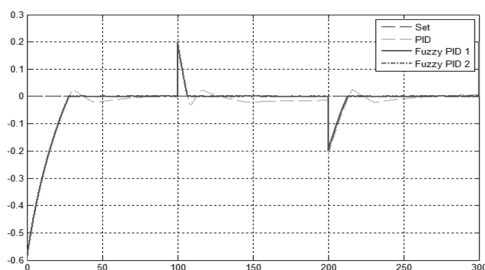
Giả sử dải chết của van có giá trị $(-0.5 \div 0.5)$, ta tiếp tục xem xét đáp ứng của hệ thống.

Khi hệ thống có thay đổi về dải chết, bộ điều khiển chỉ dùng PID cũng cho đáp ứng tốt (Hình 12), tuy nhiên sai số đã tăng lên.

Khi có sử dụng bộ bù mờ PID, mức nước trong bình bám theo mức đặt tốt hơn, sai số nhỏ hơn, fuzzy 1: 3,0mm, fuzzy 2: 0,5mm, PID 7,0 - 8,0mm (Hình 13), do đó chất lượng điều khiển của hệ thống khi sử dụng bộ bù mờ PID tốt hơn khi chỉ sử dụng PID. Các bộ điều khiển bù mờ đã thiết kế đều hoạt động ổn định.



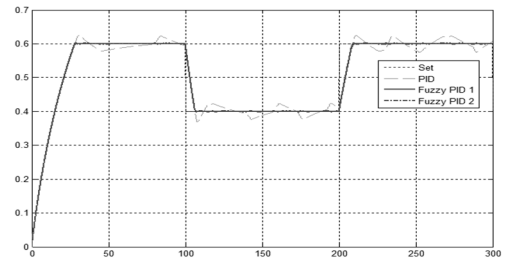
Hình 12. Đáp ứng hệ thống dùng bộ điều khiển mờ PID (dải chết tăng)



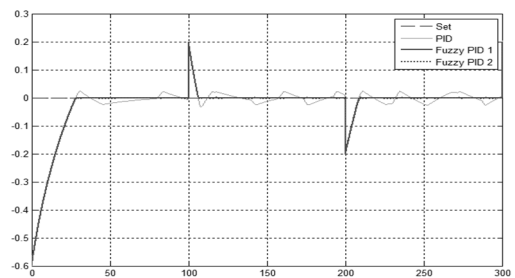
Hình 13. Sai số hệ thống dùng bộ điều khiển mờ PID (dải chết tăng)

3.2.3. Trường hợp vừa thay đổi dải chết, nhiễu tải

Khi dải chết tăng lên $(-0.5 \div 0.5)$, đồng thời cho nhiễu tải (van xả bình ở đầu ra) bằng cách thay đổi hệ số K_v được mô tả bằng thanh trượt ngẫu nhiên có giá trị từ 0 – 0.0018 ở các thời điểm bất kỳ... đưa vào hệ thống như Hình 3, ta có đáp ứng ở Hình 14 và Hình 15.

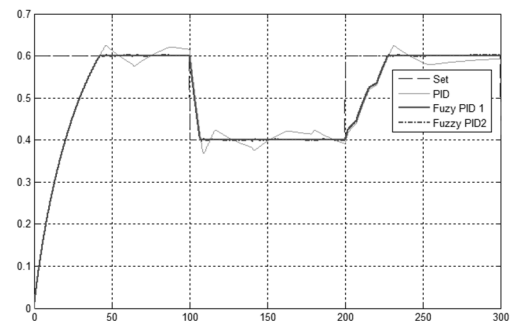


Hình 14. Đáp ứng hệ thống dùng bộ điều khiển mờ PID (có dải chết tăng và nhiễu tải)

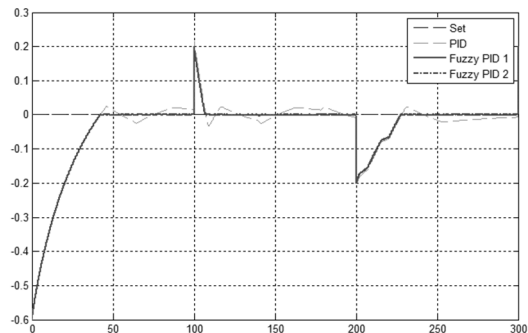


Hình 15. Sai số hệ thống dùng bộ điều khiển mờ PID (khi dải chết tăng và nhiễu tải)

3.2.4. Trường hợp vừa thay đổi dải chết, nhiễu đầu vào



Hình 16. Đáp ứng hệ thống dùng bộ điều khiển mờ PID (có dải chết tăng và nhiễu lưu lượng vào)



Hình 17. Sai số hệ thống dùng bộ điều khiển mờ PID (có dải chết tăng và nhiễu lưu lượng vào)

Khi dải chết tăng lên, đồng thời cho nhiều đầu vào (nhiều lưu lượng lưu chất cung cấp) được mô tả bằng thanh trượt ngẫu nhiên có giá trị từ 0 – 0.002 ở các thời điểm bất kỳ... đưa vào hệ thống như Hình 2, ta có đáp ứng ở Hình 16 và Hình 17. Rõ ràng là khi lưu lượng đầu vào thay đổi ngẫu nhiên, sai số trong đáp ứng mức trong bình đã tăng lên rất nhiều, tuy nhiên bộ PID có bù mờ vẫn đạt các chỉ tiêu về mặt chất lượng hơn chỉ dùng PID.

4. Kết luận

Phương án sử dụng phương pháp bù mờ PID đã khắc phục được nhược điểm của bộ điều khiển kinh điển, đó là khả năng ổn định bền vững trước sự thay đổi của các tham số: dải chết của van điều khiển, van xả đầu ra, lưu lượng lưu chất ở đầu vào... Bộ điều khiển bù mờ PID đã thiết kế hoạt động hiệu quả. Sự kết hợp giữa bộ điều khiển truyền thống kinh điển và bộ điều khiển thông minh tạo ra các bộ điều khiển lai mang lại những kết quả thuận lợi, nâng cao được chất lượng điều khiển hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bùi Quốc Khánh, Phạm Quang Đăng, Nguyễn Huy Phương, Vũ Thụy Nguyên (2014), *Điều khiển quá trình*, NXB Khoa học và Kỹ

thuật, Hà Nội.

- [2] Lương Thị Thanh Xuân (2011), *Nghiên cứu, khắc phục ảnh hưởng của van điều khiển trong hệ thống điều khiển quá trình*, Luận văn Thạc sĩ Kỹ thuật, Đại học Thái Nguyên, 2011.
- [3] Nghiêm Thị Hưng (2011), *Nghiên cứu nâng cao chất lượng mạch vòng điều khiển lưu lượng*, Luận văn Thạc sĩ Kỹ thuật, Đại học Thái Nguyên, 2011.
- [4] Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh (1999), *Lý thuyết điều khiển mờ*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [5] Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh (2005), *Nhận dạng hệ thống điều khiển*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [6] Nguyễn Doãn Phước (2002), *Lý thuyết điều khiển tuyến tính*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [7] Nguyễn Phùng Quang (2006), *Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [8] Võ Khánh Thoại (2013), “Ứng dụng mạng nơ-ron điều khiển quá trình lưu lượng chất lỏng hệ bình mức” Tạp chí KH & CN Đại học Đà Nẵng, số 5(66)/2013.
- [9] Control Valve handbook, Emerson Fourth Edition (2005).
- [10] Donald R.Coughanowr, *Process Systems Analysis and Control*, Mc Graw-Hill International Editions.
- [11] Isin Erenoglu, Ibrahim Eksin, Engin Yesil, Mujde Guzelkaya (2006) “An Intelligent Hibrid Fuzzy PID Controller”.
- [12] <http://www.labvolt.com/products/instrumentation-and-process-control/>

(BBT nhận bài: 08/10/2016, phân biện xong: 01/11/2016)