

TỐI ƯU HỆ ĐIỀU KHIỂN MỨC CHẤT LỎNG CÔNG NGHIỆP VỚI BỘ ĐIỀU KHIỂN FUZZY LOGIC

Lâm Thiện Tín, Nguyễn Chánh Nghiệm và Võ Minh Trí

Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 22/05/2017

Ngày nhận bài sửa: 23/06/2017

Ngày duyệt đăng: 29/11/2017

Title:

Optimize Industrial Liquid Level Control System with Fuzzy Logic Controller

Từ khóa:

Bộ điều khiển mờ, bộ điều khiển PID, hệ điều khiển mức chất lỏng công nghiệp, một ngõ vào-một ngõ ra (SISO), van điều khiển điện-khí nén

Keywords:

Fuzzy logic controller(FLC), PID controller, industrial liquid level control system, single input-single output (SISO), actuator control valve

ABSTRACT

The article presents a method of establishing and optimizing the industrial liquid level control system with fuzzy logic controller. Based on actual operating characteristics of the system indicate that it has a nonlinearity, strong inertia and high delay within operation, the fuzzy logic controller is designed and modified appropriately to ensure effectiveness of control system. Experiments on industrial liquid level control system model indicate efficiency of fuzzy logic controller, based on the evaluation of quality criteria on rising times, settling times, steady-state errors and minimum power consumption during continuous operation. Besides, the system stability is verified by quick response ability, precision and stability according to reference signal under change of disturbances on the control system.

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp thiết lập và tối ưu hệ điều khiển mức chất lỏng công nghiệp với bộ điều khiển mờ. Trên cơ sở các đặc tính vận hành thực tế của hệ thống cho thấy hệ thống có tính chất phi tuyến, độ quán tính lớn và độ trễ khi vận hành, bộ điều khiển mờ được thiết kế và tinh chỉnh một cách phù hợp nhằm đảm bảo hiệu quả điều khiển. Kết quả thực nghiệm trên mô hình hệ điều khiển mức chất lỏng công nghiệp cho thấy hiệu quả của bộ điều khiển mờ, dựa trên việc đánh giá các chỉ tiêu chất lượng về thời gian tăng, thời gian đáp ứng, sai số xác lập và mức năng lượng tiêu hao tối thiểu trong thời gian vận hành liên tục. Ngoài ra, sự ổn định của hệ thống được kiểm chứng qua khả năng đáp ứng nhanh, chính xác, ổn định theo tín hiệu điều khiển dưới sự thay đổi của nhiễu vào hệ thống.

Trích dẫn: Lâm Thiện Tín, Nguyễn Chánh Nghiệm và Võ Minh Trí, 2017. Tối ưu hệ điều khiển mức chất lỏng công nghiệp với bộ điều khiển Fuzzy Logic. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 53a: 1-12.

1 GIỚI THIỆU

Trong các ứng dụng tự động hóa quá trình, hệ điều khiển mức chất lỏng có nhiều ứng dụng sâu rộng trong lĩnh vực sản xuất công nghiệp nói chung, đặc biệt là trong ngành công nghiệp lọc hóa dầu hay trong lĩnh vực sản xuất dược phẩm. Tùy theo lĩnh vực ứng dụng và chỉ tiêu chất lượng điều khiển mà hệ điều khiển mức chất lỏng có cấu tạo từ

đơn giản đến phức tạp, tuy nhiên cấu trúc của hệ thống đều dựa trên 3 thành phần chính là bộ phận điều khiển, cơ cấu chấp hành và thiết bị đo đạc.

Do tính ứng dụng mạnh, đã có nhiều đề tài nghiên cứu về mô hình toán và phát triển các giải thuật điều khiển cho hệ điều khiển mức chất lỏng. Có thể kể đến là nghiên cứu nhận dạng hệ ổn định mức chất lỏng RT010 của hãng Gunt- Hamburg dựa trên mô hình hộp xám bằng Toolbox nhận

dạng của phần mềm MATLAB (Nguyễn Minh Hải and Nguyễn Chí Ngôn, 2013) kết quả cho thấy độ khớp của mô hình nhận dạng đạt trên 80% so với hệ thống thực. Hệ điều khiển mực chất lỏng có đặc tính phức tạp về độ phi tuyến, mức độ quán tính lớn và độ trễ khi vận hành, do đó việc sử dụng bộ điều khiển PID (Proportional Integral controller) với thể mạnh về cấu trúc đơn giản, khả năng điều khiển hiệu quả và đáng tin cậy (Kanagaraj N. *et al.*, 2008) chưa đáp ứng được mong đợi về hiệu quả điều khiển. Việc ứng dụng các giải thuật điều khiển khác để nâng cao chất lượng điều khiển đã được phát triển như giải thuật điều khiển mực chất lỏng bằng việc sử dụng bộ điều khiển mờ làm nhiệm vụ tinh chỉnh các thông số cho bộ điều khiển PID (gọi tắt là bộ điều khiển PID lai), quá trình tinh chỉnh được thực hiện thông qua việc áp dụng giải thuật di truyền để tối ưu thông số bộ điều khiển (Huaizhong, 2012) kết quả mô phỏng bằng công cụ MATLAB/Simulink cho thấy hiệu quả của bộ điều khiển PID lai làm tăng độ ổn định, giảm sai số xác lập của hệ thống so với bộ điều khiển PID. Tuy nhiên, quá trình huấn luyện và tinh chỉnh bộ điều khiển thông qua giải thuật di truyền (gọi tắt là kỹ thuật tinh chỉnh off-line) mất khá nhiều thời gian (Singh R. and I. Sen, 2004). Hay phương pháp tìm kiếm giá trị tối ưu của bộ điều khiển PID bằng giải thuật di truyền, thỏa mãn các hàm mục tiêu IAE, ITAE và MSE, dựa trên các giá trị khởi điểm xác định bởi giải thuật Ziegler-Nichols (Nguyễn Chí Ngôn, 2008). Ưu điểm của phương pháp này là xác định được bộ điều khiển tối ưu mà không cần quan tâm đến mô hình toán của đối tượng, tuy nhiên quá trình xác định các hàm mục tiêu bằng giải thuật di truyền đòi hỏi rất nhiều thời gian.

Trong kỹ thuật điều khiển, bộ điều khiển mờ được biết đến như là một giải pháp thay thế bộ điều khiển PID truyền thống với lợi thế về khả năng cho phép tinh chỉnh bộ điều khiển dựa trên sự am hiểu về đặc tính vận hành thực tế của hệ thống mà không cần xác định mô hình toán của đối tượng điều khiển (Er M.J. and Y.L. Sun, 2001); ưu điểm này hết sức hữu ích trong các trường hợp mà đối tượng điều khiển phức tạp, việc xác định mô hình toán là hết sức khó khăn.

Bên cạnh đó, quá trình kiểm chứng chất lượng của bộ điều khiển trên các mô hình thực nghiệm là điều kiện bắt buộc trước khi đưa vào áp dụng thực tế. Tuy nhiên, các nghiên cứu khoa học phục vụ cho yêu cầu này chưa được quan tâm nhiều.

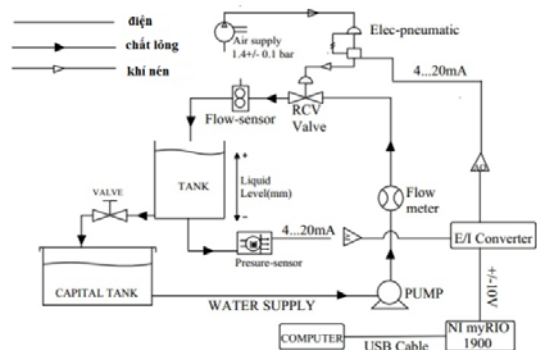
Để đáp ứng yêu cầu đó, trong nghiên cứu này sẽ trình bày cấu trúc của mô hình hệ điều khiển mực chất lỏng công nghiệp dạng bồn đơn (SISO)

sử dụng van điều khiển điện - khí nén (Actuator Control Valve) là loại van cấp chất lỏng tiêu biểu được sử dụng phổ biến trong công nghiệp (Fisher, 2005) và kết quả thực nghiệm của việc áp dụng bộ điều khiển mờ với hiệu quả điều khiển thuyết phục về thời gian tăng, thời gian đáp ứng, sai số xác lập và độ ổn định của hệ thống.

2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

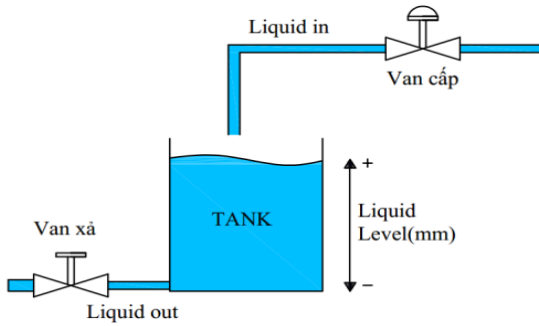
2.1 Mô hình thực nghiệm và sơ đồ điều khiển hệ ổn định mực chất lỏng công nghiệp

Trong hệ điều khiển mực chất lỏng công nghiệp dạng bồn đơn, một ngõ vào - một ngõ ra (SISO) sử dụng các thiết bị được cho trong Bảng 1, thì đặc tính của van cấp chất lỏng ở ngõ vào giữ vai trò quyết định đặc tính của hệ thống (Hoàng Minh Sơn, 2009). Loại van cấp tiêu biểu sử dụng trong hệ thống là van điều khiển điện-khí nén (Actuator Control Valve), ngoài những ưu điểm về hiệu suất sử dụng, khả năng vận hành liên tục, độ tin cậy và độ bền thì cũng tồn tại các nhược điểm về tốc độ đáp ứng, độ trễ trong quá trình đóng mở van hay các vấn đề về ma sát (Fisher, 2005). Các đặc tính đó kết hợp với tính phi tuyến của hệ bồn đơn SISO làm cho mô hình thực nghiệm có tính chất phi tuyến, độ quán tính lớn và độ trễ khi vận hành.



Hình 1: Mô hình hệ điều khiển mực chất lỏng công nghiệp

Trong hệ thống, lưu lượng tiêu thụ (tác động nhiễu) được điều chỉnh bằng độ đóng/mở của Valve xả $Z = [0; 100\%]$; điện áp điều khiển $U = [-10 \div 10V]$ dùng để thay đổi lưu lượng cấp ở ngõ vào thông qua độ đóng mở của Valve cấp; công suất bơm được cố định ở mức $P_{pump} = 70\%$. Chiều cao mực nước của bồn nhận về thông qua cảm biến áp suất với mức tín hiệu $Y = [4 \div 20mA]$. Mô hình hệ ổn định mực chất lỏng công nghiệp dạng bồn đơn (SISO) được cho như Hình 1.



Hình 2: Mô hình hệ bồn đơn (SISO)

Trong đó, cấu trúc của hệ bồn đơn được cho như Hình 2, quá trình thay đổi chiều cao cột nước trong bồn ở một thời điểm phụ thuộc vào lưu lượng nước cấp vào và lưu lượng nước tiêu thụ của van xả ở thời điểm đó, theo phương trình (1):

$$A \frac{dH}{dt} = Q_{in} - Q_{out} = C_{in} \cdot b - C_{out} \cdot a \cdot \sqrt{H} \quad (1)$$

Trong đó:

$A(m^2)$ là tiết diện ngang của bồn; $H(m)$ là chiều cao cột nước; $Q_{in}(m^3/s)$ là lưu lượng nước vào bồn; $Q_{out}(m^3/s)$ là lưu lượng nước ra khỏi bồn; $C_{in}(\%)$ độ mở của van cấp; b là hằng số liên quan đến lưu lượng nước vào bồn; $C_{out}(\%)$ độ mở của van xả, a là hằng số liên quan đến lưu lượng nước ra khỏi bồn.

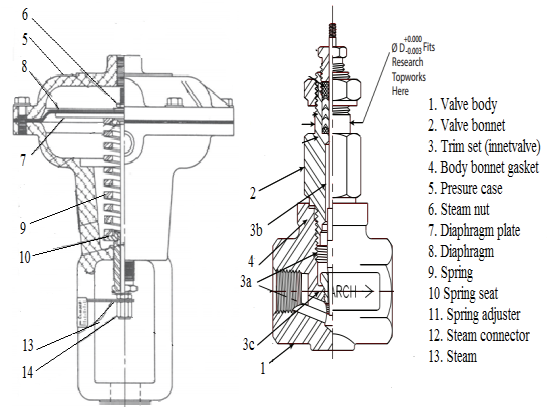
Bảng 1: Danh sách các thiết bị chính của hệ SISO

Stt	Tên thiết bị	Đặc tính kỹ thuật chung	Nhà sản xuất
1	NI myRIO-1900	Sample rate: $500kS/s$ Resolution: 12bits	National Instrument
2	U/I converter	$\pm 10V \leftrightarrow 4 \div 20mA$	
3	I/P converter	Input: $4 \div 20mA$ Range: $3 \div 15 psi$	Samson
4	Actuator Control Valve	Air-to-close Standard: $3 \div 15 psi$	Badger Meter
5	Differential Pressure Transmitters	Range: $6 \div 600mbar$ Output: $4 \div 20mA$	Siemens

2.2 Sơ lược về van điều khiển điện-khí nén

Van điều khiển điện-khí nén (Actuator Control Valve) được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp, có chức năng điều khiển lưu lượng chất lỏng theo yêu cầu sử dụng. Loại Van điện-khí nén được sử dụng trong thí nghiệm là loại Air-to-close có áp suất vận hành $P = 1,4 \pm 0,1bar$, tín hiệu điều khiển $I = 4 \div 20mA$. Actuator Control Valve bao gồm 2 bộ phận chính: Actuator và Control Valve được liên kết cứng với nhau, trụ van dịch chuyển tịnh tiến theo phương thẳng đứng để thay đổi lưu lượng.

Sơ đồ cấu tạo của actuator bao gồm: Một buồng khí được tạo bởi màng chắn gắn liền với lò xo và trụ van đóng mở theo phương dọc trục dưới tác động của áp suất khí (Hình 3).

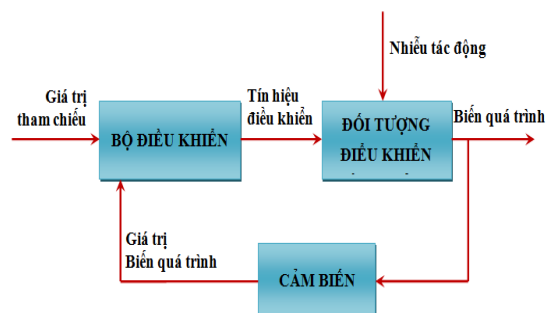


Hình 3: Sơ đồ cấu tạo Actuator Control Valve

Actuator Control Valve là lựa chọn tối ưu cho các quá trình điều khiển lưu lượng trong công nghiệp, đảm bảo hiệu suất vận hành liên tục, độ tin cậy và độ bền cao (Fisher, 2005).

2.3 Giải thuật điều khiển vòng kín của hệ ổn định mực chất lỏng công nghiệp

Sơ đồ điều khiển vòng kín của Hệ thống điều khiển mực chất lỏng, như Hình 4.



Hình 4: Sơ đồ hệ thống điều khiển vòng kín

Bộ điều khiển vòng kín được biết đến như bộ điều khiển với cơ chế phản hồi (feedback) có sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển công nghiệp, bộ điều khiển tính toán sai số giữa tín hiệu yêu cầu và tín hiệu thực tế để điều chỉnh về giá trị nhỏ nhất có thể. Các giải thuật của bộ điều khiển được đề xuất cho mô hình hệ điều khiển mực chất lỏng công nghiệp như sau:

- Bộ điều khiển PI
- Bộ điều khiển PID
- Bộ điều khiển mờ

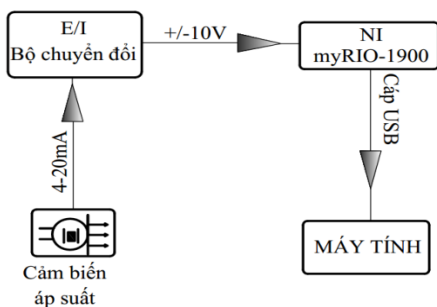
Trong 3 giải thuật điều khiển đã nêu, thì bộ điều khiển PI và PID được coi là giải thuật điều khiển hữu ích được sử dụng phổ biến, đặc biệt đối với các hệ điều khiển tuyến tính, với lợi thế về thời gian đáp ứng nhanh, bộ điều khiển đơn giản và chính xác (Johnson and Moradi, 2005).

Việc xác định giá trị bộ thông số $[K_p, K_i, K_d]$ của bộ điều khiển PI và PID, dựa trên việc nhiều phương pháp như: Manual tuning, Ziegler-Nichols, Cohen-Coon (D.V.L.N.Sastry *et al.*, 2014). Song song đó, bộ điều khiển mờ nổi lên như một phương pháp điều khiển thông minh, được phát triển dựa trên sự am hiểu về đặc tính vận hành của hệ thống, ngày càng phát huy hiệu quả về thời gian đáp ứng, độ ổn định, tin cậy của hệ thống điều khiển (Heidar and Chukwuma, 2000).

Hướng tác động của bộ điều khiển (Control Action Direction) là hướng thay đổi tín hiệu ngõ ra trước sự thay đổi của biến quá trình được điều khiển. Trong mô hình thực nghiệm này, bộ điều khiển (Controller) được thiết kế có hướng tác động nghịch (reverse) với chiều thay đổi của biến quá trình được điều khiển.

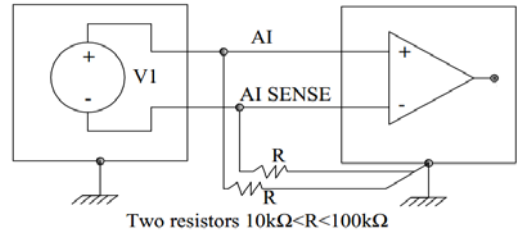
2.4 Thu thập và xử lý tín hiệu hệ thống

Tín hiệu analog từ cảm biến áp suất Differential Pressure Transmitter (DPT) được thu thập thông qua bộ chuyển đổi tín hiệu E/I_convert, trước khi đưa vào bộ điều khiển thông qua board NI myRIO-1900 (Hình 5).



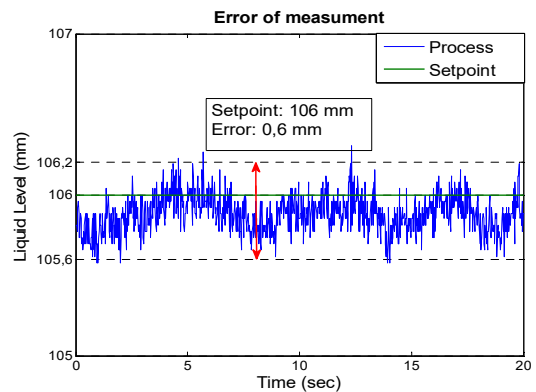
Hình 5: Sơ đồ thu thập tín hiệu

Trong kỹ thuật điều khiển vòng kín thì sai số của tín hiệu đọc về ảnh hưởng lớn đến chất lượng điều khiển của hệ thống. Việc nâng cao độ chính xác trong quá trình thu thập dữ liệu được tiến hành song song với quá trình xác định nguyên nhân gây sai số cũng như nguồn gây nhiễu tín hiệu. Việc xác định sai số cũng làm cơ sở cho quá trình xác định độ chính xác và tính tin cậy của hệ thống điều khiển tự động.



Hình 6: Floating Signal Source with DIFF Analog Input

Trong nghiên cứu này, kỹ thuật NRDIFF input Configuration (National Instruments, 2016) được áp dụng để thu thập tín hiệu từ cảm biến (Hình 6), nhằm hạn chế tác động từ các nguồn gây nhiễu, giảm đáng kể sai số của phép đo cho hệ thống điều khiển. Kết quả sai số của phép đo giảm đáng kể, cột áp tĩnh có giá trị dao động lớn nhất trong khoảng $e_{max} = 0,6mm$ (Hình7).



Hình 7: Sai số phép đo

2.5 Bộ điều khiển PI

Bộ điều khiển PI được thực hiện bởi tác giả (Johnson and Moradi, 2005):

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) \right),$$

$$e(t) = X_{pV}(t) - X_{SP}(t)$$

với

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (2) \quad \text{Trong đó:}$$

T_i là thời hằng tích phân, K_p và K_i lần lượt là độ lợi tỉ lệ và độ lợi tích phân của bộ điều khiển PI. Nhiệm vụ của người thiết kế là chọn lựa và tinh chỉnh bộ giá trị $[K_p, K_i]$ thỏa mãn các yêu cầu về chất lượng điều khiển. Các thông số độ lợi K_p và K_i ảnh hưởng đến thời gian tăng (rise time), độ vọt lố (overshoot) và thời gian xác lập (settling time) đáp ứng của hệ thống (Nguyễn Chí Ngôn, 2011) (Bảng 2).

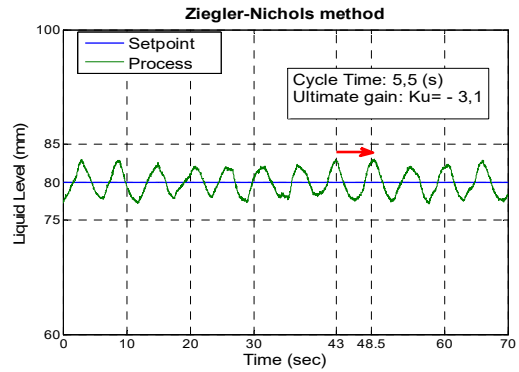
Bảng 2: Ảnh hưởng của việc tăng các thông số độ lợi của bộ điều khiển PI

Độ lợi	Thời gian tăng	Độ vọt lố	Thời gian xác lập	Sai số xác lập
K_p	Giảm	Tăng	Thay đổi ít	Giảm
K_i	Giảm	Tăng	Tăng	Triệt tiêu

2.6 Xác định thông số bộ điều khiển PI theo phương pháp Ziegler-Nichols

Ziegler và Nichols đã đề xuất hai phương pháp thực nghiệm dùng để xác định các thông số $[K_p, K_i]$ của bộ điều khiển PI (Ziegler J.G. and N.B. Nichols, 1942). Trong nghiên cứu này, bài báo sử dụng phương pháp Ziegler-Nichols dựa trên đáp ứng vòng kín để xác định thông số của bộ điều khiển, có thủ tục như sau:

- Xây dựng vòng hồi tiếp âm đơn vị, với bộ điều khiển tỉ lệ có độ lợi $K_p = -1$
- Tăng độ lợi K_p đến giá trị tối ưu K_u mà ở đó đáp ứng bắt đầu xuất hiện trạng thái dao động đều và tiến hành xác định chu kỳ dao động T_u của đáp ứng (Hình 8).



Hình 8: Ziegler-Nichols method

Các giá trị $[K_p, K_i]$ của bộ điều khiển PI xác định từ phương pháp Ziegler-Nichols được kiểm nghiệm và tinh chỉnh lại bằng thực nghiệm trên mô hình thực tế để đạt được chất lượng điều khiển về thời gian tăng, độ vọt lố và sai số xác lập (Bảng 3).

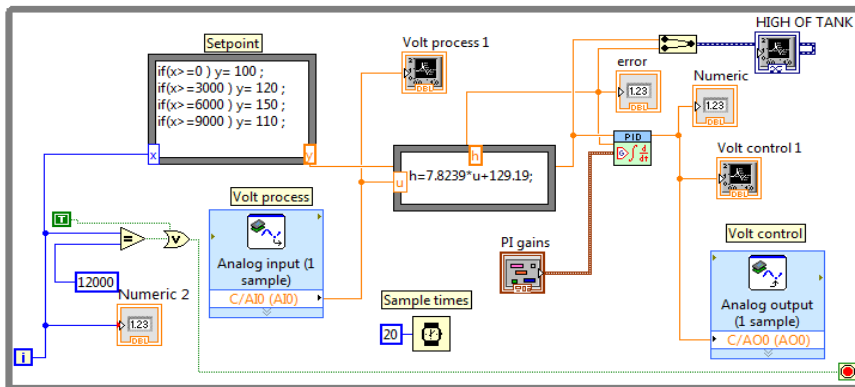
Bảng 3: Thông số bộ điều khiển PI_{modify}

PI	PI_{modify}
$K_p = 0,45 K_u$	$K_{p_modify} = -1,351$
$K_u = -3,1$	$K_p = -1,395$
$T_u = 5,5s$	$T_i = \frac{T_u}{1.2} = 4,583$
	$T_{i_modify} = 4,166$

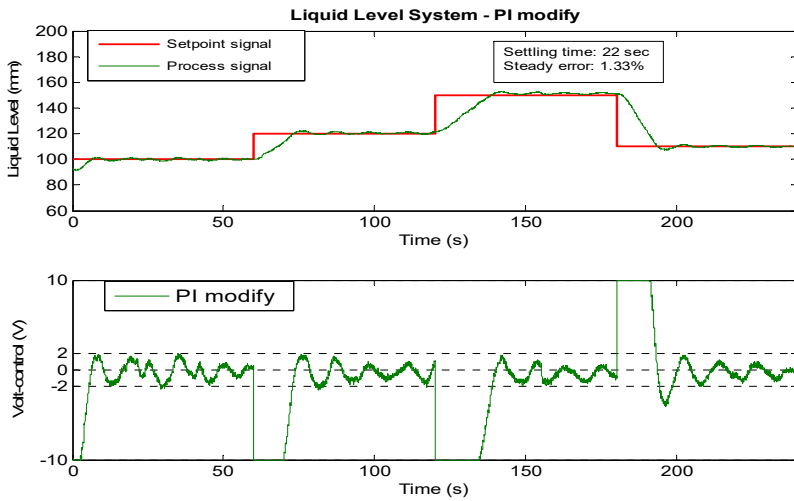
Với PI_{modify} là bộ điều khiển PI được tinh chỉnh.

2.7 Kết quả thực nghiệm với bộ điều khiển PI_{modify}

Với công suất valve xả Z (nhiều tác động) được đặt ở mức $Z = 40\%$ (độ mở valve), lưu lượng cung cấp từ bơm được cố định ở mức $P = 75\%$ (công suất bơm). Giao diện điều khiển được xây dựng bằng phần mềm Labview, với thời gian lấy mẫu $T_{\text{sample}} = 0,02s$ (Hình 9).



Hình 9: Giao diện điều khiển PI_{modify}



Hình 10: Kết quả thực nghiệm với bộ điều khiển PI_{modify}

Nhận xét:

Ngõ ra của hệ thống đáp ứng tốt với tín hiệu tham chiếu với thời gian tăng và thời gian xác lập hợp lý $T_{\text{settling}} = 22(s)$, sai số xác lập nhỏ $e_{\text{steady}} = 1,33\%$, đáp ứng vọt lố không đáng kể. Với biên độ điện áp điều khiển ở giai đoạn xác lập có khoảng dao động hợp lý $V_{\text{control}} = [-1,8; 1,8](V)$, cho thấy năng lượng khí nén được tiêu hao cho quá trình điều khiển độ đóng mở của Actuator Control Valve ở mức thấp (Hình 10).

2.8 Bộ điều khiển PID

Bộ điều khiển PID như (3) được phát triển từ bộ điều khiển PI, với việc cộng thêm thành phần vi phân $\left[T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$ vào bộ điều khiển như, có tác dụng làm chậm sự thay đổi của tín hiệu điều khiển, đặc tính này giúp tăng độ ổn định của tín hiệu so với tín hiệu tham chiếu. Tuy nhiên, trong một vài trường hợp thành phần vi phân có thể gây mất ổn định của hệ thống, đặc biệt đối với các hệ thống có độ trễ và nhiễu tác động lớn.

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

$$e(t) = X_{sp}(t) - X_{pv}(t)$$

, với $K_i = \frac{K_p}{T_i}$; $K_d = K_p T_d$ (3)

Trong đó, T_d là thời hằng vi phân.

Các giá trị $[K_p, K_i, K_d]$ của bộ điều khiển PID xác định bằng phương pháp Ziegler-Nichols được kiểm nghiệm và tinh chỉnh lại bằng thực nghiệm trên mô hình thực tế để đạt được yêu cầu điều khiển về thời gian tăng, độ vọt lố và sai số xác lập (Bảng 4).

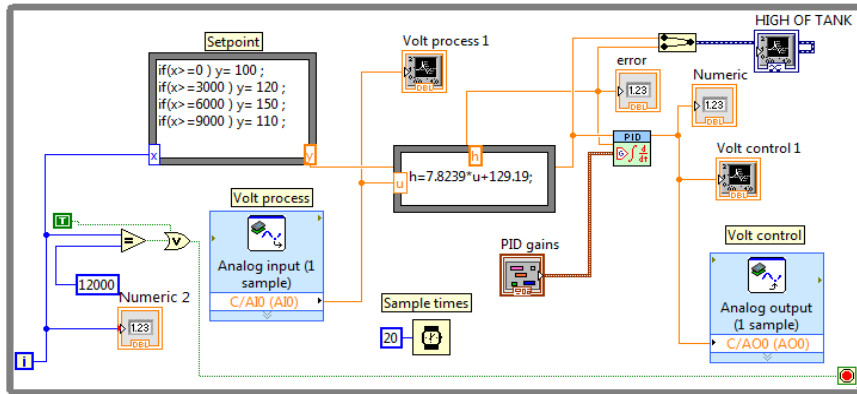
Bảng 4: Thông số bộ điều khiển PID_{modify}

PID		PID_{modify}	
$K_p = 0,45K_u$		$K_p = -1,395$	$K_{p_modify} = -1,351$
$T_u = 5,5s$		$T_i = \frac{T_u}{1,2} = 4,583$	$T_{i_modify} = 5,2$
$K_u = -3,1$		$T_d = \frac{T_u}{8} = 0,687$	$T_{d_modify} = 0,001$

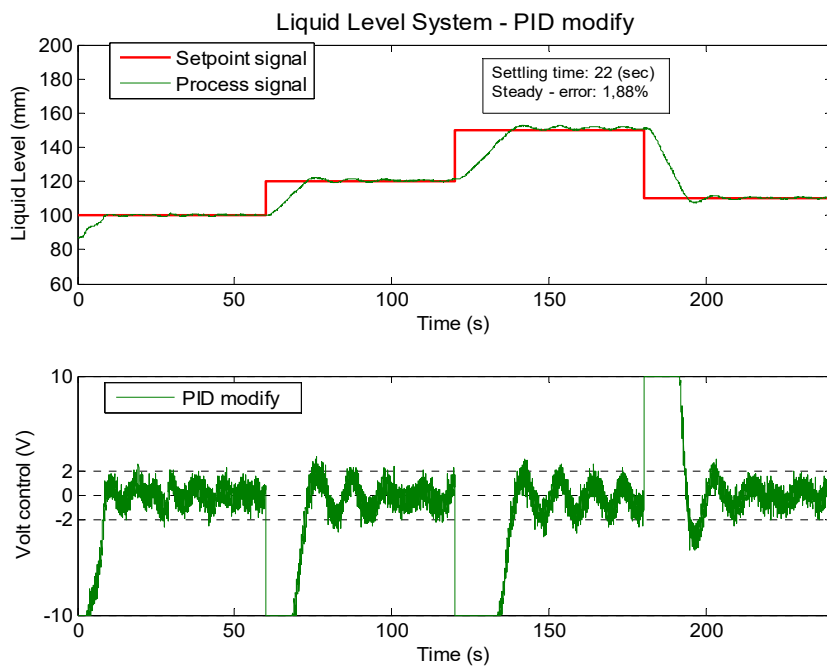
Với PID_{modify} là bộ điều khiển PID được tinh chỉnh.

2.9 Kết quả thực nghiệm với bộ điều khiển PID_{modify}

Với công suất valve xả Z ở mức $Z = 40\%$ (độ mở valve), lưu lượng cung cấp từ bơm được cố định ở mức $P = 75\%$ (công suất bơm). Giao diện điều khiển được xây dựng bằng phần mềm Labview, với thời gian lấy mẫu $T_{\text{sample}} = 0,02s$, như Hình 11.



Hình 11: Giao diện điều khiển PID_{modify}

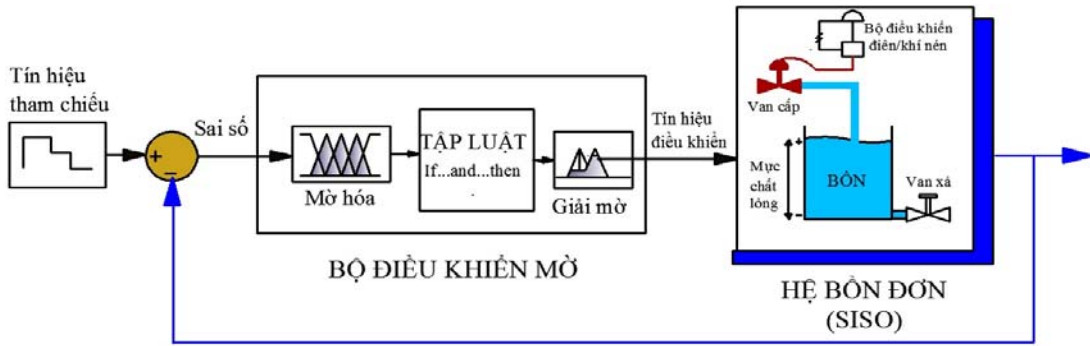


Hình 12: Kết quả thực nghiệm với bộ điều khiển PID_{modify}

Nhận xét:

Ngõ ra của hệ đáp ứng tốt với tín hiệu tham chiếu với thời gian tăng và thời gian xác lập hợp lý $T_{settling} = 22(s)$, sai số xác lập nhỏ $e_{steady} = 1,88\%$, đáp ứng vọt lố không đáng kể; biên độ điện áp điều khiển ở giai đoạn xác lập có khoảng dao động hợp

lý $V_{control} = [-2; 2]V$, cho thấy năng lượng khí nén được tiêu hao cho quá trình điều khiển độ đóng mở của Actuator Control Valve ở mức thấp Hình 12. Tuy nhiên, việc thêm vào thành phần vi phân T_d trong bộ điều khiển PID_{modify} chưa mang lại hiệu quả so với việc sử dụng bộ điều khiển PI_{modify}.



Hình 13: Cấu trúc hệ điều khiển mực chất lỏng với bộ điều khiển mờ

2.10 Bộ điều khiển mờ (fuzzy logic controller)

Bộ điều khiển mờ được thiết kế theo kiểu một ngõ vào và một ngõ ra (SISO), có cấu trúc như Hình 13. Quá trình mờ hóa giá trị ngõ vào và giải mờ giá trị ngõ ra chủ yếu dựa trên đặc tính điều khiển của hệ thống. Hàm liên thuộc được đề xuất sử dụng trong bộ điều khiển có dạng tam giác (triangular shape), xác định bởi (4):

$$\mu_{A^i}(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x - a}{b - a} & a \leq x \leq b \\ \frac{x - c}{b - c} & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (4)$$

Với: a, b, c là hoành độ 3 đỉnh của tập mờ tam giác Aⁱ tương ứng.

Ngõ vào của bộ điều khiển mờ là sai số e giữa giá trị đặt và giá trị thực của quá trình, được mờ

hóa bởi ba tập mờ [Neg, Zero, Pos];

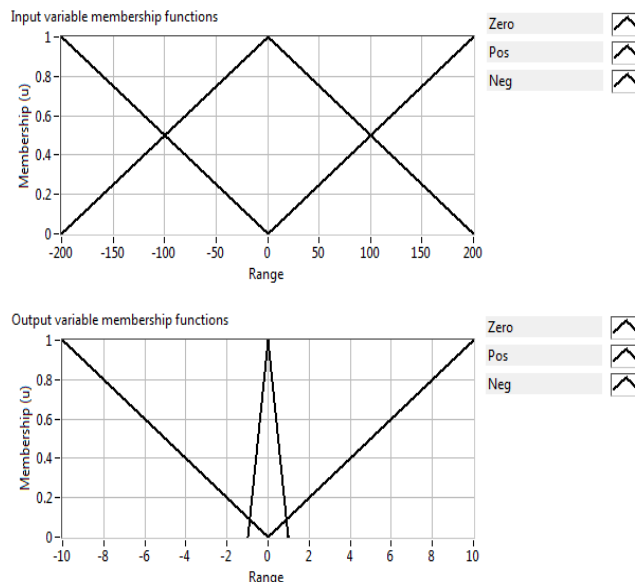
Ngõ ra của bộ điều khiển mờ là điện áp, được giải mờ hóa bởi ba tập mờ [Neg, Zero, Pos].

Trong nghiên cứu này, miền xác định của biến ngõ vào “saiso_e” và biến ngõ ra “U_control” được xác định dựa trên đặc tính vận hành của hệ thống:

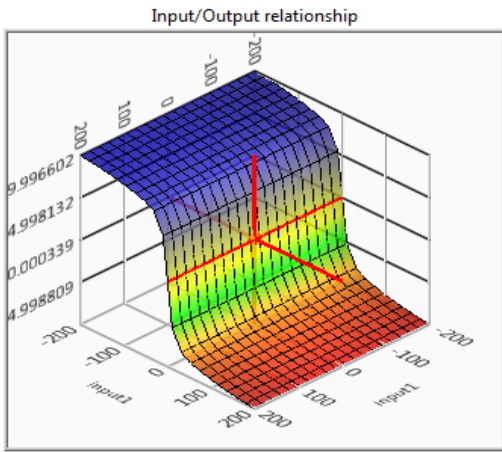
$$\begin{cases} saiso_e \in [-200, +200] \\ U_control \in [-10, +10] \end{cases} \quad (5)$$

Luật điều khiển bộ điều khiển mờ (Hình 14) được thiết kế dựa trên đặc tính vận hành của hệ thống với chiều tác động ngược (reverse) như (6):

$$\begin{cases} \text{If "saiso_e" is "Neg" Then "Volt_control" is "Pos"} \\ \text{If "saiso_e" is "Zero" Then "Volt_control" is "Zero"} \\ \text{If "saiso_e" is "Pos" Then "Volt_control" is "Neg"} \end{cases} \quad (6)$$



Hình 14: Tập luật của bộ điều khiển mờ



Hình 15: Đặc tính điều khiển của bộ điều khiển mờ

Giải mờ bằng phương pháp điểm trọng tâm (Modified center of area) được sử dụng nhằm đảm bảo đặc tính đáp ứng nhanh của bộ điều khiển mờ trong toàn dải điều khiển:

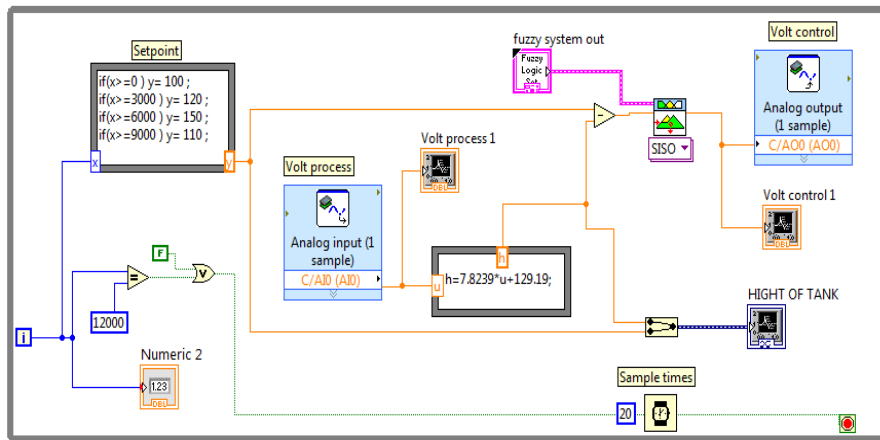
$$mCoA = \frac{\int f(x)xdx}{\int f(x)dx} \quad (7)$$

với $mCoA$ là giá trị điểm trọng tâm (Modified center of area)

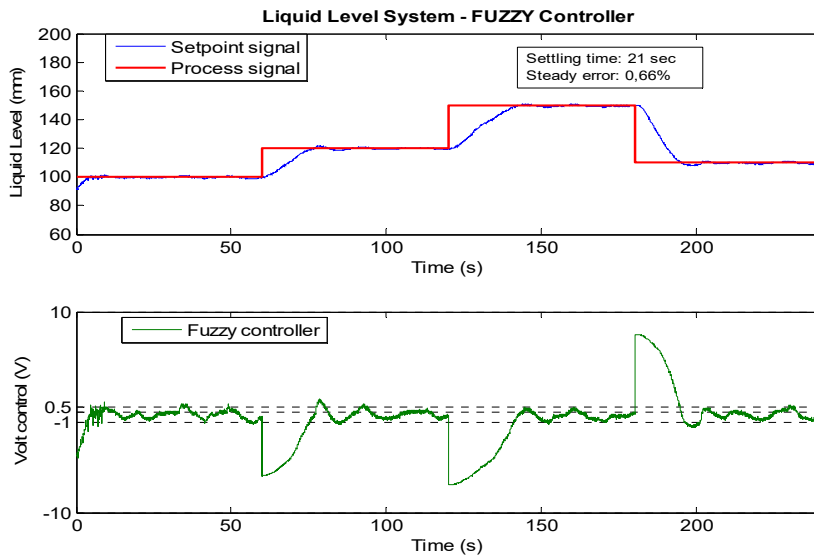
Như vậy, bộ điều khiển mờ là sự kết hợp của ba giai đoạn: mờ hóa giá trị đầu vào với miền giá trị (5), xây dựng tập luật điều khiển (6) và phương pháp giải mờ (7) để tạo ra bộ điều khiển mờ có đặc tính phi tuyến (nonlinear) với khả năng đáp ứng nhanh ở khoảng giá trị sai số lớn và chính xác với khoảng sai số nhỏ, như Hình 15.

2.11 Kết quả thực nghiệm với bộ điều khiển mờ

Với công suất valve xả Z (nhiều tác động) được đặt ở mức $Z = 40\%$ (độ mở valve), lưu lượng cung cấp từ bơm được cố định ở mức $P = 75\%$ (công suất bơm). Giao diện điều khiển và kết quả điều khiển mực nước bằng bộ điều khiển mờ (Hình 16, Hình 17).



Hình 16: Giao diện điều khiển mờ



Hình 17: Kết quả thực nghiệm với bộ điều khiển mờ

Nhận xét:

Ngõ ra của hệ thống bám rất tốt với tín hiệu tham chiếu với thời gian tăng và thời gian xác lập hợp lý, tương ứng là $T_{rise} = 15(s)$ và $T_{settling} = 21(s)$ đáp ứng vọt lố không đáng kể và sai số xác lập nhỏ $e_{steady} = 0,66\%$, với biên độ điện áp điều khiển ở giai đoạn xác lập có khoảng dao động nhỏ $V_{control} = (-1; 0,5)V$ cho thấy năng lượng khí nén được tiêu hao cho quá trình điều khiển độ đóng mở của Actuator Control Valve mức rất thấp tương ứng với hiệu suất vận hành của hệ thống điều khiển ở mức tối ưu. Điều này thể hiện đặc tính ổn định, hiệu quả và đáng tin cậy của bộ điều khiển mờ.

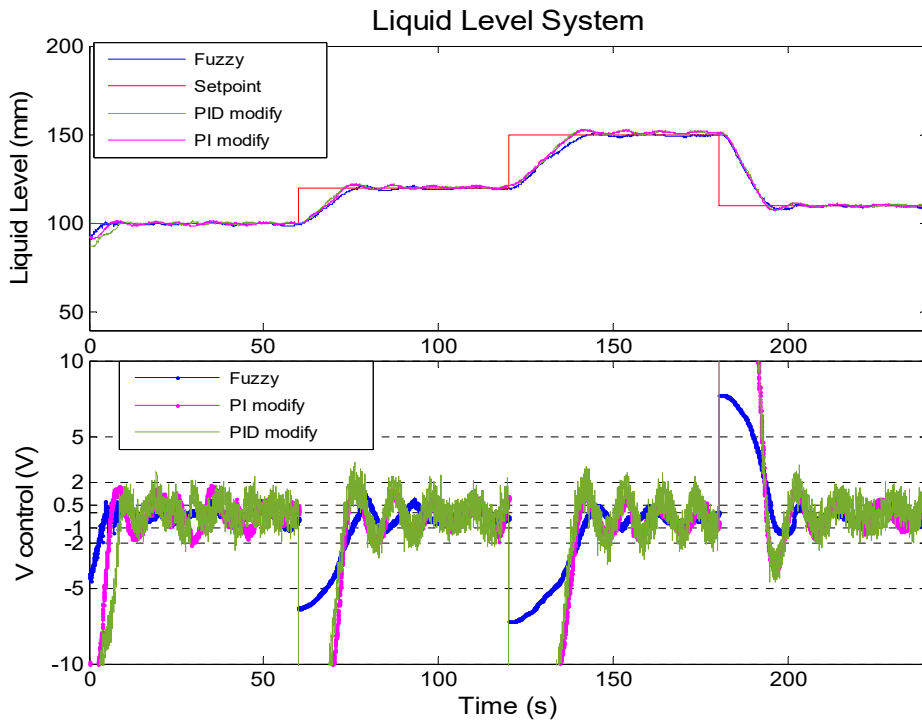
Ngoài ra, đối với dạng hệ điều khiển mực chất lỏng, thời gian để đạt được mức nước yêu cầu trong bồn, phụ thuộc rất nhiều vào lưu lượng cung cấp cố định của bơm và lưu lượng tiêu thụ ở van xả nhiều Z, khi lưu lượng tiêu thụ ở van xả lớn thì thời gian đạt được mực chất lỏng trong bồn sẽ tăng lên là tất yếu. Vì vậy, thời gian đáp ứng của hệ thống $T_{settling} = 21(s)$ để làm người quan sát hiểu nhầm là hệ điều khiển có đáp ứng chậm.

2.12 Chất lượng điều khiển của bộ điều khiển PI_{modify} , PID_{modify} và bộ điều khiển mờ

Kết quả điều khiển thực nghiệm trên hệ điều khiển mực chất lỏng công nghiệp tương ứng với các bộ điều khiển PI_{Modify} , PID_{Modify} và bộ điều khiển mờ, được trình bày trong Hình 18 và Bảng 5.

Bảng 5: Chỉ tiêu chất lượng của bộ điều khiển PI_{modify} , PID_{modify} và bộ điều khiển mờ (Fuzzy logic)

Tín hiệu tham chiếu	Chỉ tiêu chất lượng	Bộ điều khiển		
		PI_{modify}	PID_{modify}	Fuzzy
$X_{ref} = \begin{bmatrix} 100 \\ 120 \\ 150 \\ 110 \end{bmatrix}$	Thời gian tăng T_{rise} (sec)	15	15	15
	Thời gian xác lập $T_{settling}$ (sec)	22	22	21
	Đáp ứng vọt lố $E_{overshoot}$ (%)	Không đáng kể		
	Sai số xác lập E_{steady} (%)	1,33	1,57	0,6
	Tín hiệu điện áp điều khiển trong giai đoạn xác lập $U_{control}(V)$	[-1,8; 1,8]	[-2; 2]	[-1; 0,5]



Hình 18: Kết quả điều khiển với các bộ điều khiển PI_{modify} , PID_{modify} và bộ điều khiển mờ

Nhận xét:

Từ kết quả thực nghiệm cho thấy các bộ điều khiển PI_{modify} , PID_{modify} và bộ điều khiển mờ đã đáp ứng được các yêu cầu điều khiển về thời gian đáp ứng, độ vọt lố và sai số xác lập hợp lý. Tuy nhiên, bộ điều khiển mờ thể hiện được tính tối ưu về chỉ số thời gian xác lập $T_{settle} = 21(s)$, sai số xác lập nhỏ $E_{steady} = 0,6\%$ và biên độ của điện áp điều khiển trong giai đoạn xác lập thấp nhất $V_{control} = (-1; 0,5)V$ so với các bộ điều khiển PI_{modify} , PID_{modify} (được xây dựng bằng phương pháp Ziegler-Nichols và tinh chỉnh bằng thực nghiệm).

3 KẾT LUẬN

Kết quả thực nghiệm trên mô hình hệ điều khiển mực chất lỏng công nghiệp đã chỉ rõ thế mạnh của bộ điều khiển mờ về khả năng cho phép tinh chỉnh bộ điều khiển dựa trên sự am hiểu về đặc tính vận hành thực tế của hệ thống mà không cần xác định mô hình toán của đối tượng điều khiển; hiệu quả của bộ điều khiển được minh chứng qua các chỉ số về thời gian tăng, thời gian đáp ứng, sai số xác lập và độ ổn định của hệ thống khi có nhiễu tác động. Thêm vào đó, biên độ dao động của điện áp điều khiển đạt giá trị tối thiểu trong giai đoạn xác lập, cho thấy mức năng lượng khí nén tiêu hao cho quá trình điều khiển thấp; điều

này đặc biệt hữu ích khi hệ thống vận hành liên tục trong khoảng thời gian dài. Kết quả này sẽ là tiền đề để phát triển bộ điều khiển mờ áp dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển, ổn định mức chất lỏng trong sản xuất công nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

D.V.L.N.Sastry, B.Anil Kumar, Kameswara Rao Pedada and G.S.S.S.V.Krishna Mohan, 2014. Tuning of fractional order pid controller for interacting systems by different methods. 21/3: 19-24.

Er, M.J. and Y.L. Sun, 2001. Hybrid fuzzy proportional-integral plus conventional derivative control of linear and nonlinear systems. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 48/6: 1109-1117.

Fisher, 2005. Control Valve Handbook. Fourth Edition. Fisher Controls International. USA, 297 pages.

Heidar A.Malki and Chukwuma G.Umeh, 2000. Design of a Fuzzy Logic-Based level Controller. Journal of Engineering Technology. 17/1: 32-38.

Hoàng Minh Sơn, 2009. Cơ Sở Hệ Thống Điều khiển Quá trình. Nhà Xuất bản bách khoa Hà Nội. Hà Nội, 500 trang.

Huaizhong C., 2012. Research to the Liquid Level Control of Water Tank Based on Fuzzy Immune PID Controller. Mechanics and Materials. 155-156: 1232-1238.

- Johnson M.A. and M.H. Moradi, 2005. PID Control – New Identification and Design Methods. Springer-Verlag London Limited. USA, 558 pages.
- Kanagaraj N., P. Sivashanmugam and S. Paramsivam, 2008. Fuzzy coordinated PI controller: application to the real-time pressure control process. *Advances in Fuzzy Systems*. 2008: 1-9.
- National Instruments, 2016. Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signal, accessed on Apr 21, 2016. Available from <http://www.ni.com/white-paper/3344/en/>.
- Nguyễn Chí Ngôn, 2008. Tối ưu bộ điều khiển PID bằng giải thuật di truyền. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 2008/9: 241-248.
- Nguyễn Chí Ngôn, 2011. Bộ điều khiển PI mờ: Từ thiết kế đến ứng dụng. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 2011/18: 82-92.
- Nguyễn Minh Hải and Nguyễn Chí Ngôn, 2013. Nhận dạng hệ điều khiển mực chất lỏng. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 27: 37-43.
- Singh R. and I. Sen, 2004. Tuning of PID Controller Based AGC System Using Genetic Algorithms. *TENCON 2004-IEEE Region 10 Conference*, 21-24 November, 2004, Chiang Mai, Thailand. Piscataway, N.J., 531-534.
- Ziegler J.G. and N.B. Nichols, 1942. Optimum Settings for Automatic Controllers. *ASME Annual Meeting*, December 1-5, 1941, New York, 759-765.