

KIỂM SOÁT MỨC NƯỚC HỆ BỒN ĐƠN DÙNG BỘ ĐIỀU KHIỂN PID SỐ

• Võ Minh Tài^(*), Nguyễn Phong Lưu^(**), Nguyễn Văn Đông Hải^(**)

Tóm tắt

Mô hình hệ bồn nước được sử dụng phổ biến trong các phòng thí nghiệm điều khiển. Các giải thuật điều khiển thường được áp dụng cho mô hình trên như điều khiển PID, điều khiển mờ... Điều khiển PID có nhiều ưu điểm như thông dụng trong công nghiệp, không cần biết cấu trúc hệ thống mà có thể điều chỉnh bằng thực tế. Do đó, bài báo đề cập về điều khiển PID. Bài viết sẽ khảo sát sự thay đổi các giá trị PID để kiểm tra một mô hình đơn giản dùng cho sinh viên thực tập tại phòng thí nghiệm điều khiển của Trường Sư phạm Kỹ Thuật Thành phố Hồ Chí Minh. Mục đích bài báo là trình bày việc thiết kế hệ thống điều khiển rời rạc dùng phương pháp PID số trên mô phỏng và điều khiển mô hình thực "Hệ thống điều khiển kiểm soát mực nước hệ bồn đơn".

Từ khoá: PID; PID số; điều khiển rời rạc; kiểm soát mực nước.

1. Giới thiệu

Mô hình hệ bồn đơn có cấu tạo đơn giản, dễ chế tạo. Đồng thời, mô hình hệ bồn đơn là thiết bị hiệu quả trong giáo dục đào tạo để hướng dẫn sinh viên về các giải thuật điều khiển.

Hệ thống bồn nước đơn là một hệ phi tuyến khó điều khiển và một số ứng dụng thực tế đòi hỏi mực chất lỏng trong bồn phải được kiểm soát ở một mức nhất định. Vì vậy, vấn đề kiểm soát mực chất lỏng tại vị trí xác định được đặt ra sao cho ổn định nhất. Chính từ đó hình thành các phương pháp điều khiển soát mực nước của bồn chứa.

Nhiều phương pháp điều khiển đã được các tác giả áp dụng để kiểm soát mực chất lỏng. Các tác giả Liang Chen, Cuizhu Wang, Yang Yu, Yawei Zhao đã sử dụng bộ điều khiển PID mờ tự thích nghi để kiểm soát mức chất lỏng lò hơi [1]. Tác giả Nguyễn Hoàng Dũng, Huỳnh Thế Hiền áp dụng bộ điều khiển PID mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm để điều khiển vị trí theo thời gian thực [2], [6]. Đồng thời, tác giả Nguyễn Hoàng Dũng xây dựng bộ điều khiển trượt để điều khiển đối tượng phi tuyến với hàm trượt được thiết kế dựa trên PID [3]. Trong khi đó, kiểm soát mực nước của bồn chứa sử dụng IC (Integrated Circuit) số, Flip Flop J-K, cảm biến đọc giá trị mực nước bằng các giá trị điện áp đã được nghiên cứu áp dụng trong [4]. Tài liệu [8] các tác giả đã sử dụng PLC (Programmable Logic Controller) và cảm biến không dây để kiểm soát mực chất lỏng. Bộ điều khiển PID trực tuyến được các giả

Erwin Susanto, Agung Surya Wibowo sử dụng trong việc điều khiển kiểm soát mực lỏng của hệ thống [9].

Nhìn chung có rất nhiều phương pháp điều khiển kiểm soát mực nước của bồn chứa và các phương pháp kể trên có rất nhiều ưu điểm nhưng chi phí khá cao. Chính vì vậy, trong bài viết này, tác giả hướng tới thiết kế hệ thống "Kiểm soát mực nước hệ bồn đơn" chi phí thấp. Đồng thời, hệ thống được xây dựng để giúp sinh viên điều khiển tự động tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật hiểu rõ bản chất của bộ điều khiển PID, thiết kế bộ điều khiển PID, thiết kế hệ thống điều khiển rời rạc. Song song với đó, tác giả ứng dụng vi xử lý Arduino thuộc họ ARM, vi xử lý khá phổ biến hiện nay, vào điều khiển hệ thống.

Bộ điều khiển vi tích phân tỷ lệ (bộ Điều khiển PID - Proportional Integral Derivative) là một cơ chế phản hồi vòng điều khiển (bộ điều khiển) tổng quát được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển - bộ điều khiển PID là bộ điều khiển được sử dụng nhiều nhất trong các bộ điều khiển phản hồi. Bộ điều khiển PID sẽ tính toán giá trị sai số là hiệu số giữa giá trị đo thông số biến đổi và giá trị đặt mong muốn.

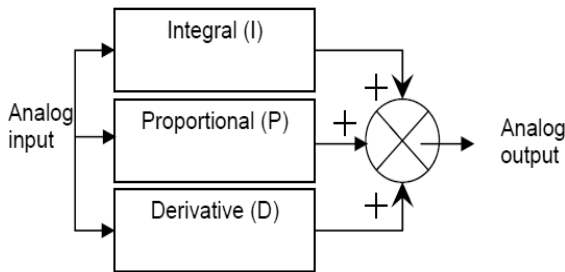
Trong lĩnh vực điện - điện tử, bộ điều khiển PID được sử dụng khá phổ biến. Bộ điều khiển PID thiết kế ở hai dạng gồm thiết kế điều khiển liên tục và thiết kế điều khiển rời rạc. Trong bài viết này, mô phỏng "Kiểm soát mực nước hệ bồn đơn" được thực hiện trên phần mềm Matlab thiết kế ở dạng rời rạc. Đồng thời trong bài viết này, tác giả đã xây dựng một mô hình thực "Hệ thống kiểm soát mực nước hệ bồn đơn" điều khiển

^(*) Sinh viên, Trường Đại học Sư phạm Kỹ Thuật, Thành phố Hồ Chí Minh.

^(**) Trường Đại học Sư phạm Kỹ Thuật, Thành phố Hồ Chí Minh.

bằng vi xử lý Arduino để quan sát tính ổn định của hệ thống khi thay đổi các giá trị PID.

Tín hiệu ngõ vào bộ điều khiển là tín hiệu liên tục. Thuật toán điều khiển là các khâu tỷ lệ (Proportional), khâu tích phân (Integral) và khâu vi phân (Derivative) không làm tín hiệu bị đứt đoạn. Vì vậy, tín hiệu ngõ ra là tín hiệu liên tục.



Hình 1. Bộ điều khiển PID kinh điển

2. Nội dung

2.1. Mô hình toán của hệ bồn đơn

Phương trình vi phân mô tả hệ thống bồn nước đơn [7, tr. 201]:

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

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

Bảng 1. Đại lượng của phương trình mô hình toán (1), (2)

$\dot{h}(t)$	Biến trạng thái	
$u(t)$	Điện áp điều khiển máy bơm theo thời gian	$0 \leq u(t) \leq 12V$
$h(t)$	Độ cao mực chất lỏng trong bồn theo thời gian	cm
$A(h)$	Tiết diện ngang bồn chứa	cm^2
h_{\max}	Độ cao cực đại của bồn chứa	cm
A_{\max}, A_{\min}	Tiết diện ngang cực đại và cực tiểu	cm^2
k	Hệ số tỷ lệ với công suất máy bơm	cm^3/sec
a	Tiết diện van xả	cm^2
g	Gia tốc trọng trường	cm/sec^2
C_D	Hệ số xả	

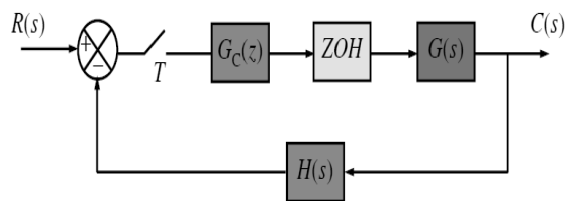
2.2. Hệ thống điều khiển rời rạc

Vào trước năm 1960, khi vi xử lý chưa phát triển, hầu hết các hệ thống tự động được thiết kế là hệ thống điều khiển liên tục. Hệ thống điều khiển liên tục được điều khiển bởi các mạch điện tử như mạch tỷ lệ, mạch tích phân, mạch vi phân. Các mạch tỷ lệ, tích phân, vi phân là cơ sở của bộ điều khiển PID Hình 1 và khái niệm điều khiển PID liên tục cũng ra đời. Nhưng từ sau năm 1960, người ta bắt đầu điều khiển hệ thống theo dạng số hóa dùng vi xử lý, các bộ điều khiển hiện đại cũng được thiết kế và áp dụng nhiều hơn. Để đáp ứng yêu cầu hiện tại, người ta thiết kế hệ thống điều khiển rời rạc hay còn gọi là điều khiển số để phù hợp khi điều khiển bằng vi xử lý. Bộ điều khiển PID liên tục dần được thay thế bởi các bộ điều khiển PID số.

Hệ thống điều khiển rời rạc có nhiều ưu điểm như dễ dàng thay đổi thuật toán điều khiển, áp dụng các thuật toán điều khiển phức tạp bằng cách lập trình.

Có nhiều sơ đồ điều khiển khác nhau có thể áp dụng cho hệ rời rạc, trong đó sơ đồ điều khiển thông dụng nhất là hiệu chỉnh nối tiếp với bộ điều khiển $G_C(z)$ là bộ điều khiển sớm trễ pha số, PID số...

Hàm truyền kín của hệ thống rời rạc có dạng [5, tr. 303]:



Hình 2. Hàm truyền kín của hệ thống rời rạc

Cần xác định hàm truyền $G_C(z)$ để hệ thống thỏa mãn yêu cầu về độ ổn định, chất lượng quá độ, sai số xác lập.

Hệ thống “Kiểm soát mực nước hệ bồn đơn” được thiết kế mô phỏng là hệ thống điều khiển rời rạc dùng phương pháp thiết kế bộ điều khiển PID số.

Hàm truyền của bộ điều khiển PID số có dạng [5, tr. 306]:

$$G_{PID}(z) = K_P + \frac{K_I T}{2} \frac{z+1}{z-1} + \frac{K_D}{T} \frac{z-1}{z}. \quad (3)$$

Trong đó:

T là thời gian lấy mẫu (đơn vị giây)

Khâu tỉ lệ $G_P(z) = K_P$. (4)

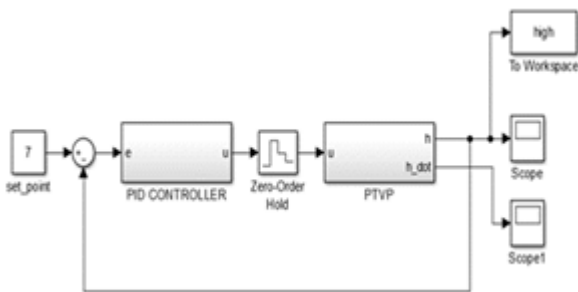
Khâu vi phân $G_D(z) = \frac{K_D}{T} \frac{z-1}{z}$. (5)

Khâu tích phân $G_I(z) = \frac{K_I T}{2} \frac{z+1}{z-1}$. (6)

Các giá trị K_P , K_I , K_D thông nhất K_P được lựa chọn bằng phương pháp thực nghiệm.

2.3. Mô phỏng

Hệ thống “Kiểm soát mực nước hệ bồn đơn” được thiết kế mô phỏng trên phần mềm Matlab Simulink theo phương trình toán học (1), (2).



Hình 3. Mô phỏng điều khiển PID số cho bồn đơn trên Matlab Simulink

Các thông số của đại lượng trong mô hình toán (1), (2) trình bày trong Bảng 2 được lựa chọn dựa trên mô hình thực tế mà tác giả thiết kế.

Bảng 2. Thông số của các đại lượng trong mô hình toán (1), (2)

h_{max}	Chiều cao cực đại của bồn chứa	25 cm
h_{init}	Chiều cao mực nước ban đầu trong bồn chứa	0 cm
A_{max}	Tiết diện ngang cực đại	25 cm ²
A_{min}	Tiết diện ngang cực tiểu	25 cm ²
k	Hệ số tỷ lệ với công suất máy bơm	300 cm ³ /sec
a	Tiết diện van xả	0,28 cm ²
g	Gia tốc trọng trường	981 cm ² /sec
C_D	Hệ số xả	0,6

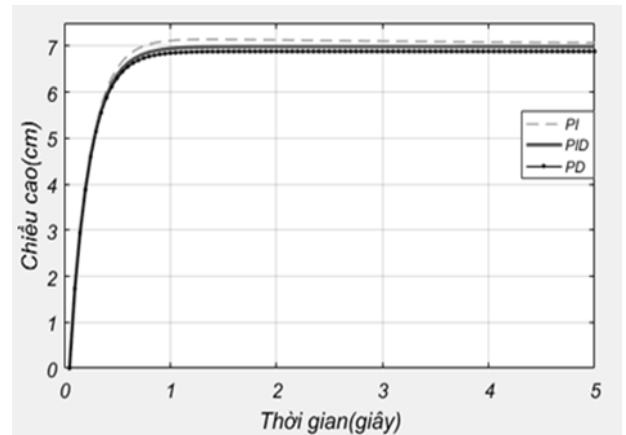
Điều khiển tỉ lệ K_P có ảnh hưởng làm giảm thời gian lên nhưng không loại bỏ sai số xác lập. Điều khiển tích phân K_I sẽ loại bỏ sai số xác lập nhưng có thể làm đáp ứng quá độ không tốt.

Điều khiển vi phân K_D có tác dụng làm tăng sự ổn định của hệ thống, giảm vọt lố và cải thiện đáp ứng quá độ. Các giá trị K_P , K_D và K_I được lựa chọn theo kinh nghiệm và Bảng 3 được tóm tắt bên dưới.

Bảng 3. Ảnh hưởng của việc tăng các thông số độ lợi của bộ điều khiển PID

Đáp ứng vòng kín	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	Loại bỏ
K_D	Thay đổi nhỏ	Giảm	Giảm	Thay đổi nhỏ

Mô phỏng thực hiện so sánh ngõ ra của hệ thống Hình 4 khi thay đổi các giá trị điều khiển PI số, PD số, PID số tại điểm đặt xác định mà cụ thể là 7 cm. Hệ thống được mô phỏng với cùng một bộ tham số cho ba bộ điều khiển PI, PD và PID.

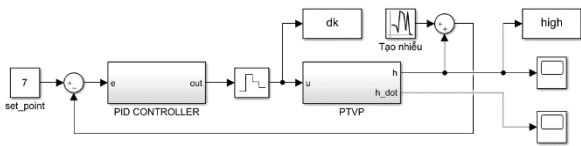


Hình 4. Hoạt động của khâu hiệu chỉnh PI số, PD số, PID số tại điểm đặt 7 cm

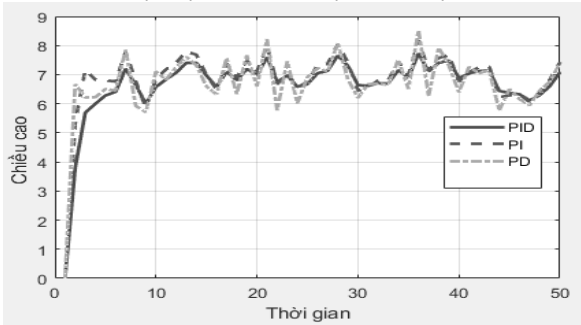
Bảng 4. Chỉ tiêu chất lượng của hệ thống trên mô phỏng

	PID	PI	PD
Độ vọt lố (%)	0	0	0
Sai số xác lập (cm)	0	0,1	0,2
Thời gian xác lập (s)	1	1	1

Tín hiệu nhiễu ở ngõ ra hệ thống Hình 5 được đưa vào mô phỏng để kiểm tra tính ổn định của hệ thống tại điểm đặt 7 cm với các bộ điều khiển PID, PI và PD.



Hình 5. Mô phỏng hệ thống với tín hiệu nhiễu ngõ ra
 Ngõ ra của hệ thống tại điểm làm việc 7 cm khi có tín hiệu tạo nhiễu được thể hiện ở Hình 6.



Hình 6. Hoạt động của khâu hiệu chỉnh PI số, PD số, PID số tại điểm đặt 7 cm khi có nhiễu

Qua Hình 6, khi đưa tín hiệu nhiễu vào hệ thống thì khâu I có tác dụng kiềm chế sự dao động. Khi loại bỏ khâu I, với bộ điều khiển PD thì ngõ ra hệ thống dao động nhiều, biên độ dao động lớn. Bộ điều khiển PID khi xuất hiện nhiễu có biên độ dao động nhỏ, vẫn bám quanh điểm làm việc.

Chung quy, bộ điều khiển PID số cho kết quả ngõ ra của hệ thống ổn định nhất, đảm bảo mực nước dao động tại điểm đặt 7 cm.

2.4. Điều khiển hệ bồn đơn dùng bộ điều khiển PID

Mô hình hệ thống “Điều khiển kiểm soát mực nước hệ bồn đơn” thực tế được thiết kế bằng các linh kiện điều khiển như Hình 7.

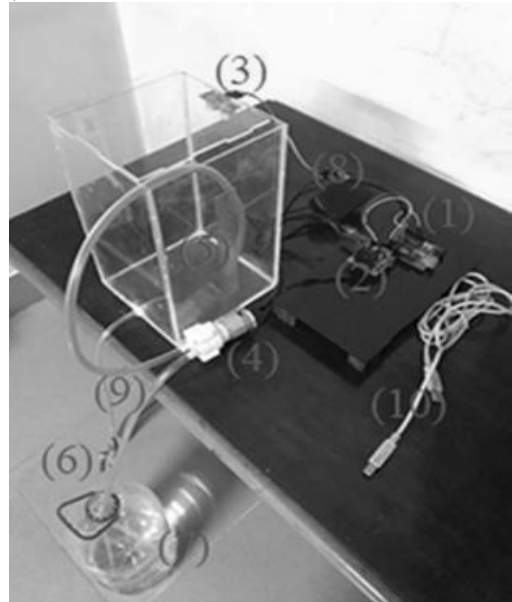
Chương trình điều khiển được lập trình trên phần mềm Arduino IDE. Các thông số K_P , K_I , K_D được lựa chọn trong chương trình.

Động cơ bơm được bảo vệ bởi diode chỉnh lưu 1N5407 3 A 800 V. Cực dương động cơ bơm DC được nối với Cathode của diode chỉnh lưu 1N5407.

Cảm biến siêu âm đọc giá trị trả về từ mực nước trong bồn hiện tại về vi điều khiển Arduino. Vi điều khiển xử lý, truyền tín hiệu cho cầu H, cầu H điều xung cho động cơ bơm để đạt

đến điểm đặt. Cụ thể là khi bắt đầu bơm, xung được cấp lớn để động cơ hoạt động với điện áp lớn nhất, khi đạt gần điểm đặt mà cụ thể ở đây là 7 cm thì xung cấp giảm, điện áp giảm.

Với mỗi điểm đặt khác nhau thì thông số K_P , K_I , K_D được lựa chọn khác nhau. Song song với đó, tiết diện xả của van cũng là một tổ quyết định các thông số K_P , K_I , K_D . Các yếu tố hệ số xả của van, điểm đặt cần được xác định để lựa chọn thông số K_P , K_I , K_D sao cho hệ thống hoạt động ổn định nhất.



Hình 7. Mô hình thực tế của hệ thống

1. Vi xử lý Arduino Uno R3;
2. Cầu H L298N;
3. Cảm biến siêu âm HC-SR05;
4. Động cơ bơm nước 12 VDC;
5. Bồn nước bằng mica;
6. Van xả đường kính 6 mm;
7. Can nhựa 6 lít chứa nước;
8. Adapter 220 VAC/12 VDC;
9. Ống nước;
10. Dây cáp.

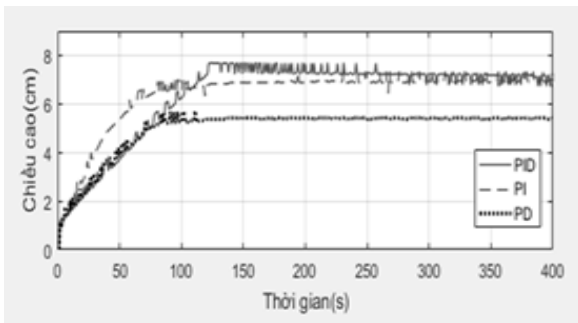
Trong quá trình thí nghiệm, điểm đặt được xác định là 7 cm, khóa van xả được điều chỉnh bằng với tiết diện xả được thiết kế trên bồn nước thì khi so sánh kết quả của các bộ điều khiển PI số, PD số, PID số mới đảm bảo tính chính xác.

Thời gian lấy mẫu T đối với hệ bồn nước đơn cần lựa chọn phù hợp. Nếu chúng ta lấy thời gian lấy mẫu T dài thì vi xử lý sẽ không đáp ứng kịp sự thay đổi của hệ thống nên sẽ không điều

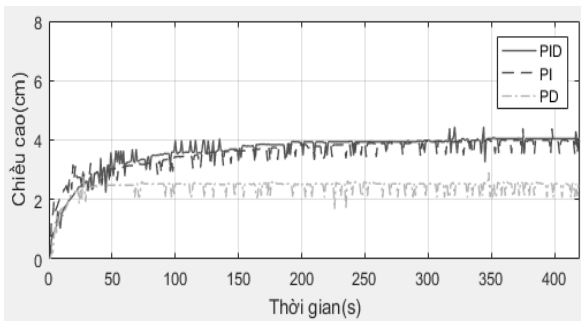
hiệu tốt. Nếu chúng ta lấy thời gian lấy mẫu ngắn thì sai số do nhiễu cảm biến sẽ tăng, tín hiệu đọc xuất hiện sai lệch. Đồng thời, trong trường hợp vi xử lý không tính toán nhanh sẽ không kịp xuất tín hiệu điều khiển trong một chu kỳ lấy mẫu điều khiển (tức thời gian lấy mẫu T). Thời gian lấy mẫu $T = 0,1$ giây. Tức là cứ sau 0,1 giây thì giá trị mức nước trong bồn hiện tại sẽ được trả về để xử lý và xuất tín hiệu điều khiển trong chính chu kỳ lấy mẫu đó.

2.5. Kết quả thực tế

Qua quá trình thí nghiệm hệ thống “Kiểm soát mực nước hệ bồn đơn”, so sánh giữa ba bộ điều khiển số PI, PD, PID. Kết quả thu được thể hiện trong Hình 8 và Hình 9.



Hình 8. Kết quả thu thập từ mô hình thực tế với điểm đặt $h = 7$ cm



Hình 9. Kết quả thu thập từ mô hình thực tế với điểm đặt $h = 4$ cm

Chúng ta nhận thấy rằng, các kết quả thu được ở các bộ điều khiển PI số, PD số, PID số đều có dao động ngõ ra. Điều này không thể tránh được trong quá trình điều khiển thực tế vì do các yếu tố khác nhau nên gây ra dao động trên mặt nước.

Bảng 5 và Bảng 6 sẽ lần lượt trình bày chất lượng hệ thống tại điểm làm việc 7 cm và 4 cm khi áp dụng ba bộ điều khiển PID, PI và PD trên mô hình thực.

Bảng 5. Chất lượng hệ thống tại điểm làm việc 7 cm

	PID	PD	PI
Độ vọt lố (%)	5,714	0	0
Sai số xác lập (cm)	0	2	0,2
Thời gian đáp ứng (s)	110	70	60
Thời gian xác lập (s)	160	110	110

Bảng 6. Chất lượng hệ thống tại điểm làm việc 4 cm

	PID	PD	PI
Độ vọt lố (%)	0	0	0
Sai số xác lập (cm)	0	1,5	0,1
Thời gian đáp ứng (s)	150	30	150
Thời gian xác lập (s)	200	50	240

Qua quan sát bằng đồ thị Hình 8 và 9 và nhận xét bằng các chỉ tiêu chất lượng, đáp ứng ngõ ra của hệ thống tại điểm đặt 4 cm có chất lượng tốt hơn điểm làm việc 7 cm. Hệ bồn đơn là một hệ thống có quán tính lớn, thời gian đáp ứng càng nhanh thường dẫn đến vọt lố cao. Tại điểm làm việc 7 cm, với bộ điều khiển PID, thời gian đáp ứng nhanh nên hệ thống đã sinh ra vọt lố, sau một khoảng thời gian thì hệ thống đạt giá trị xác lập. Trong khi đó, tại điểm đặt 4 cm thì thời gian đáp ứng và độ vọt lố đã được dung hòa nên ngõ ra hệ thống với bộ điều khiển PID có chất lượng tốt hơn.

Nhìn chung với bộ điều khiển PID số cho đáp ứng ngõ ra hệ thống đạt chất lượng tốt hơn so với 2 bộ điều khiển còn lại.

3. Kết luận

Trong bài viết này, tác giả đã xây dựng hệ thống “Kiểm soát mực nước hệ bồn đơn” theo phương pháp điều khiển rời rạc kết hợp với đó là so sánh ba bộ điều khiển PID số, bộ điều khiển PD số và bộ điều khiển PI số bằng mô phỏng trên phần mềm Matlab và áp dụng trên mô hình thực.

Hệ thống bồn nước đơn là một hệ chậm, để điều khiển hệ thống trong thời gian thực cần quan tâm cải thiện về phần công suất của hệ thống. Vì điều khiển Arduino có tốc độ xử lý là 16 MHz, cảm biến HC-SR05 có tốc độ xử lý là

40 KHz. Thời gian lấy mẫu của hệ thống là 100 ms thì vi điều khiển và cảm biến hoàn toàn có thể đáp ứng. Phần quan tâm cần cải thiện là động cơ bơm của hệ thống. Động cơ được sử dụng trong mô hình có giá thành rẻ, chất lượng chưa tốt, với thời gian lấy mẫu 100 ms thì động cơ đáp ứng ổn định. Khi thay thế thời gian lấy mẫu nhanh thì động cơ không đáp ứng kịp thời làm ảnh hưởng kết quả ngõ ra. Nếu thay thế thời gian lấy mẫu chậm hơn thì kết quả không thay đổi tốt

hơn so với ban đầu. Chính vì vậy, để có thể điều khiển trong thời gian thực cần chú ý đến động cơ có chất lượng tốt hơn.

Nhìn chung, khi sử dụng bộ điều khiển PID số, người điều khiển cần quan tâm đến việc lựa chọn các giá trị K_P , K_I , K_D sao cho phù hợp với đối tượng cần điều khiển. Quá trình thực nghiệm cần được chú trọng để lựa chọn các thông số cho bộ điều khiển PID số sao cho ngõ ra của hệ thống ổn định nhất./.

Tài liệu tham khảo

[1]. Liang Chen, Cuizhu Wang, Yang Yu, Yawei Zhao (2010), “The research on boiler drum water level control system based on self-adaptive fuzzy-PID”, *Chinese Control and Decision Conference*, pp. 1582-1584.

[2]. Hoang-Dung Nguyen, The Hien Huynh (2018), “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*, (2018), pp. 1418-1423.

[3]. Nguyễn Hoàng Dũng (2012), “Điều khiển trượt dựa trên hàm trượt kiểu PID”, *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, (số 21a), tr. 30-36.

[4]. Beza N. Getu, Hussain A. Attia (2016), “Automatic Water Level Sensor and Controller System”, *International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications*, (2016), pp. 1.

[5]. Nguyễn Thị Phương Hà (2016), *Lý thuyết điều khiển tự động*, NXB Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

[6]. Huỳnh Thế Hiển, Nguyễn Hoàng Dũng, Huỳnh Minh Vũ (2018), “Bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm”, *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, (số 7), tr. 9-19.

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

[8]. Cosmina Illes, Gabriel Nicolae Popa and Ioan Filip (2013), “Water Level Control System Using PLC and Wireless Sensors”, *International Conference on Computational Cybernetics*, (2013), pp. 195-199.

[9]. Erwin Susanto, Agung Surya Wibowo (2016), “Design and Implementation of Water Level Control Using Gain Scheduling PID Back Calculation Integrator Anti Windup”, *International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications*, (2016), pp. 101-104.

SINGLE WATER LEVEL CONTROL USING DISCRETE PID CONTROLLER

Summary

Water tank system is quite common in the control labs. Most control algorithms used are PID, Fuzzy, etc. The PID control has many advantages such as commonly used in industry, easily adjustable regardless of system structure. Therefore, this article addresses the PID control by investigating the variations of PID values as such to test one simple experiment model for student internship in Ho Chi Minh University of Technology and Education's control lab. The article focuses on presenting how to design a discrete PID controller on simulation and real experiment - “Single tank water level control system”.

Keywords: PID; digital PID; discrete control, water level control.

Ngày nhận bài: 09/11/2018; Ngày nhận lại: 08/3/2019; Ngày duyệt đăng: 29/8/2019.