

VỀ MỘT GIẢI PHÁP NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG CÓ KHÂU TRỄ DÙNG BỘ ĐIỀU KHIỂN NGOẠI SUY VÀ LUẬT ĐIỀU KHIỂN PID SỐ

ABOUT A SOLUTION FOR IMPROVING QUALITY OF THE CONTROL SYSTEM WITH DELAY USING EXTRAPOLATION CONTROLLER AND DIGITAL PID CONTROL LAW

Đinh Thị Hằng¹, Nguyễn Hữu Thung²,
Phạm Văn Cường^{3,*}

TÓM TẮT

Bài báo trình bày một giải pháp nâng cao chất lượng điều khiển hệ thống có trễ, dùng luật điều khiển PID số và áp dụng mô hình điều khiển ngoại suy Smith, trong đó tín hiệu điều khiển không chỉ phụ thuộc vào giá trị tức thời của sai số giữa lượng ra và tín hiệu vào mà còn dựa trên sự thay đổi tín hiệu điều khiển suất trong thời gian chậm trễ của hệ khi điều khiển quá trình. Nhờ vậy tăng độ ổn định, giảm giá trị quá điều chỉnh cực đại, tăng tác động nhanh và nâng cao độ chính xác trong trạng thái xác lập của hệ.

Từ khóa: Hệ thống dạng trễ, bộ điều khiển ngoại suy, luật điều khiển PID số.

ABSTRACT

This paper presents a solution to improve the quality of the control system with delay, using digital PID controller and apply the Smith extrapolation controller model, in which the control signal depends not only on the instantaneous value of the error between the output and the input signal but also on the change of the control signal during the delay time of the system when controlling the process so that increasing the stability, reducing the value of the maximum adjustment, increasing the impact quickly and improving the accuracy in the setting state of the system.

Keywords: Delay system, extrapolation controller, digital PID control law.

¹Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật công nghiệp

²Học viện Kỹ thuật Quân sự

³Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: cuongpv0610@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 05/6/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/9/2019

Ngày chấp nhận đăng: 15/10/2019

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay luật điều khiển PID đang được ứng dụng rộng rãi và có hiệu quả để điều khiển các quá trình kỹ thuật [1] trong công nghiệp sản xuất và chế biến. Nguyên nhân chủ yếu là do các quá trình kỹ thuật đó gắn liền với các quá trình biến đổi điện tử có độ trễ lớn và về mặt động học có thể xấp xỉ chúng bằng các mô hình động học bậc hai. Thế

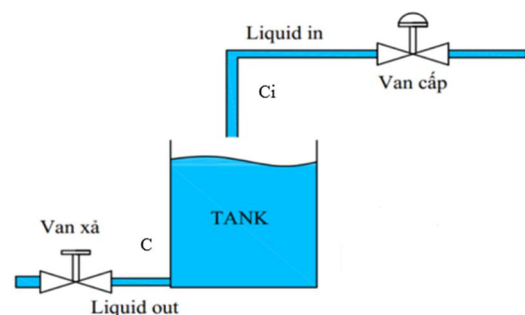
nhưng, luật điều khiển PID không phù hợp trong điều khiển các quá trình giữ chậm hay bị trễ. Ta quy ước gọi chung là hệ có trễ.

Trong bài báo này, các tác giả trình bày một giải pháp khắc phục hạn chế đó khi áp dụng luật điều khiển PID số và mô hình ngoại suy của Smith [2, 4].

2. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

2.1. Tổng quan đối tượng nghiên cứu

Xét hệ trộn gồm hai dung dịch hóa chất đồng chất nhưng khác nồng độ (hình 1). Ta ký hiệu nồng độ của chất chảy vào là C_i cao hơn nồng độ C của sản phẩm trộn chảy ra theo giá trị đặt ký hiệu $X(t)$, ta quy ước gọi là lượng vào. Nồng độ của chất chảy vào có thể thay đổi một cách định trước, quá trình trộn được thực hiện tuần tự. Nồng độ của sản phẩm được đo theo nồng độ dòng hóa chất chảy ra là đại lượng được điều khiển, ta quy ước gọi là lượng ra và ký hiệu $Y(t)$, thực chất là nồng độ C .

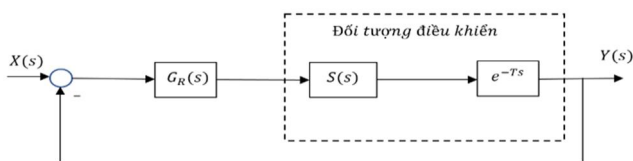


Hình 1. Hệ trộn hai dung dịch hóa chất đồng chất nhưng có nồng độ dung dịch khác nhau

2.2. Ảnh hưởng của trễ đến chất lượng điều khiển

Hiện tượng trễ thường gặp trong các hệ thống điều khiển quá trình kỹ thuật. Ngoài nguyên nhân như đã nêu ở trên, hiện tượng trễ còn do các vòng hồi tiếp khác nhau hoặc có thể do liên quan đến thời gian giữ chậm cần thiết để thu thập, phân tích, xử lý các tín hiệu cần cho việc xác định tham số điều khiển.

Ta quy ước coi quy trình công nghệ kèm theo các phương tiện, thiết bị kỹ thuật gắn trên đó như hệ thống các thiết bị đo, bộ điều khiển và cơ cấu chấp hành là hệ thống kỹ thuật điều khiển số [1]. Trong những trường hợp đó, các thông tin về kết quả điều khiển được đưa đến đầu vào bộ điều khiển theo sai lệch (hệ có phản hồi âm) sẽ chậm hơn thời gian bắt buộc. Nói chung những thông tin qua khâu phản hồi trễ thường dẫn theo hậu quả là “trở thành những thông tin sai tại thời điểm hiện tại”. Hiện tượng trễ cũng làm giảm tính ổn định của hệ thống điều khiển, thậm chí còn làm cho hệ thống mất ổn định [3, 5]. Trong trường hợp đó, để áp dụng luật điều khiển PID buộc phải giảm hệ số khuếch đại và dẫn tới tăng độ dao động của lượng ra, kéo dài thời gian quá độ, làm tăng sai số trong trạng thái xác lập. Để minh chứng cho điều này, ta xét hệ thống điều khiển tối giản cho trên hình 1. Từ đó xác định có sơ đồ cấu trúc của hệ thống có khâu trễ được mô tả như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ điều khiển hệ thống điều khiển đối tượng có trễ

Từ đó xác định hàm số truyền của hệ điều khiển mạch kín có dạng:

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{G_R(s) \cdot S(s) \cdot e^{-Ts}}{1 + G_R(s) \cdot S(s) \cdot e^{-Ts}}$$

Trong đó:

T: Thời gian trễ.

$G_R(s)$: Hàm số truyền của bộ điều khiển.

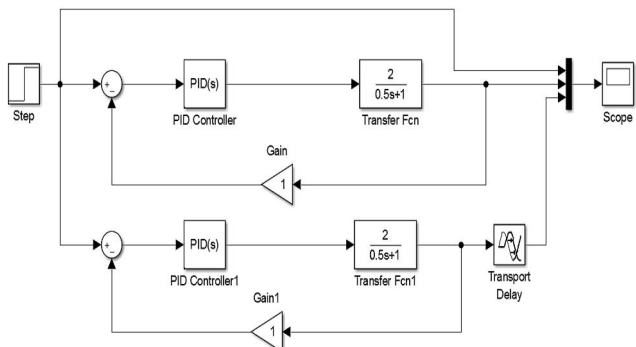
$S(s)$: Hàm số truyền của đối tượng điều khiển - Tỷ lệ nồng độ các chất trong bể trộn.

e^{-Ts} : Hàm số truyền của khâu trễ.

$Y(s)$: Đại lượng được điều khiển - Nồng độ C của sản phẩm.

$X(s)$: Giá trị C_i quy định nồng độ C của sản phẩm.

Từ đây, mô hình mô phỏng của hệ thống trên Matlab - Simulink có dạng như hình 3a.



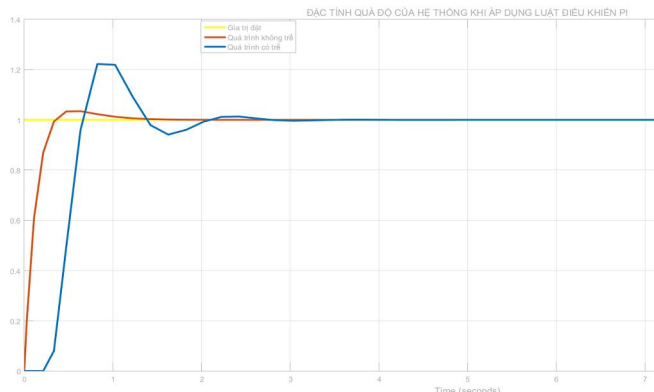
Hình 3a. Sơ đồ khối của hệ thống

Để thấy được ảnh hưởng của trễ đến diễn xuất quá trình ta mô phỏng trong cả hai trường hợp:

a) Khi không tính đến độ trễ

b) Khi có tính độ trễ

Kết quả cho trên hình 3b.



Hình 3b. Đặc tính quá độ của hệ thống khi áp dụng luật điều khiển PID trong trường hợp không trễ và có trễ

- Giá trị đặt nồng độ C_i
- Giá trị thực không có trễ
- Giá trị thực có trễ

Để điều khiển hệ thống tối giản đã nêu bằng các bộ điều khiển giản đơn là rất phức tạp. Trong ví dụ đã nêu tại thời điểm $t = 0$ nồng độ của sản phẩm (dung dịch trong bể) là quá thấp. Bộ điều khiển tăng chất chảy vào để nâng nồng độ sản phẩm. Cho tới thời điểm $t < T$ mọi sự thay đổi liên quan đến hoạt động của bộ điều khiển không thể hiện qua sản phẩm bởi trong quãng thời gian $t < T$ bộ điều khiển không phát hiện sự thay đổi bất kỳ nào về nồng độ sản phẩm. Do vậy vẫn tiếp tục tăng lượng vào. Trên thực tế tại thời điểm đó nồng độ của sản phẩm đã rất cao nếu hệ số khuếch đại của bộ điều khiển là khá lớn. Đến khi $t = T$ bộ điều khiển mới cảm nhận được nồng độ của sản phẩm và bắt đầu chuyển hướng tác động giảm lượng vào. Hiệu quả tác động của bộ điều khiển mới cảm nhận tại thời điểm $t = T_1$ và hoạt động của bộ điều khiển từ thời điểm $t = T$ đến $t = T_1$ dẫn đến quá trình theo hướng xấu hơn.

T_1 là khoảng thời gian bộ điều khiển cảm nhận được hiệu quả điều khiển đối với lượng ra ($T_1 = 2T$). Trong đó, để nhận được thông tin về đại lượng điều khiển bị trễ mất khoảng thời gian T và để cảm nhận được tác động của tín hiệu điều khiển đối với lượng ra cũng mất một khoảng thời gian T .

3. GIẢI PHÁP NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG QUÁ TRÌNH ĐIỀU KHIỂN

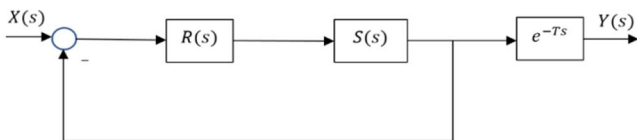
3.1. Phương pháp điều khiển dự báo Smith

Trong thành phần đối tượng điều khiển thông thường có thành phần trễ e^{-T} . Đối với các phương pháp sử dụng bộ PID trực tiếp (xác định các tham số PID theo Ziegler-Nichols, theo tổng T của Kuhn,...) hay thiết kế theo tối ưu độ lớn, ta có thể thay xấp xỉ thành phần trễ đó bằng khâu quán tính bậc cao, hoặc theo công thức Pade thì với phương pháp tối ưu đối xứng hoặc cân bằng mô hình rất khó áp dụng. Nó thường đưa đến hàm truyền đạt đối tượng

có bậc quá cao làm cho mô hình có sai lệch góc pha lớn hoặc dẫn đến khả năng không tích hợp được bộ điều khiển do vi phạm tính nhân quả.

Như đã trình bày ở trên khó khăn trong hệ thống có trễ là do các thông tin cần thiết được tiếp nhận quá muộn dẫn đến làm cho hệ mất ổn định. Trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày giải pháp ứng dụng mô hình điều khiển ngoại suy của Smith (Smith predictor) [2, 4] và bộ điều khiển PID số.

Nguyên tắc dự báo Smith: Để thiết kế bộ điều khiển $R(s)$ cho đối tượng có trễ $S(s).e^{-Ts}$ (hình 2), Smith đề nghị thiết kế bộ điều khiển $R(s)$ riêng cho đối tượng $S(s)$ không có thành phần trễ, như ở hình 4.



Hình 4. Mô hình với bộ điều khiển $R(s)$

Từ hình 2 ta có hàm truyền đạt hệ kín:

$$G(s) = \frac{G_R S e^{-Ts}}{1 + G_R S e^{-Ts}} \quad (1)$$

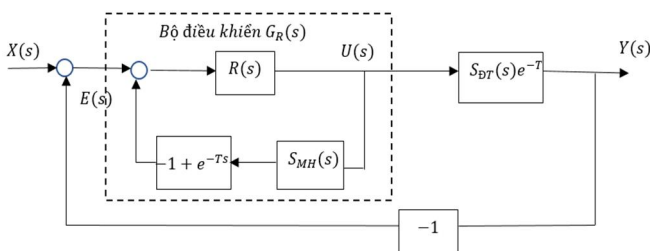
Hàm truyền đạt hệ kín của hệ thống được mô tả ở hình 4 có dạng:

$$G(s) = \frac{R.S}{1+R.S} e^{-Ts} \quad (2)$$

Từ công thức (1) và (2), ta có hàm truyền đạt bộ điều khiển $G_R(s)$:

$$G_R = \frac{R}{1+R.S(1-e^{-Ts})} \quad (3)$$

Thay công thức (3) vào hình 4, ta có cấu trúc bộ điều khiển theo nguyên lý dự báo Smith được mô tả ở hình 5.



Hình 5. Cấu trúc bộ điều khiển theo nguyên lý dự báo Smith

Bộ điều khiển này gồm mô hình quá trình kỹ thuật tức là đối tượng điều khiển có tính đến trễ T gọi là bộ điều khiển ngoại suy. Hàm số truyền của bộ điều khiển ngoại suy là mô hình của hệ thống kỹ thuật bắt buộc giống hàm số truyền của đối tượng $S_{DT}(s)$. Nếu hàm số truyền $S_{MH}(s)$ của mô hình kỹ thuật trùng hợp chính xác với hàm số truyền của đối tượng $S_{DT}(s)$ (gọi chung là $S(s)$) thì bằng những tính toán tương ứng hàm số truyền của hệ thống mạch kín sẽ là:

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{R(s).S(s).e^{-Ts}}{1 + R(s).S(s)}$$

Trong đó: $R(s)$ là hàm số truyền của bộ điều khiển PID số;

$S(s)$ là hàm số truyền của đối tượng;

e^{-Ts} là hàm số truyền của khâu trễ.

Trong bộ điều khiển ngoại suy Smith mẫu thức trong hàm số truyền mạch kín của hệ điều khiển trùng với hàm số truyền của hệ kín không trễ. Nói cách khác đặc tính quá độ của hệ thống mạch kín có mô hình ngoại suy Smith giống như đặc tính quá độ của hệ thống không trễ.

Phương trình của bộ điều khiển không có mô hình ngoại suy viết như sau: $U(s) = R(s).E(s)$ (4)

Còn khi có mô hình ngoại suy là:

$$U(s) = R(s).[E(s) + S(s).e^{-Ts} - S(s)] \quad (5)$$

Trong đó, thành phần thứ nhất trong (5) là tín hiệu ra như thường lệ của bộ điều khiển theo sai lệch. Thành phần thứ hai liên quan đến tín hiệu điều khiển trước đó $u(t-T)$ nhân với hàm số truyền của mô hình $S(s)$. Thành phần cuối cùng xác định theo tín hiệu điều khiển tức thời.

Từ sơ đồ cấu trúc đã trình bày rút ra các giá trị điều khiển trong quá khứ cần được lưu lại. Việc thực hiện mô hình ngoại suy Smith trước khi xuất hiện máy tính số là rất phức tạp bởi lẽ lúc đó chỉ có kỹ thuật tương tự không cho phép thực thi mô hình ngoại suy vì không lưu được các giá trị của tín hiệu điều khiển quá khứ trong thời gian dài. Ngày nay khi đã xuất hiện kỹ thuật số, việc thực thi sẽ dễ dàng hơn.

Nội dung của những vấn đề đã trình được minh chứng bằng kết quả mô phỏng của một hệ điều khiển đơn giản áp dụng mô hình mở rộng và bộ điều khiển PID số.

3.2. Ứng dụng bộ điều khiển ngoại suy và luật điều khiển PID số trong hệ thống trộn dung dịch có tính trễ

Trước hết phải xác định cấu trúc động học của hệ thống trộn đơn giản như đã trình bày (hình 1). Hệ thống gồm: Bể trộn, nơi xảy ra quy trình công nghệ trộn hai dung dịch chất lỏng đồng chất nhưng khác về nồng độ và phần tử chấp hành được chọn là động cơ điện một chiều kích từ độc lập. Hai phần tử đó mắc nối tiếp với nhau.

Để xác định hàm số truyền của quy trình công nghệ trộn, ta dựa vào phương trình cân bằng khối lượng của hợp phần. Nồng độ dung dịch của dòng chảy vào (C_i) có thể thay đổi một cách định trước. Lưu lượng của dòng chảy vào và dòng chảy ra coi như không đổi và bằng q . Khối lượng toàn phần của hợp phần trong bể trộn được xác định theo thể tích V và bằng $V \cdot C$ (ta coi nồng độ của sản phẩm ở đầu ra bằng nồng độ trong bể trộn).

Khi đó sự cân bằng khối lượng của hợp phần được trình bày dưới dạng một phương trình vi phân [1]:

$$\frac{d(V \cdot C)}{dt} = q \cdot C_i - q \cdot C \quad (6)$$

Do V là dung tích bể trộn và C là một hàm theo thời gian nhưng tại một thời điểm xác định thì giá trị tức thời của C được coi như không đổi và từ đó có thể đưa phương trình (6) về dạng:

$$\frac{V}{q} \cdot \frac{dC}{dt} + C = C_i \quad (7)$$

Đây là phương trình vi phân mô tả động học của khâu quán tính bậc nhất và hàm số truyền của nó có dạng:

$$S_1(s) = \frac{K_1}{T_1 s + 1} \quad (8a)$$

Trong đó: $K_1 = C_i$; $T_1 = \frac{V}{q}$

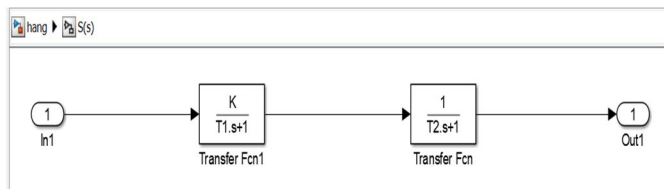
Khi chọn động cơ chấp hành là động cơ điện một chiều kích từ độc lập và lượng ra là tốc độ quay trên trục động cơ thì động cơ điện một chiều là một khâu quán tính bậc nhất và hàm số truyền của nó ta hiểu là $S_2(s)$.

$$S_2(s) = \frac{K_2}{T_2s+1} \tag{8b}$$

Vì hai khâu quán tính bậc nhất mắc nối tiếp với nhau nên hàm số truyền hệ thống trộn đơn giản mạch hở là một khâu quán tính bậc hai có dạng:

$$S(s) = \frac{K}{(1+T_1s)(1+T_2s)} \tag{9}$$

Với $S(s)$ là đối tượng điều khiển, khâu quán tính bậc 2 như hình 6



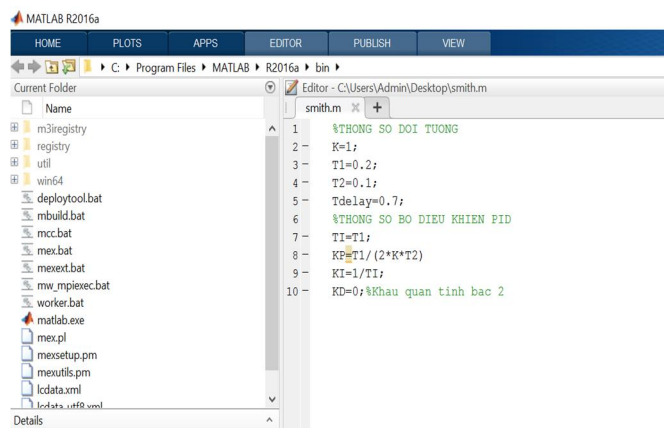
Hình 6. Hàm truyền khâu quán tính bậc 2

Xét bộ điều khiển chỉ có khâu PI:

$$R(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right) = \frac{K_P(1 + T_I s)}{T_I s} = \frac{1 + T_I s}{T_{RS}}$$

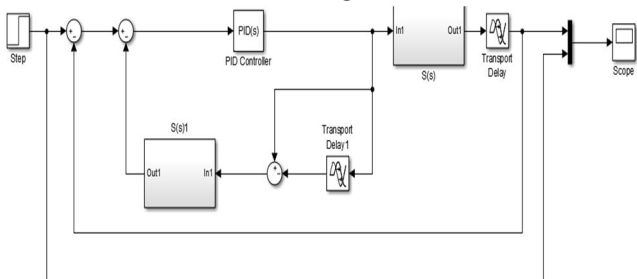
Trong đó: $T_R = \frac{T_I}{K_P}$; $T_I = T_I$; $K_P = \frac{T_I}{2KT_2}$; $K_I = \frac{1}{T_I}$

Khai báo thông số cho bộ điều khiển PID như trong hình 7.



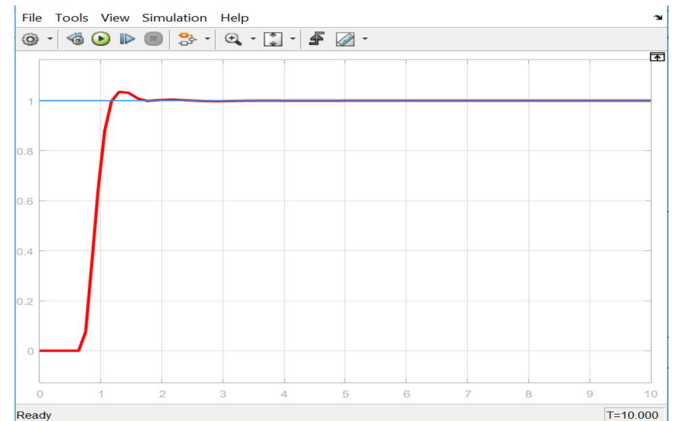
Hình 7. Thông số bộ điều khiển PID

Từ cấu trúc bộ điều khiển theo nguyên lý dự báo Smith hình 5, ta có sơ đồ khối hệ thống điều khiển như hình 8.



Hình 8. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển theo nguyên lý dự báo Smith

Đáp ứng nồng độ chất lỏng chảy ra khi hệ thống sử dụng bộ điều khiển ngoại suy và luật điều khiển PID số được thể hiện trên hình 9.



Hình 9. Đáp ứng nồng độ chất lỏng chảy ra khi hệ thống sử dụng bộ điều khiển ngoại suy và luật điều khiển PID số

4. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã áp dụng phương pháp điều khiển hiện đại - bộ điều khiển ngoại suy và luật điều khiển PID số để đảm bảo nồng độ chất lỏng chảy ra theo đúng giá trị đặt. Chất lượng hệ thống điều khiển được đảm bảo và nâng cao. Điều này đã được kiểm chứng bằng mô phỏng Matlab - Simulink. Nguyên tắc thiết kế bộ điều khiển Smith rất linh hoạt tùy theo đối tượng điều khiển $S(s)$. Chỉ cần thiết kế bộ điều khiển $R(s)$ theo đối tượng $S(s)$ bỏ qua trễ. Tuy nhiên nhược điểm của bộ điều khiển Smith là phải biết chính xác mô hình đối tượng, chính xác độ trễ. Điều lưu ý là bộ điều khiển Smith không thể triệt tiêu được trễ mà chỉ loại trừ ảnh hưởng xấu của khâu trễ đến chất lượng điều khiển và về nguyên tắc nếu chọn được mô hình trùng quá trình công nghệ thì đặc tính quá độ sẽ dịch chuyển sang phải một khoảng đúng bằng thời gian trễ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hoàng Minh Sơn, 2009. *Cơ sở hệ thống điều khiển quá trình*. Nhà xuất bản Bách khoa Hà Nội.
- [2]. Gustaf Olsson, Giangcudo, 2001. *Bản dịch tiếng Nga - Hệ thống số trong tự động hóa và điều khiển tái bản lần 3*. Xanh Petec mua, Nga.
- [3]. Nguyễn Hữu Thung, Đinh Thị Hằng, 2007. *Hỏi đáp khó khăn gặp phải khi chỉnh định tham số của bộ điều khiển PID liên tục đối với hệ có trễ*. Tạp chí Tự động hóa ngày nay số 6.
- [4]. Smith, Otto J.M, 1957. *Close Control of loops with deadtime*. Prentice Shall.
- [5]. V.A.Bexekerskiy, E.B. Popop, 1972 *Lý thuyết điều chỉnh tự động*. Nhà xuất bản "Nauka" Matsxcova.

AUTHORS INFORMATION

Đinh Thị Hang¹, Nguyễn Hữu Thung², Phạm Văn Cường³

¹University of Economics - Technology for Industries

²Military Technical Academy

³Hanoi University of Industry