

# THUẬT TOÁN MỚI ĐIỀU CHỈNH TỐI ƯU HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TẦNG

Nguyễn Thị Hiền\*, Nguyễn Văn Đạt

*Khoa Cơ - Điện, Học viện Nông nghiệp Việt Nam*

*Email\*: hiencodien@gmail.com*

Ngày gửi bài: 13.11.2015

Ngày chấp nhận: 08.03.2016

## TÓM TẮT

Hệ thống điều khiển tầng là cấu trúc được sử dụng khá rộng rãi trong thực tế điều khiển với các vòng điều khiển được lồng ghép vào nhau, đầu ra của bộ điều khiển thứ nhất là giá trị đặt cho bộ điều khiển thứ hai. Việc bộ điều khiển sau khi tổng hợp và áp dụng với hệ thống thực cần được điều chỉnh thông số là việc làm cần thiết để hệ thống điều khiển có thể đáp ứng tốt các yêu cầu chất lượng trong điều kiện làm việc thực tế. Bài báo trình bày một thuật toán mới, sử dụng trực tiếp dữ liệu thực nghiệm để điều chỉnh đồng thời thông số của các bộ điều khiển trong hệ thống điều khiển tầng. Thuật toán chỉ yêu cầu duy nhất một tập dữ liệu vào-ra của hệ thống mà không đòi hỏi mô hình toán học của đối tượng điều khiển.

Từ khóa: Bộ điều khiển, dữ liệu thực nghiệm, điều khiển tầng tối, FRIT.

## A New Method of Optimum Tuning for Cascade Control Systems

### ABSTRACT

Cascade control systems are widely used in practice with one or more loops inside the primary loop and the controllers are in cascade. In this structure, the control signal calculated by the outer loop is the setpoint of the inner loop. This paper presents an algorithm that directly uses the experimental data to simultaneously tune parameters of the controllers in cascade control systems. The algorithm does not require a mathematical model of the plant but only *one-shot* experimental data collected from the closed loop system.

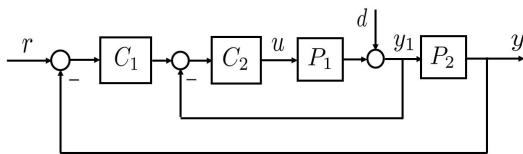
Keywords: Cascade control, data - driven approach, FRIT, optimal controller.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống điều khiển tầng (Hình 1) là cấu trúc được sử dụng khá rộng rãi trong thực tế điều khiển do khả năng đáp ứng tốt đối với sự tác động của nhiễu, khả năng điều chỉnh rộng, độ ổn định tốt, tốc độ nhanh và chính xác (Lee *et al.*, 1998; Marlin, 2000). Hệ thống điều khiển tầng đơn giản nhất gồm có hai vòng điều khiển được lồng vào nhau, đầu ra của bộ điều khiển thứ nhất  $C_1$  (primary controller) chính là giá trị đặt cho bộ điều khiển thứ hai  $C_2$  (secondary controller). Tín hiệu ra của bộ điều khiển thứ hai được đưa vào để điều khiển cơ cấu chấp hành. Trong hầu hết các ứng dụng, vòng điều khiển trong được thiết kế để giảm các tác động của nhiễu quá trình ( $d$ )

lên biến cần điều khiển (đầu ra  $y$ ). Thông thường, thông số của các bộ điều khiển trong hệ thống được tổng hợp dựa trên mô hình toán học của đối tượng điều khiển ( $P_1$  và  $P_2$ ). Quá trình tổng hợp thường được thực hiện từ vòng trong, rồi đến vòng ngoài (Lee *et al.*, 1998; Marlin, 2000). Tuy nhiên, khi vận hành với hệ thống thực, do ảnh hưởng của nhiễu và các sai số, thông số của bộ điều khiển cần được điều chỉnh để đáp ứng tốt các yêu cầu chất lượng của hệ thống, chẳng hạn như sự ổn định, độ quá điều chỉnh nhỏ, thời gian quá độ ngắn, không có sai lệch tĩnh,... Để giải quyết công việc này, người kỹ sư hoặc là phải tổng hợp lại hệ thống (bao gồm nhận dạng lại đối tượng, sau đó dựa vào mô hình toán học của đối tượng để tổng hợp bộ điều khiển) hoặc là dựa

theo kinh nghiệm để điều chỉnh các thông số. Như vậy, việc tìm ra thông số tối ưu của bộ điều khiển là một công việc khó khăn, đòi hỏi kinh nghiệm và tốn nhiều công sức. Sử dụng trực tiếp các dữ liệu thực nghiệm để điều chỉnh các thông số của bộ điều khiển (data-driven tuning approach), bỏ qua bước nhận dạng đối tượng là hướng đi mới, có hiệu quả và hứa hẹn nhiều triển vọng trong lĩnh vực điều khiển. Hjalmarsson *et al.* (1998) đã đề xuất phương pháp IFT (Iterative feedback tuning), đây là phương pháp sử dụng trực tiếp dữ liệu thu thập được từ hệ thống để xấp xỉ gradient của hàm mục tiêu, từ đó xác định nghiệm tối ưu của bài toán theo thuật toán lặp. Như vậy, ở mỗi bước lặp, IFT yêu cầu một tập dữ liệu thực nghiệm để xấp xỉ hàm gradient. Do đó, để xác định được bộ thông số tối ưu, IFT đòi hỏi phải tiến hành nhiều lần thực nghiệm, gây tốn kém về thời gian và công sức. Năm 2002, phương pháp VRFT (Virtual reference feedback tuning) ra đời với những ưu điểm vượt trội, VRFT chỉ yêu cầu một tập dữ liệu thực nghiệm duy nhất trong quá trình xác định bộ thông số tối ưu (Campi *et al.*, 2002). Các tác giả đã đề xuất một thuật toán tối ưu bằng cách xây dựng một hàm mục tiêu trong miền ảo. Hàm mục tiêu được xây dựng ở đây là cực tiểu hóa sự sai khác giữa tín hiệu vào thực tế và tín hiệu vào mong muốn 'ảo' của hệ thống. Tương tự với VRFT, FRIT (Fictitious reference iterative tuning) là phương pháp cũng chỉ yêu cầu một tập dữ liệu thực nghiệm để xác định bộ thông số tối ưu (Souma *et al.*, 2004). Tuy nhiên, hàm mục tiêu trong FRIT là sự sai khác giữa tín hiệu ra thực tế và tín hiệu ra mong muốn ảo, do đó, so với VRFT, phương pháp FRIT trực quan, dễ hiểu hơn.



**Hình 1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển tăng**

FRIT được đề xuất bởi Souma *et al.* (2004), sau đó được nghiên cứu phát triển và ứng dụng trong nhiều bài toán khác nhau như: Nhận

dạng đối tượng (Kaneko *et al.*, 2005), điều chỉnh tối ưu với cấu trúc IMC (Nguyen Thi Hien, 2013), cấu trúc hệ hai bậc tự do (Kaneko *et al.*, 2005),... FRIT là phương pháp sử dụng trực tiếp một tập dữ liệu vào/ra duy nhất (one-shot experimental data) của hệ thống để điều chỉnh thông số của bộ điều khiển sao cho hệ thống đạt được các chất lượng yêu cầu, thể hiện bằng một mô hình mẫu cho trước. FRIT không đòi hỏi mô hình toán học của đối tượng điều khiển (model-free), do đó tránh được các khó khăn trong quá trình nhận dạng đối tượng. Sử dụng FRIT để điều chỉnh thông số của các bộ điều khiển cho phép tiết kiệm tối đa thời gian, giảm thiểu các chi phí (bỏ qua bước nhận dạng đối tượng, yêu cầu chỉ duy nhất một lần thực nghiệm). Xuất phát từ ý nghĩa đó, bài báo nghiên cứu áp dụng FRIT, phương pháp sử dụng một tập dữ liệu vào/ra duy nhất của hệ thống để điều chỉnh đồng thời thông số của các bộ điều khiển trong hệ thống điều khiển tăng. Thuật toán không đòi hỏi mô hình toán học của đối tượng điều khiển, hơn nữa, dữ liệu thực nghiệm yêu cầu cũng có thể dễ dàng thu thập được từ hệ thống kín nên phương pháp mang ý nghĩa thực tiễn và hứa hẹn nhiều triển vọng trong nghiên cứu các hệ thống điều khiển.

Một số kí hiệu:  $\square$  - tập các số thực;  $\square^n$  - không gian vector thực,  $n$  chiều;  $\square(s)$  - tập các hàm truyền thực - hữu tỉ, hợp thức. Một tín hiệu  $w$  theo thời gian được kí hiệu là  $w(t)$ . Các tín hiệu vào và ra của hệ thống được kí hiệu tương ứng là  $u(t)$  và  $y(t)$ . Do đó, tập dữ liệu vào/ra thu thập được từ hệ thống trong khoảng thời gian hữu hạn, với thời gian lấy mẫu  $\Delta$  là  $\{u(\Delta), u(2\Delta), \dots, u(N\Delta)\}$  và  $\{y(\Delta), y(2\Delta), \dots, y(N\Delta)\}$ , trong đó:  $N$  là số lần lấy mẫu.

Một hàm truyền đạt được định nghĩa:  $G(s) = \frac{A(s)}{B(s)}$ , trong đó  $A(s)$  và  $B(s)$  là các đa thức nguyên tố. Tín hiệu ra  $y(t)$  của  $G(s)$  tương ứng với tín hiệu vào  $u(t)$  là nghiệm của phương trình vi phân  $B\left(\frac{d}{dt}\right)y = A\left(\frac{d}{dt}\right)u$ . Tuy nhiên, để cho dễ đọc, bài báo sử dụng cách viết:

$y = G.u$ , các đối số  $s$  hay  $t$  được bỏ qua khi có thể (khi không gây nhầm lẫn).

Với một dãy dữ liệu theo thời gian:  $w = \{w(\Delta), w(2\Delta), \dots, w(N\Delta)\}$ , định nghĩa:

$$\|w\|_N^2 := \sum_{k=1}^N (w(k\Delta))^2.$$

## 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP

### 2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của bài báo là các bộ điều khiển (thường là PI hoặc PID) trong hệ thống điều khiển tầng với hai vòng điều khiển. Trong các hệ thống này, đối tượng điều khiển được giả thiết là tuyến tính, bất biến theo thời gian - LTI và không có sẵn mô hình toán học (unknown plant). Phạm vi nghiên cứu của bài báo là các hệ thống điều khiển một vào - một ra SISO (single input - single output) và cho phép thu thập được các tín hiệu vào/ra. Hệ thống được giả thiết là làm việc trong điều kiện lý tưởng, không có tác động của nhiễu và các bộ điều khiển trong hệ thống có thể thay đổi được các thông số.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Kế thừa và sử dụng kết quả của các công trình nghiên cứu trước đó về hệ thống điều khiển tầng và thuật toán FRIT trong việc điều chỉnh thông số của bộ điều khiển để xây dựng thuật toán xác định đồng thời thông số tối ưu của các bộ điều khiển trong hệ thống điều khiển tầng.

Sử dụng Matlab viết chương trình và mô phỏng một hệ thống điều khiển cụ thể để minh họa và kiểm nghiệm thuật toán đã xây dựng.

## 3. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 3.1. Xây dựng mô hình toán học

Xét hệ thống điều khiển tầng với sơ đồ cấu trúc như ở hình 1, trong đó  $P_1$  và  $P_2$  là hàm truyền của đối tượng điều khiển,  $C_1$  và  $C_2$  là các bộ điều khiển,  $r$ ,  $u$ ,  $y_1$  và  $y$  lần lượt là các tín hiệu đặt, tín hiệu vào và ra của hệ thống, giả

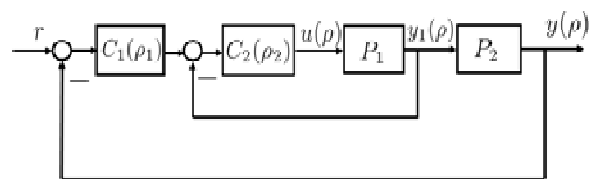
thiết nhiều  $d = 0$ . Đối tượng điều khiển  $P_1$  và  $P_2$  được giả thiết là LTI và chưa biết trước mô hình toán học. Các bộ điều khiển  $C_1$  và  $C_2$  được tham số hóa bởi vector  $\rho = \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \end{bmatrix}$ , trong đó:  $\rho_1 = [a_m \dots a_1 a_0 b_n \dots b_1]^T \in \mathbb{R}^{m+n+1}$  và  $\rho_2 = [c_k \dots c_1 c_0 d_l \dots d_1]^T \in \mathbb{R}^{k+l+1}$  như sau:

$$C_1(\rho) = \frac{a_m s^m + \dots + a_1 s + a_0}{b_n s^n + \dots + b_1 s + 1} \quad (m \leq n) \quad (1)$$

$$\text{và } C_2(\rho) = \frac{c_k s^k + \dots + c_1 s + c_0}{d_l s^l + \dots + d_1 s + 1} \quad (k \leq l) \quad (2)$$

Các tín hiệu vào/ra của hệ thống do đó cũng phụ thuộc vào bộ thông số  $\rho$  nên kí hiệu chúng lần lượt là  $u(\rho)$ ,  $y_1(\rho)$  và  $y(\rho)$  (Hình 2). Bài toán đặt ra là, bằng việc sử dụng trực tiếp tập dữ liệu vào/ra thu thập được từ hệ thống, xác định bộ thông số  $\rho^*$  sao cho hệ thống điều khiển đạt được các chất lượng mong muốn, thể hiện qua tín hiệu ra  $y(\rho^*)$  của hệ thống kín bám theo một tín hiệu ra mong muốn  $y_d := T_d r$  ( $T_d$  - hàm truyền đạt mong muốn). Nghĩa là, hàm mục tiêu của bài toán:

$$\min_{\rho} J(\rho) = \|y(\rho) - T_d r\|_N^2 \quad (3)$$



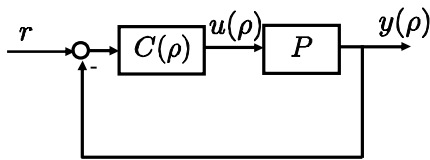
**Hình 2. Hệ thống điều khiển tầng với các bộ điều khiển được tham số hóa**

sẽ được tối ưu bằng việc sử dụng trực tiếp các dữ liệu thực nghiệm thu được từ hệ thống kín. Trên thực tế, việc tối ưu hàm mục tiêu (3) yêu cầu càng ít dữ liệu càng tốt. Thuật toán FRIT được trình bày dưới đây giúp chúng ta có thể tối ưu hàm mục tiêu (3) bằng cách chỉ sử dụng duy nhất một tập dữ liệu vào/ra của hệ thống mà không đòi hỏi mô hình toán học của đối tượng  $P_1$  và  $P_2$ .

### 3.2. FRIT (Souma *et al.*, 2004)

Xét một hệ thống điều khiển kín SISO cho ở hình 3, trong đó:  $P(s)$  là đối tượng điều khiển LTI,  $C(s)$  là bộ điều khiển,  $r$  là tín hiệu kích thích (tín hiệu đặt),  $u, y$  lần lượt là các tín hiệu vào, ra của hệ thống. Với giả thiết người thiết kế không biết mô hình toán học của đối tượng, bộ điều khiển được tham số hóa bởi vector  $\rho$ , ví dụ, với bộ điều khiển PI, ta có:  $C(\rho) = \frac{K_p s + K_i}{s}$

thì  $\rho = \begin{bmatrix} K_p \\ K_i \end{bmatrix}$ . Khi đó, tín hiệu vào/ra của hệ thống kín cũng sẽ phụ thuộc vào  $\rho$ , tương ứng được kí hiệu là  $u(\rho)$  và  $y(\rho)$  (Hình 3).



**Hình 3. Hệ thống điều khiển kín với bộ điều khiển được tham số hóa**

Bằng cách sử dụng trực tiếp một tập các tín hiệu  $u, y$  của hệ thống, FRIT cho phép xác định thông số tối ưu của bộ điều khiển qua các bước thực hiện sau:

1) Giả thiết một bộ thông số ban đầu  $\rho^0$  và tiến hành thực nghiệm để thu thập tín hiệu vào/ra  $u(\rho^0) / y(\rho^0)$  của hệ thống kín.

Bộ điều khiển  $C(\rho^0)$  được giả thiết là có thể làm cho hệ thống kín ổn định BIBO (bounded input - bounded output).

2) Sử dụng tập dữ liệu thực nghiệm này để xác định tín hiệu đặt ‘ảo’ (fictitious reference signal):  $\tilde{r}(\rho) = C^{-1}(\rho)u(\rho^0) + y(\rho^0)$  (tín hiệu ảo được giới thiệu lần đầu bởi Safonov and Tsao (1997) nhưng trong FRIT nó được sử dụng với mục đích khác, cụ thể xem Souma *et al.*, 2004). Chú ý rằng, với tín hiệu kích thích này, tín hiệu ra của hệ thống kín luôn luôn bằng với tín hiệu ra ban đầu  $y(\rho^0)$ , đồng thời, ứng với tín hiệu kích thích này, đầu ra mong muốn ảo (fictitious

output) là  $\tilde{y}_d(\rho) = T_d \tilde{r}(\rho)$ .

3) Xây dựng hàm mục tiêu trong miền ảo:  $\min_{\rho} J_F(\rho) = \|y(\rho^0) - T_d \tilde{r}(\rho)\|_N^2$  và xác định thông số tối ưu  $\rho^* = \arg \min_{\rho} J_F(\rho)$  bằng các thuật toán tối ưu đã biết, ví dụ: Gauss - Newton, tương ứng ta có bộ điều khiển  $C(\rho^*)$  tối ưu. Nghĩa là, hệ thống với bộ điều khiển  $C(\rho^*)$  có tín hiệu ra có thể bám theo đường đặc tính mẫu  $y_d$  cho trước.

Chú ý rằng, hàm mục tiêu  $J_F(\rho)$  chỉ phụ thuộc vào dữ liệu ban đầu  $u(\rho^0) / y(\rho^0)$ , nên việc cực tiểu hóa  $J_F(\rho)$  có thể thực hiện *off-line* bằng các phương pháp tính toán tối ưu. Như vậy, bằng việc chỉ sử dụng một tập dữ liệu vào/ra  $u(\rho^0) / y(\rho^0)$  của hệ thống kín, ta có thể tìm được thông số tối ưu của bộ điều khiển, nghĩa là khi sử dụng bộ điều khiển với thông số này, đáp ứng của hệ thống kín sẽ đạt được các yêu cầu mong muốn.

## 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

### 4.1. FRIT với hệ thống điều khiển tăng

Giả sử, từ một bộ thông số ban đầu  $\rho^0$  tiến hành thực nghiệm để thu thập các dữ liệu  $\{u(\rho^0), y_1(\rho^0), y(\rho^0)\}$ , sử dụng tập dữ liệu thực nghiệm này, chúng tôi giới thiệu tín hiệu kích thích  $\tilde{r}(\rho^i)$  tại bước tính thứ  $i$ :

$$\tilde{r}(\rho^i) = C_1^{-1}(\rho^i).C_2^{-1}(\rho^i).u(\rho^0) + C_1^{-1}(\rho^i).y_1(\rho^0) + y(\rho^0) \quad (4)$$

Nhận thấy, với tín hiệu kích thích (4), tín hiệu ra của hệ thống ứng với bộ thông số  $\rho^i$  bất kỳ luôn luôn trùng với tín hiệu ra ứng với bộ thông số ban đầu  $\rho^0$ . Thật vậy:

$$y(\rho^i) = G_{ry}(\rho^i).\tilde{r}(\rho^i) \equiv y(\rho^0) \quad (5)$$

Trong đó:  $G_{ry}(\rho^i)$  là hàm truyền của hệ thống kín từ  $r$  đến  $y$ :

$$G_{ry}(\rho^i) = \frac{P_1 P_2 K C_1(\rho^i) C_2(\rho^i)}{1 + K P_1 C_2(\rho^i) + P_1 P_2 K C_1(\rho^i) C_2(\rho^i)} \quad (6)$$

Sai lệch giữa tín hiệu ra thực của hệ thống và tín hiệu ra mong muốn ‘ảo’ được xác định:

$$\tilde{e}(\rho^i) := y(\rho^0) - T_d \tilde{r}(\rho^i) \quad (7)$$

Nhận thấy, sai lệch (8) có thể tính toán *off-line* tại bước tính thứ  $i$ . Từ đây, ta xây dựng hàm mục tiêu trong miền ảo:

$$J_F(\rho) = \|\tilde{e}(\rho)\|_N^2 = \|y(\rho^0) - T_d \tilde{r}(\rho)\|_N^2 \rightarrow \min \quad (8)$$

với  $\tilde{r}(\rho)$  được xác định theo (4).

**Định lý:** Giả thiết rằng ta có thể thu được tập các dữ liệu vào/ra  $\{u(\rho^0), y_1(\rho^0), y(\rho^0)\}$  của hệ thống điều khiển tầng cho ở hình 2 ứng với bộ thông số  $\rho^0$ , thì  $\lim_{\rho \rightarrow \rho^*} J(\rho) = 0$  khi và chỉ khi  $\lim_{\rho \rightarrow \rho^*} J_F(\rho) = 0$ .

*Chứng minh:* Thật vậy, sử dụng công thức (5), hàm mục tiêu (8) có thể được viết:

$$J_F(\rho) = \|(G_{ry}(\rho) - T_d) \tilde{r}(\rho)\|_N^2 \quad (9)$$

hay:

$$J_F(\rho) = \left\| \left( 1 - \frac{T_d}{G_{ry}(\rho)} \right) y(\rho^0) \right\|_N^2 \quad (10)$$

Các công thức (9) và (10) cho thấy, nếu chúng ta có thể tìm được nghiệm chính xác  $\rho^*$  của  $J_F(\rho) = 0$  thì  $G_{ry}(\rho^*) = T_d$  và do đó  $J(\rho^*) = \|(G_{ry}(\rho^*) - T_d) \tilde{r}\|_N^2 = 0$  thỏa mãn. Ngược lại, nếu  $J(\rho^*) = 0$  tại  $\rho^*$  thì  $G_{ry}(\rho^*) = T_d$ , và đương nhiên  $J_F(\rho^*) = 0$ . Trường hợp không thể tìm được nghiệm chính xác của phương trình  $J_F(\rho) = 0$  thì Souma *et al.* (2004) đã chứng minh rằng khi hàm mục tiêu (8) giảm với các tập thông số  $\rho$  thì hàm mục tiêu (3) tương ứng cũng giảm theo. Nghĩa là, bằng việc tìm nghiệm của hàm mục tiêu (8), chúng ta có thể xác định được nghiệm yêu cầu của bài toán.  $\square$

Nghiệm tối ưu của (9) có thể xác định theo công thức lặp Gauss - Newton (Nguyen Thi Hien, 2013; Souma *et al.*, 2004):

$$\rho^{i+1} = \rho^i - \gamma \cdot R_i^{-1} \cdot \left. \frac{\partial J_F(\rho)}{\partial \rho} \right|_{\rho=\rho^i} \quad (11)$$

Trong đó:  $\gamma$  là hệ số dương xác định tốc độ hội tụ của phép lặp.

$\left. \frac{\partial J_F(\rho)}{\partial \rho} \right|_{\rho=\rho^i}$  là ma trận Jacobi hay gradient của hàm mục tiêu

$$\left. \frac{\partial J_F(\rho)}{\partial \rho} \right|_{\rho=\rho^i} = \sum_{k=1}^N \tilde{e}(\rho)_k \cdot \left( \left. \frac{\partial \tilde{e}(\rho)}{\partial \rho} \right|_{\rho=\rho^i} \right) \quad (12)$$

$R$  là ma trận Hessian của hàm mục tiêu, có thể xấp xỉ:

$$R_i = \left( \left. \frac{\partial J_F(\rho)}{\partial \rho} \right|_{\rho=\rho^i} \right)^T \cdot \left( \left. \frac{\partial J_F(\rho)}{\partial \rho} \right|_{\rho=\rho^i} \right) \quad (13)$$

## 4.2. Thuật toán

Thuật toán FRIT nhằm xác định thông số tối ưu bộ điều khiển trong hệ thống điều khiển tầng có thể tóm lược như sau:

*Bước 1:* Chuẩn bị một bộ thông số  $\rho^0$  ban đầu và một mô hình mẫu  $T_d$  thể hiện cho chất lượng yêu cầu của hệ thống.

Bộ thông số  $\rho^0$  được giả thiết là có thể làm hệ thống ổn định BIBO.

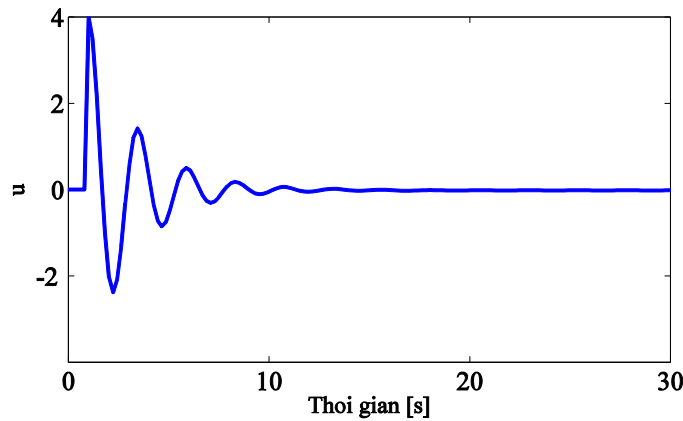
*Bước 2:* Tiến hành làm thực nghiệm và thu thập tập các tín hiệu vào/ra của hệ thống  $\{u(\rho^0), y_1(\rho^0), y(\rho^0)\}$ .

*Bước 3:* Xây dựng tín hiệu kích thích ảo  $\tilde{r}(\rho)$  theo (4).

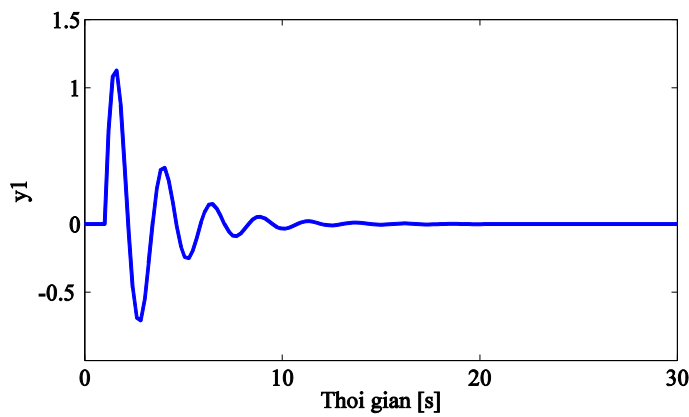
*Bước 4:* Xây dựng hàm mục tiêu (8) và tiến hành cực tiểu hóa (off-line) theo công thức lặp (11) để xác định bộ thông số tối ưu  $\rho^*$ . Hệ thống với bộ điều khiển  $C_1(\rho^*)$  và  $C_2(\rho^*)$  có tín hiệu ra có thể bám theo đặc tính đầu ra  $y_d$  mong muốn.

## 4.3. Ví dụ minh họa

Để minh họa cho thuật toán đã xây dựng, chúng tôi áp dụng cho hệ thống điều khiển tầng với các hàm truyền đạt của đối tượng được giả thiết:  $P_1 = \frac{1}{s+1}$  và  $P_2 = \frac{1}{0,5s}$ . Bài toán được lập trình và mô phỏng bằng Matlab.



Hình 4. Tín hiệu  $u(\rho^0)$  thu thập từ hệ thống



Hình 5. Tín hiệu  $y_1(\rho^0)$  thu thập từ hệ thống

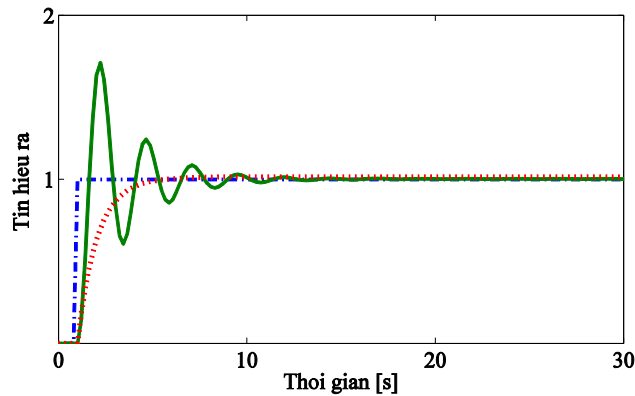
Bộ điều khiển PI được sử dụng cho các vòng điều khiển:  $C_1(\rho_1) = \frac{K_{p1}s + K_{t1}}{s}$  và  $C_2(\rho_2) = \frac{K_{p2}s + K_{t2}}{s}$ , như vậy vector  $\rho = [K_{p1} \ K_{t1} \ K_{p2} \ K_{t2}]^T$ . Sử dụng bộ tham số ban đầu  $\rho^0 = [2 \ 2 \ 2 \ 2]^T$ , tiến hành mô phỏng bằng Simulink để thu thập các tín hiệu vào/ra của hệ thống. Hình 4 và hình 5 thể hiện các tín hiệu  $u(\rho^0)$  và  $y_1(\rho^0)$  của hệ thống. Trong hình 6, tín hiệu đặt  $r$  được biểu diễn bằng đường chấm - gạch, tín hiệu ra  $y(\rho^0)$  của hệ thống và tín hiệu ra mong muốn  $T_d r$  được lần lượt thể hiện bằng đường nét liền và đường chấm. Hình 6 cho thấy đầu ra của hệ thống ứng với bộ thông số ban đầu  $\rho^0$  có độ quá điều chỉnh lớn, dao động và sai khác khá nhiều so với đầu ra mong muốn, như vậy việc điều chỉnh thông số

của bộ điều khiển sao cho hệ thống bám theo đường đặc tính mẫu là cần thiết.

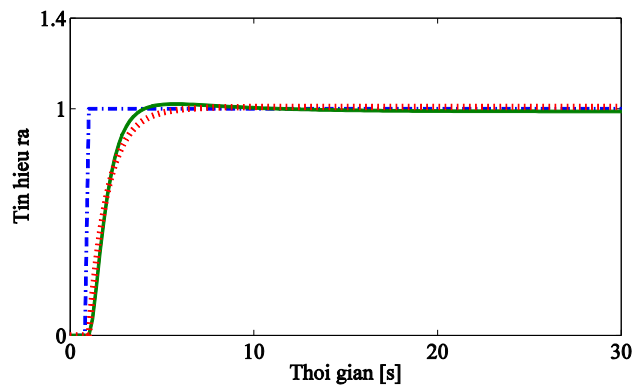
Áp dụng thuật toán FRIT đã xây dựng cho hệ thống điều khiển tầng thu được kết quả tối ưu  $\rho^* = [0,6019 \ 0 \ 4,0708 \ 0,8561]^T$ . Với bộ thông số này, hệ thống có đầu ra  $y(\rho^*)$  (đường nét liền) được mô tả trong hình 7. So sánh với đặc tính mẫu  $T_d r$  (đường chấm), có thể nói đặc tính đầu ra của hệ thống với bộ thông số  $\rho^*$  có thể bám khá sát theo đặc tính mong muốn, nghĩa là hệ thống điều khiển có thể đạt được các yêu cầu chất lượng đặt ra của hệ thống.

#### 4.4. Nhận xét

Thuật toán FRIT đã xây dựng cho hệ thống điều khiển tầng với hai vòng điều khiển tỏ ra khá



**Hình 6. Tín hiệu ra của hệ thống: Tín hiệu ra thực tế  $y(\rho^0)$  (đường nét liền), tín hiệu ra mong muốn  $T_d r$  (đường chấm) và tín hiệu kích thích  $r$  (đường chấm - gạch)**



**Hình 7. Tín hiệu ra của hệ thống sau khi điều chỉnh: Tín hiệu ra thực tế  $y(\rho^*)$  (đường nét liền), tín hiệu ra mong muốn  $T_d r$  (đường chấm) và tín hiệu kích thích  $r$  (đường chấm - gạch)**

khá hiệu quả khi sử dụng trực tiếp chỉ một tập dữ liệu thực nghiệm để xác định đồng thời thông số tối ưu của các bộ điều khiển. Thuật toán có ý nghĩa thực tiễn khi không đòi hỏi mô hình toán học của đối tượng điều khiển, làm giảm khối lượng tính toán rất nhiều. Kết quả mô phỏng cho thấy, hệ thống với bộ điều khiển tối ưu tìm được có tín hiệu ra có thể bám khá tốt theo tín hiệu ra mong muốn.

## 5. KẾT LUẬN

Hệ thống điều khiển tầng là cấu trúc được sử dụng nhiều trong các hệ thống điều khiển tự động do khả năng đáp ứng nhanh và tốt đối với

tác động của nhiễu. Việc điều chỉnh thông số của các bộ điều khiển trong quá trình làm việc thực tế của hệ thống là cần thiết do bộ điều khiển thường không đáp ứng được các yêu cầu đặt ra (do các sai số trong quá trình tổng hợp, do các tác động nhiễu,...). Bằng việc sử dụng trực tiếp một tập dữ liệu vào/ra của hệ thống, bài báo đã xây dựng một thuật toán cho phép điều chỉnh đồng thời thông số của các bộ điều khiển trong hệ thống điều khiển tầng, mà không đòi hỏi mô hình toán học của đối tượng điều khiển. Hệ thống với bộ điều khiển được tổng hợp có tín hiệu ra bám khá tốt theo đường đặc tính mẫu. Kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp tỏ ra hiệu quả và mang ý nghĩa thực tế khi không

phải thực hiện bài toán nhận dạng đối tượng, hơn nữa, bộ dữ liệu vào/ra sử dụng trong thuật toán có thể thu thập trực tiếp từ hệ thống kín. Tuy nhiên, thuật toán mới chỉ áp dụng với hệ thống lý tưởng, bỏ qua tác động của nhiễu. Mặt khác, kết quả tối ưu của bài toán phụ thuộc vào tập các dữ liệu ban đầu do hàm mục tiêu là phi tuyến. Nghiên cứu thuật toán với tác động của nhiễu cũng như xem xét ảnh hưởng của tập dữ liệu thực nghiệm đến kết quả tối ưu sẽ được quan tâm trong thời gian tới.

## LỜI CẢM ƠN

Kết quả nghiên cứu của bài báo nhận được một phần kinh phí hỗ trợ từ đề tài cấp cơ sở năm 2014, mã số T2014 - 05 - 07.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

Campi M. C., A. Lecchini, and S. M. Savaresi (2002). Virtual reference feedback tuning: A direct method for design of feedback controllers. *Automatica*, 38(8): 1337-1346.

- Kaneko O., S. Souma, T. Fujii (2005). A fictitious reference iterative tuning (FRIT) in the two-degree of freedom control scheme and its application to closed loop system identification. *Proceedings of the 16<sup>th</sup> IFAC World Congress*, pp. 104-109.
- Nguyen Thi Hien (2013). *Studies on data - driven approach in internal model control*, PhD. dissertation, Kanazawa University, Japan.
- Hjalmarsson H., M. Gevers, S. Gunnarsson, and O. Lequin (1998). Iterative feedback tuning: Theory and application. *IEEE Control Systems Magazine*, 18(4): 26-41.
- Lee Y., Park S. and Lee M. (1998). PID controller tuning to obtain desired closed loop responses for cascade control systems. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 37(5): 1859-1865.
- Marlin T. E. (2000). *Process control*. McGraw-Hill, 2<sup>nd</sup> Edition, ISBN: 0070393621.
- Safonov M. G. and T. C. Tsao (1997). The unfalsified control concept and learning. *IEEE Transaction on Automatic Control*, 42(6): 843-847.
- Souma S., O. Kaneko and T. Fujii (2004). A new method of controller parameter tuning based on input-output data - fictitious reference iterative tuning (FRIT). *Proceedings of the 8th IFAC Workshop on Adaptation and Learning Control and Signal Processing (ALCOSP 04)*, pp. 788-794.