

BÀN VỀ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN TÍCH CỰC LOẠI BỎ NHIỄU (ADRC)

DISCUSSION ON THE ACTIVE DISTURBANCE REJECTION CONTROL (ADRC) METHOD

Phạm Văn Tuynh¹, Trần Văn Kiên²

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; phamvantuynh1992@gmail.com

²Đại học Khoa học Ứng dụng Cao Hùng (KUAS); kiensee@gmail.com

Tóm tắt - Bài báo này giới thiệu về một phương pháp điều khiển mới, đó là phương pháp điều khiển ADRC (Active Disturbance Rejection Control), trong đó đi sâu vào giới thiệu bộ điều khiển ADRC tuyến tính áp dụng cho các đối tượng có dạng của khâu quán tính bậc nhất. Ưu điểm chính của phương pháp ADRC so với phương pháp PID truyền thống là chỉ cần ít thông tin về đối tượng ta đã có thể tính toán được bộ điều khiển. Để thể hiện được kết quả điều khiển của nó, một mô hình của khối lò hơi - tua bin đã được sử dụng cho việc mô phỏng. Bên cạnh việc thu được kết quả khi sử dụng bộ điều khiển ADRC, ta cũng sẽ so sánh với kết quả của bộ điều khiển PID để thấy được sự khác nhau giữa hai phương pháp điều khiển này.

Từ khóa - ADRC tuyến tính; bậc nhất; lò hơi- tua bin; mô hình; ổn định; quan sát trạng thái.

1. Phần mở đầu

Khái niệm về ADRC (Active Disturbance Rejection Control) được giới thiệu bởi Jinqing Han và sau đó được hệ thống lại trong phiên bản tiếng Anh công bố lần đầu tiên bởi Zhiqiang Gao [1]. Trong bài viết của mình, Jinqing Han đã chỉ ra một số nhược điểm của bộ điều khiển PID:

- Có một vài điều kiện ảnh hưởng đến việc đạt đến trạng thái ổn định như hiện tượng bão hòa tích phân.

- Thường được triển khai thiếu thành phần D do sự nhạy cảm của khâu vi phân đối với các nhiễu.

- Trong nhiều trường hợp, việc tìm được một bộ điều khiển trở nên khó khăn do phụ thuộc nhiều vào mô hình đối tượng.

ADRC là một chiến lược điều khiển mạnh mẽ, nơi các mô hình của hệ thống được mở rộng với một biến trạng thái mới, trong đó bao gồm tất cả các động học chưa rõ và rối loạn còn sót lại không được chú ý trong mô tả đối tượng thông thường. Việc ước tính trực tuyến của trạng thái mới này được thực hiện bằng cách sử dụng bộ quan sát trạng thái mở rộng (Extended State Observer – ESO). Bộ quan sát này có nhiệm vụ theo dõi và ước lượng các nhiễu tác động trực tiếp, các sai số của việc mô hình hóa đối tượng so với thực tế. Bằng cách đó, mặc dù chỉ có một mô hình với độ chính xác không cao, chúng ta vẫn có thể thiết kế được một bộ điều khiển có chất lượng tốt, mạnh mẽ chống lại các biến động cho đối tượng thực tế, do đó gián tiếp giúp đơn giản hoá mô hình. Bất kỳ sự khác biệt trong mô hình sẽ không ảnh hưởng đến các cơ chế kiểm soát, bao gồm tất cả những bất ổn trong các biến trạng thái mở rộng.

Khả năng điều khiển sâu và làm giảm tính bất ổn của phương pháp này làm cho nó trở thành một giải pháp thú vị trong trường hợp mà các thông tin đầy đủ về hệ thống là không sẵn có. Điều này làm cho ADRC có thể trở thành sự lựa chọn hấp dẫn, đáng được cân nhắc cho các kỹ sư điều khiển. Phương pháp điều khiển ADRC được đánh giá như là một đại diện thay thế cho phương pháp điều khiển PID cổ

Abstract - This paper introduces a new control method namely ADRC (Active Disturbance Rejection Control), especially the linear ADRC controller applied to the object in the form of first order inertia. The main advantage of the ADRC method compared with the traditional PID one is that only with some limited information about the subjects we are still able to calculate the controller. To demonstrate the results of its control, a model of block boiler - turbine is used for the simulation. In addition the results obtained when using ADRC controller will also be compared with those of a PID controller to see the difference between these two methods of control.

Key words - linear ADRC; first order; boiler – turbine; model; stable; observe a state.

điển. Hiện nay phương pháp này được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như: điện tử công suất, điều khiển nhiệt độ...

Về bộ ADRC tuyến tính, có thể khái quát cấu trúc ADRC tuyến tính bao gồm các thành phần cơ bản sau:

- TD (Tracking Differentiator): thành phần quyết định tốc độ ổn định và quỹ đạo đáp ứng đầu ra của đối tượng. Thành phần TD có thể được rút ra từ quỹ đạo mong muốn của hệ thống. Những tiêu chuẩn về chất lượng điều khiển sẽ được sử dụng để tính toán.

- ESO (Extended State Observer): thành phần ước lượng nhiễu và sai số mô hình.

Nếu xác định được 2 thành phần trên, ta có thể điều khiển được đối tượng mong muốn.

2. Nội dung chính

2.1. Tổng quan về bộ điều khiển ADRC tuyến tính

Việc thiết kế một bộ điều khiển ADRC dù là tuyến tính hay phi tuyến, sẽ có khá nhiều cách để đi đến các kết quả khác nhau. Trong nội dung bài báo này ta sẽ xét đến một phương pháp xây dựng bộ điều khiển ADRC tuyến tính cho các đối tượng bậc nhất [5].

Xét một cấu trúc không gian trạng thái sau:

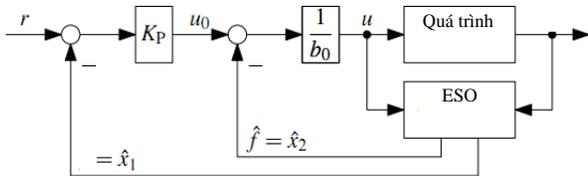
$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax + bu + d(t) \\ y = cx + du \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó tất cả nhiễu và sai số của việc mô hình hoá sẽ được đưa vào $d(t)$. Ta sẽ thấy rằng các nhiễu và sai số này sẽ không ảnh hưởng tới quá trình tìm ra bộ điều khiển ADRC tuyến tính và kết quả điều khiển của nó.

Xét phương trình thứ nhất trong hệ phương trình (1), ta viết lại như sau:

$$\frac{dx}{dt} = \underbrace{(a \cdot x(t) + d(t) + \Delta b \cdot u(t))}_{f(0)} + b_0 u \quad (2)$$

Trong (2), ta đã tách $b = b_0 + \Delta b$, với b_0 là thành phần của b đã biết trong mô hình của đối tượng; Δb được coi là thành phần chưa biết đến, đó là sai số xuất phát từ việc mô hình hóa so với thực tế. Tất cả các thành phần $d(t)$, $a.x(t)$, $\Delta b.u(t)$ sẽ được gom lại thành một và coi là nhiễu tổng duy nhất còn lại $f(t)$. Và giờ đây, một phương trình khá cồng kềnh đã được đơn giản hóa đi rất nhiều. Nếu như có thể tìm được một giá trị $\hat{f}(t) \approx f(t)$, chỉ cần thêm một khâu tích phân, ta có thể giải ra được x và y . Vì lý do này, một bộ quan sát trạng thái mở rộng (ESO) đã được đưa ra. ESO cũng là điểm mấu chốt cho bất cứ bộ điều khiển ADRC nào khác. Bộ quan sát này sẽ giúp ta ước lượng được giá trị xấp xỉ $\hat{f}(t)$ của $f(t)$.



Hình 1. Cấu trúc vòng điều khiển ADRC tuyến tính

Để xây dựng được ESO, trước hết, ta viết lại phương trình (1) dưới dạng hệ phương trình không gian trạng thái như sau:

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} \dot{v}_1(t) \\ \dot{v}_2(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_1(t) \\ v_2(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot u(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot f(t) \\ x(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_1(t) \\ v_2(t) \end{pmatrix} \end{cases} \quad (3)$$

Ở hệ phương trình (3) xuất hiện thêm một đầu vào ảo $\hat{f}(t)$, đầu vào ảo này không thể đo được trực tiếp, nhưng chúng ta có thể ước lượng được nó dựa vào ESO. Việc ước lượng chỉ dựa trên sự đo đạc và xử lý các đầu vào $u(t)$ và đầu ra $x(t)$ của quá trình này. Phương trình của bộ quan sát trạng thái mở rộng được đưa ra như (4):

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \dot{\hat{v}}_1(t) \\ \dot{\hat{v}}_2(t) \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{v}_1(t) \\ \hat{v}_2(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot u(t) + \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \end{pmatrix} \cdot (x(t) - \hat{v}_1(t)) \\ &= \underbrace{\begin{pmatrix} -l_1 & 1 \\ -l_2 & 0 \end{pmatrix}}_{A_E} \cdot \begin{pmatrix} \hat{v}_1(t) \\ \hat{v}_2(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot u(t) + \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \end{pmatrix} \cdot x(t) \end{aligned} \quad (4)$$

Trong phương trình trên $\hat{v}_1(t) = \hat{x}(t)$; $\hat{v}_2(t) = \hat{f}(t)$, dựa trên cách ước lượng này, việc loại bỏ nhiễu được thực hiện thông qua luật điều khiển sau:

$$u(t) = \frac{u_0(t) - \hat{f}(t)}{b_0} \text{ với } u_0(t) = K_p \cdot (r(t) - \hat{x}(t)) \quad (5)$$

Thay (5) vào (2):

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= f(t) + b_0 \cdot \frac{u_0(t) - \hat{f}(t)}{b_0} \\ &= [f(t) - \hat{f}(t)] + u_0(t) \approx u_0(t) = K_p \cdot [r(t) - \hat{x}(t)] \end{aligned} \quad (6)$$

Nếu như $\hat{x}(t) \approx x(t)$, ta sẽ nhận được hàm truyền của vòng kín có dạng một khâu bậc nhất với một điểm cực

$$s^{*k} = -K_p \cdot \frac{1}{K_p} \dot{x}(t) + \hat{x}(t) \approx \frac{1}{K_p} \dot{x}(t) + x(t) \approx r(t) \quad (7)$$

Trên đây là phần đưa ra bộ quan sát và cấu trúc điều khiển sử dụng nó. Việc tính toán các thông số của bộ điều khiển sẽ được thực hiện trong phần sau đây với chỉ một yêu

cầu cần được biết trước, đó là thời gian quá độ. Ta sẽ tính toán bộ điều khiển dựa trên thời gian quá độ để đạt đến độ quá điều chỉnh $\sigma\% = 2\%$. Từ (7), thực hiện phép biến đổi Laplace 2 vế, ta sẽ thu được:

$$G(s) = \frac{X(s)}{R(s)} = \frac{1}{\frac{1}{K_p} s + 1} \quad (8)$$

Từ (8), có thể thấy rằng thời gian quá độ để đạt được

$$\sigma\% = 2\% \text{ là: } T_{2\%} \approx \frac{4}{K_p} \Rightarrow K_p \approx \frac{4}{T_{2\%}} \quad (9)$$

Cuối cùng, việc còn lại là phải tìm được 2 tham số của bộ quan sát trạng thái mở rộng l_1, l_2 trong phương trình (4). Việc tìm ra l_1, l_2 sẽ dựa trên nguyên tắc gán các điểm cực hợp lý cho bộ quan sát. Để bộ điều khiển có thể làm việc tốt thì bộ quan sát của nó phải có đặc tính động học đủ nhanh, nói cách khác, các điểm cực của bộ quan sát ($s_{1,2}^{ESO}$) phải được đặt ở bên trái điểm cực của vòng kín. Có thể chọn như sau:

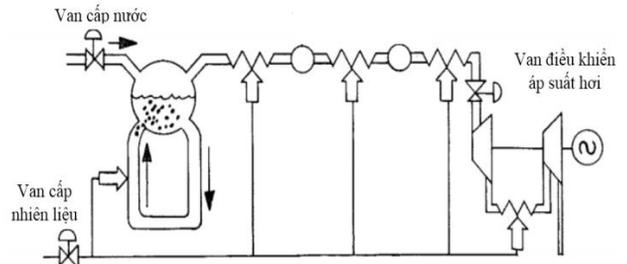
$$s_{1,2}^{ESO} = s^{ESO} = (5 \div 10) s^{*k} \text{ với } s^{*k} = -K_p \quad (10)$$

Từ phương trình đặc trưng của (4), chúng ta có thể suy ra được l_1, l_2 bằng cách đồng nhất các hệ số của phương trình sau:

$$\begin{aligned} \det(sI - A_E) &= s^2 + l_1 s + l_2 = (s - s^{ESO})^2 = s^2 - 2s^{ESO} \cdot s + (s^{ESO})^2 \\ \Rightarrow l_1 &= -2s^{ESO}; l_2 = (s^{ESO})^2. \end{aligned} \quad (11)$$

2.2. Điều khiển tách kênh đối tượng lò hơi- tua bin dùng phương pháp ADRC

2.2.1. Điều khiển tách kênh đối tượng lò hơi- tua bin dùng phương pháp ADRC



Hình 2. Cấu trúc đơn giản của khối lò hơi- tua bin [6]

Khối lò hơi – tua bin là một đối tượng phi tuyến, đa biến và tác động xen kênh mạnh mẽ [2], [6]. Cuối những năm 1970, Bell và Astrom đã trải qua quá trình dài nghiên cứu và thực nghiệm với đối tượng lò hơi – tua bin 160 MW dùng nhiên liệu dầu tại nhà máy điện Synvendska Kraft AB, Malmo, Thụy Điển. Năm 1979, Bell và Astrom đã đưa ra mô hình động học của đối tượng trên [3]:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -0.0018u_2 x_1^{\frac{9}{8}} + 0.9u_1 - 0.15u_3 \\ \dot{x}_2 = (0.073u_2 - 0.016)x_2^{\frac{9}{8}} - 0.1x_2 \\ \dot{x}_3 = (141u_3 - (1.1u_2 - 0.19)x_1) / 85 \\ y_1 = x_1 \\ y_2 = x_2 \\ y_3 = 0.05(0.13073x_3 + 100a_{cs} + \frac{q_c}{9} - 67.975) \end{cases} \quad (12)$$

Mô hình này bị lược bớt còn lại 3 đầu vào và 3 đầu ra. Tuy nhiên, các tác giả đã kiểm nghiệm rằng những đặc tính

nhận được khi thực hiện mô phỏng khá sát với thực tế.

Bảng 1. Một số điểm làm việc đặc trưng của mô hình [3]

	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
X_1^0	75,6	86,4	97,2	108	118,8	129,6	140,4
X_2^0	15,27	36,65	50,52	66,65	85,6	105,8	128,9
X_3^0	299,6	342,4	385,2	428	470,8	513,6	556,4
U_1^0	0,156	0,209	0,271	0,34	0,418	0,505	0,6
U_2^0	0,483	0,552	0,621	0,69	0,759	0,828	0,897
U_3^0	0,183	0,256	0,34	0,433	0,543	0,663	0,793
Y_3^0	-0,97	-0,65	-0,32	0	0,32	0,64	0,97

Để có thể thiết kế các bộ điều khiển cho đối tượng này, ta sẽ tuyến tính hóa mô hình (12). Hầu hết các nghiên cứu về đối tượng lò hơi – tua bin trên đều quan tâm tới điểm làm việc số 4. Do đó, trong bài báo này, một mô hình được tuyến tính hóa quanh điểm làm việc số 4 trong Bảng 1 sẽ được đưa ra. Kết quả được thể hiện trong (13) [3].

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -2.509 \times 10^{-3} x_1 + 0.9u_1 - 0.349u_2 - 0.15u_3 \\ \dot{x}_2 = 6.94 \times 10^{-2} x_1 - 0.1x_2 + 14.155u_2 \\ \dot{x}_3 = -6.69 \times 10^{-3} x_1 - 1.398u_2 + 1.659u_3 \\ y_1 = x_1 \\ y_2 = x_2 \\ y_3 = 6.34 \times 10^{-3} x_1 + 4.71 \times 10^{-3} x_3 + 0.253u_1 + 0.512u_2 - 0.014u_3 \end{cases} \quad (13)$$

2.2.2. Tính toán bộ điều khiển tách kênh ADRC

Một trong những mục đích điều khiển của việc sử dụng ESO là tách kênh hệ thống. Vì vậy, ta sẽ thiết kế các ESO riêng cho từng cặp đầu vào ra: $(u_1 / y_1; u_2 / y_2; u_3 / y_3)$.

Đối với trạng thái đầu tiên trong (13), ta có:

$$\dot{x}_1 = \underbrace{-2.509 \times 10^{-3} x_1 - 0.349 u_2 - 0.15 u_3}_{f_1(t)} + 0.9 u_1 = f_1(t) + b_{01} u_1$$

$$\Rightarrow b_{01} = 0,9$$

Phương trình trạng thái của bộ quan sát trạng thái mở rộng ESO1, và luật điều khiển $u_1(t)$:

$$\begin{pmatrix} \dot{\hat{v}}_{11}(t) \\ \dot{\hat{v}}_{12}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -l_{11} & 1 \\ -l_{12} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{v}_{11}(t) \\ \hat{v}_{12}(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_{01} \\ 0 \end{pmatrix} u_1(t) + \begin{pmatrix} l_{11} \\ l_{12} \end{pmatrix} x_1(t)$$

$$u_1(t) = \frac{K_{p1} [r(t) - \hat{x}_1(t)] - \hat{f}_1(t)}{b_{01}} = \frac{K_{p1} [r(t) - \hat{v}_{11}(t)] - \hat{v}_{12}(t)}{b_{01}}$$

Chọn thời gian quá độ cho x_1 là $T_1 = 40(s)$, theo (4.9):

$$K_{p1} = \frac{4}{T_1} = 0,1 \Rightarrow s^{vk1} = -K_{p1} = -0,1 \quad (14)$$

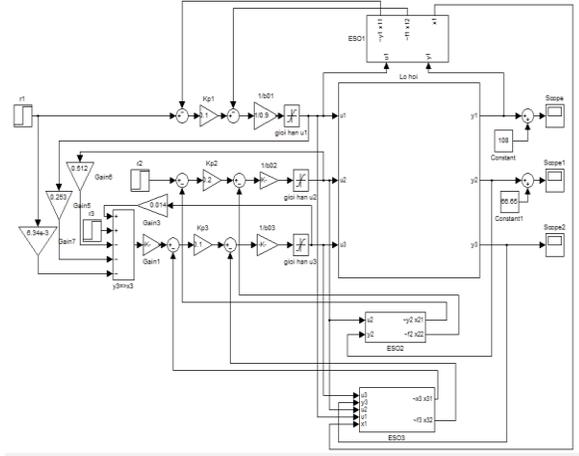
Theo (10), lấy $s^{ESO1} = 10s^{vk1} = -10K_{p1} = -1$

$$\begin{cases} l_{11} = -2s^{ESO1} = 2 \\ l_{12} = (s^{ESO1})^2 = 1 \end{cases}$$

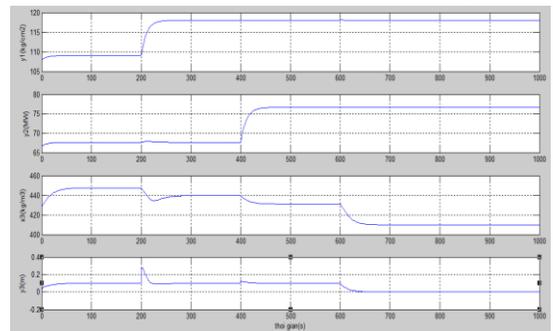
Tính toán tương tự trên đối với trạng thái thứ 2 và thứ 3, ta được các tham số của các bộ điều khiển ADRC cho đối tượng lò hơi – tua bin:

$$ADRC_1 : \begin{cases} K_{p1} = 0.1 \\ l_{11} = 2 \\ l_{12} = 1 \end{cases} \quad ADRC_2 : \begin{cases} K_{p2} = 0.2 \\ l_{21} = 4 \\ l_{22} = 4 \end{cases} \quad ADRC_3 : \begin{cases} K_{p3} = 0.1 \\ l_{31} = 1 \\ l_{32} = 0.25 \end{cases}$$

2.2.3. Kết quả mô phỏng



Hình 3. Cấu trúc vòng điều khiển ADRC tổng quát



Hình 4. Thay đổi các giá trị đặt khi hệ thống đã ổn định

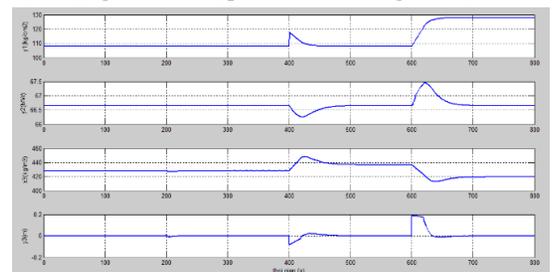
Nhận xét: Với tất cả những thay đổi này, bộ điều khiển ADRC đã làm việc tốt, giá trị xác lập được thiết lập nhanh và không tồn tại sai lệch tĩnh cũng như độ quá điều chỉnh với đại lượng được thay đổi.

Từ đó, ta có thể rút ra một số kết quả quan trọng của việc sử dụng ESO trong điều khiển đối tượng phi tuyến lò hơi – tua bin như sau:

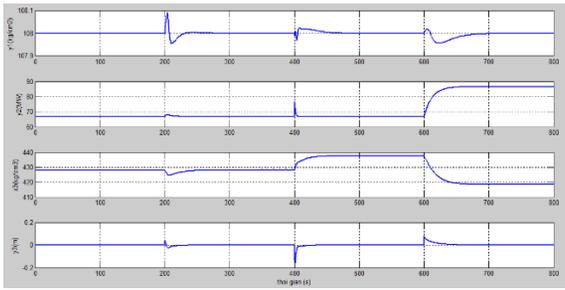
- Tách kênh hệ thống.
- Chống nhiễu mạnh.
- Điều khiển tốt tại những điểm làm việc khác nhau.

Các kết quả tiếp theo sẽ thể hiện những khả năng trên của ADRC.

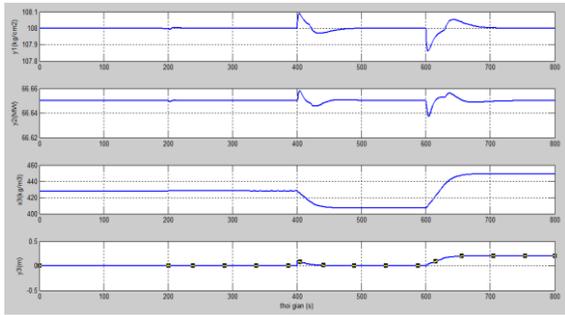
Theo Hình 5, Hình 6, Hình 7 các đáp ứng thu được khi có nhiễu tác động tới cơ cấu chấp hành, nhiễu của tải ở cả 3 cặp vào/ra đã được thể hiện rõ. Nhìn chung, các tác động xấu đều được dập tắt khá nhanh. Giá trị đặt cũng sớm đạt được, ở trạng thái xác lập hầu như không tồn tại dao động.



Hình 5. Các ảnh hưởng tới cặp u_1/y_1 : Nhiễu đầu vào $10\%u_{10}$ ($t=200s$); nhiễu đầu ra $10kg/cm^2$ ($t=400s$); điều chỉnh y_1 tăng $20 kg/cm^2$ ($t=600s$)



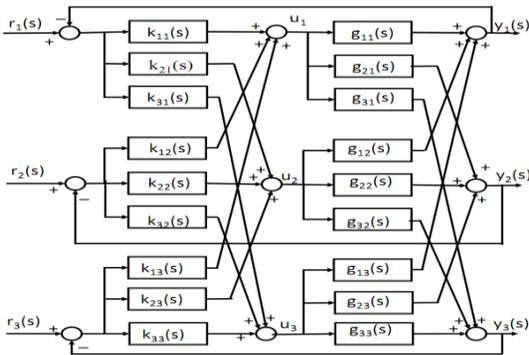
Hình 6. Các ảnh hưởng tới cặp u_2/y_2 : Nhiều đầu vào $10\%u_{20}$ ($t=200s$); nhiều đầu ra $10MW$ ($t=400s$); điều chỉnh y_2 tăng $20MW$ ($t=600s$)



Hình 7. Các ảnh hưởng tới cặp u_3/y_3 : Nhiều đầu vào $10\%u_{30}$ ($t=200s$); nhiều đầu ra $0,1m$ ($t=400s$); điều chỉnh y_3 tăng $0,2m$ ($t=600s$)

2.2.4. So sánh kết quả điều khiển giữa hai bộ điều khiển PID và ADRC [4]

Bộ điều khiển PID:
$$K(s) = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{pmatrix}$$



Hình 8. Cấu trúc bộ điều khiển PID

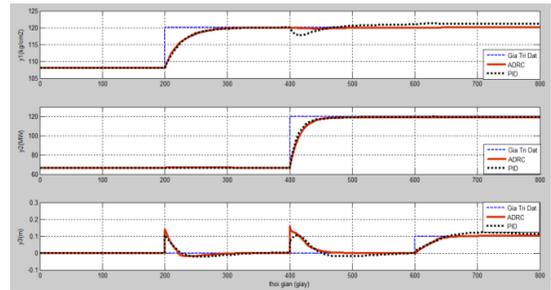
Để thỏa mãn được các tiêu chuẩn về chất lượng điều khiển tách kênh, thì ma trận hàm truyền hở $L(s) = G(s) K(s)$ phải là một ma trận đường chéo. $L(s)$ sẽ có dạng:

$$L(s) = \begin{pmatrix} l_1(s) & 0 & 0 \\ 0 & l_2(s) & 0 \\ 0 & 0 & l_3(s) \end{pmatrix} \Rightarrow K = G^{-1} L \quad (15)$$

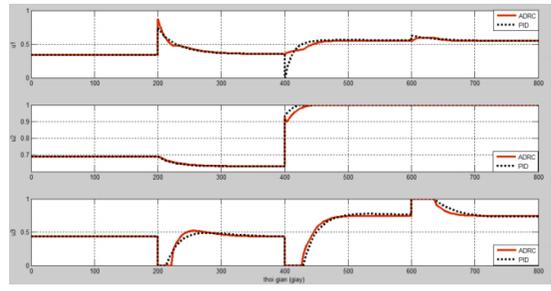
Xác định được $L(s)$, ta sẽ xác định được $K(s)$.

So sánh kết quả mô phỏng của 2 bộ điều khiển:

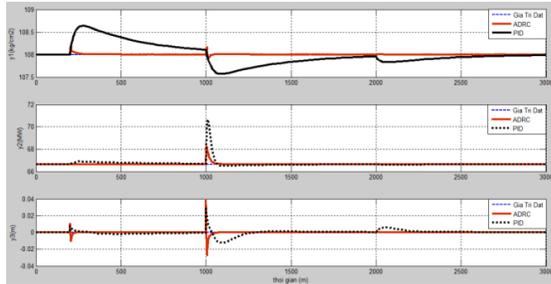
Ta thấy rằng khi thay đổi giá trị đặt, đáp ứng của 2 bộ điều khiển khá giống nhau, tuy nhiên bộ PID có tồn tại độ quá điều chỉnh, còn bộ ADRC thì không. Trong Hình 10 là tín hiệu điều khiển gửi đến các cơ cấu chấp hành. Cả hai bộ điều khiển đều đưa ra các tín hiệu khá giống nhau.



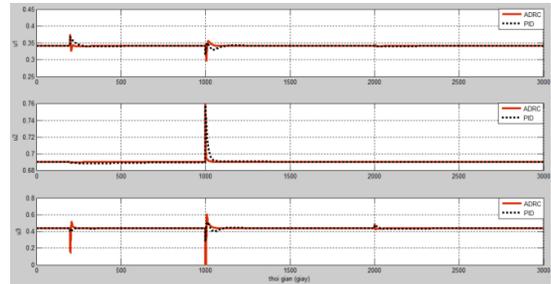
Hình 9. Đáp ứng đầu ra khi thay đổi giá trị đặt (điều chỉnh y_1 tăng đến 120 kg/cm^2 tại $t=200s$; y_2 tăng đến 120 MW tại $t=400s$; y_3 tăng đến $0,1m$ tại $t=600s$)



Hình 10. Tín hiệu điều khiển khi thay đổi giá trị đặt



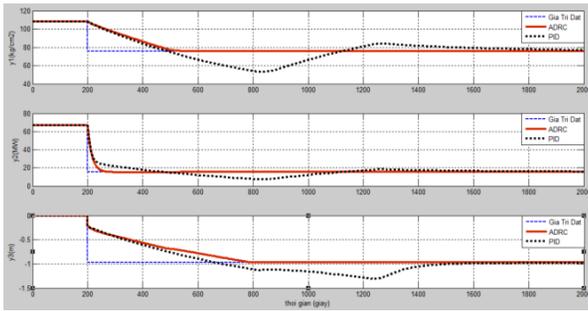
Hình 11. Đáp ứng đầu ra khi có nhiều tác động (nhiều $10\%u_{10}$ tại $t=200s$; nhiều $10\%u_{20}$ tại $t=1000s$; nhiều $10\%u_{30}$ tại $t=2000s$)



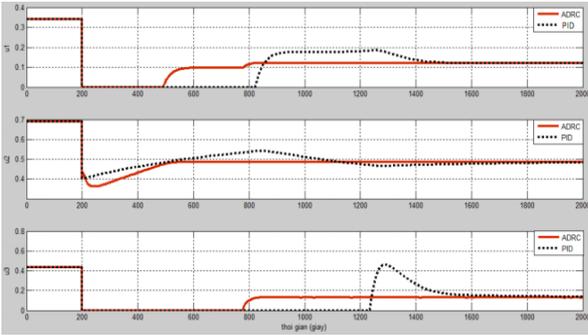
Hình 12. Tín hiệu điều khiển trong trường hợp có nhiều tác động

Khi có nhiều tác động, ta nhận thấy rằng 2 bộ điều khiển đã mang lại các kết quả khác nhau đáng kể. Trong khi bộ điều khiển ADRC loại bỏ nhiễu nhanh và hiệu quả thì bộ điều khiển PID, mặc dù có thể loại bỏ nhiễu, nhưng lại có thời gian quá độ và độ quá điều chỉnh lớn.

Để xem xét đến khả năng điều chỉnh rộng hơn, ta sẽ xét trường hợp chuyển từ điểm làm việc số 4 về điểm làm việc số 1. Kết quả đáp ứng đầu ra được thể hiện trong Hình 13. Kết quả thu được từ 2 bộ điều khiển rất khác nhau. Trong khi bộ điều khiển ADRC chỉ mất khoảng 600s cho cả quá trình quá độ và không có độ quá điều chỉnh thì bộ PID cần tới khoảng 1500s để các đáp ứng được coi là ổn định. Trong Hình 14 là các tín hiệu gửi tới cơ cấu chấp hành của 2 bộ điều khiển.



Hình 13. Đáp ứng đầu ra khi chuyển từ điểm làm việc số 4 về điểm làm việc số 1 tại $t=200s$ (Bảng 1)



Hình 14. Tín hiệu điều khiển trong trường hợp chuyển điểm làm việc

Từ những kết quả đã nhận được khi xem xét phản ứng của hai bộ điều khiển với cùng một ảnh hưởng từ nhiễu, và cả trong việc xác lập giá trị đặt, bộ ADRC đã thể hiện được nhiều ưu điểm hơn bộ điều khiển PID. Đó là khi xét trên một mô hình được coi là chính xác. Mô hình có độ chính xác chưa cao, do việc tính toán bộ điều khiển PI này dựa vào khá nhiều thông số trong mô hình, nên khi các tham số trong mô hình có sai số đáng kể, kết quả của bộ PI sẽ không

còn như trên nữa. Mặt khác, phương pháp ADRC chỉ dựa trên hằng số b của biến đầu vào tương ứng, còn có cả sai số của b được tính đến. Nên sự sai khác về mô hình sẽ không hoặc ít ảnh hưởng đến kết quả – một lợi thế nữa của ADRC chưa được thể hiện trong mô phỏng.

3. Kết luận

Bài báo đã bước đầu tiếp cận với bộ điều khiển tích cực loại bỏ nhiễu ADRC ứng dụng để điều khiển tách kênh cho đối tượng lò hơi- tua bin. Từ những ghi nhận về các kết quả tích cực trong điều khiển, ta nhận thấy chất lượng điều khiển khi sử dụng phương pháp ADRC có tốt hơn phương pháp PID truyền thống. Điều đó hứa hẹn sự phát triển của phương pháp ADRC trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Z.Gao, Y.Huang, J.Han, "An alternative paradigm for control system design", *Proceedings of 40th IEEE Conference on Decision and Control*, Orlando, Florida, December 4-7, 2001, pp. 4578-4585.
- [2] R.D.Bell, K.J.Astrom, *Dynamic models for boiler-turbine alternator units: data logs and parameter estimation for a 160 MW unit*, Tech. Rep. Report LUTFD2/(TFRT-3192)/1-137, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, 1987.
- [3] F.Khani, A.Yazdizadeh, "Boiler -Turbine Unit Controller Design Based on the Extended State Observer", *International Conference on Control and Automation*, Christchurch, New Zealand, December 9-11, 2009, pp.2066-2071.
- [4] J. Garrido, F. Morilla, F. Vázquez, "Centralized PID control by decoupling of a boiler-turbine unit", *Proceedings of the European control conference 2009 – Budapest, Hungary*, August 23-26, 2009, pp. 4007-4012.
- [5] G. Herbst, "A Simulative Study on Active Disturbance Rejection Control (ADRC) as a Control Tool for Practitioners", *Electronic*, Vol. 2, 2013, pp.246-279.
- [6] K.J. Astrom, K. EkLund, "A simplified non-linear model of a drum boiler-turbine unit", *Int.J. Control*, Vol. 16, No.1, 1972, pp.145-169.

(BBT nhận bài: 03/04/2015, phân biện xong: 01/05/2015)