

## CHIẾN LƯỢC ĐIỀU KHIỂN THÔNG MINH CHO HỆ THỐNG ĐIỀU CHỈNH MỨC NƯỚC BAO HƠI NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN

INTELLIGENT CONTROL STRATEGIES APPLIED TO DRUM WATER LEVEL CONTROL  
SYSTEM OF A THERMAL POWER PLANT

**Nguyễn Ngọc Khoát, Vũ Duy Thuận**

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 18/10/2018, Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2018, Phản biện: TS. Võ Huy Hoàn

### **Tóm tắt:**

Điều khiển mức nước bao hơi trong các nhà máy nhiệt điện nhằm đảm bảo tương quan cân bằng giữa lượng nước cấp đầu vào và lượng hơi quá nhiệt đầu ra của hệ thống lò hơi. Nó được coi là trái tim của hệ thống điều khiển lò hơi vốn dĩ là một hệ thống phức tạp với hàng trăm tham số cần được giám sát và điều khiển. Hiện nay, hầu hết các nhà máy nhiệt điện đang sử dụng bộ điều chỉnh PID truyền thống để khống chế mức nước bao hơi. Nhược điểm của loại bộ điều khiển này là khả năng cập nhật tham số nghèo nàn, chỉnh định thủ công và chất lượng điều khiển không cao. Với sự phát triển của lý thuyết điều khiển hiện đại, việc thay thế các bộ điều khiển kinh điển PID bởi các bộ điều khiển thông minh đang là xu thế mới đầy hiệu quả ngày nay. Bài báo này đề xuất hai giải pháp điều khiển thông minh ứng dụng logic mờ và mạng nơron cho hệ thống điều chỉnh ổn định mức nước bao hơi. Bộ điều khiển NARMA-L2 ứng dụng mạng trí tuệ nhân tạo là đề xuất mới của nghiên cứu, mang lại hiệu quả điều khiển vượt trội khi so sánh với các giải pháp điều khiển kinh điển cũng như sử dụng bộ điều khiển logic mờ. Các kết quả mô phỏng trên phần mềm MATLAB/Simulink với các tham số thực của Nhà máy Nhiệt điện Phả Lại 2 đã minh chứng cho hiệu quả của chiến lược điều khiển đã đề xuất.

### **Từ khóa:**

Bao hơi, mức nước, điều chỉnh tăng, bộ điều khiển thông minh, NARMA-L2.

### **Abstract:**

Boiler drum level control in thermal power plants aims to balance the input water flow and the superheated steam in the output of the boiler. It is assumed to be the heart of the boiler control system including hundred parameters need to be observed and controlled. Currently, most thermal power plants are applying classical PID regulators to control the water level of the steam drum. The disadvantages of these controllers include the difficulty of parameter update ability, manual regulation and poor control performances. With the development of the modern control theory, it is effective to replace the conventional PID regulators with intelligent controllers. This paper proposes two smart control strategies applying fuzzy logic and neural network to stabilize the drum water level. An artificial neural network-based controller, namely NARMA-L2, is the novel contribution of this study, dedicating the better control performances in comparison with the conventional control scheme as well as the fuzzy logic based controller. Simulation results using MATLAB/Simulink

package with real parameters of Pha Lai 2 conventional thermal power plant verified the efficiency of the proposed control strategy.

**Keywords:**

Boiler drum, water level, cascade control, intelligent controllers, NARMA-L2.

**1. GIỚI THIỆU**

Lò hơi, với trái tim là hệ thống bao hơi, là thành phần quan trọng bậc nhất trong một nhà máy nhiệt điện. Bao hơi chính là nơi mà nước và hơi phân tách nhau, trước khi trở thành hơi quá nhiệt đưa đi sinh công làm quay tuabin máy phát. Do đó, các quá trình trong bao hơi có ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình sinh công của tuabin và vì vậy ảnh hưởng đến công suất đầu ra của máy phát điện cũng như ảnh hưởng đến sự vận hành ổn định của hệ thống điện [1-2].

Trong hệ thống bao hơi, điều chỉnh mức nước bao hơi là một trong những vấn đề có ý nghĩa sống còn. Trong những tình huống xấu, nếu mức nước bao hơi quá thấp thì nhiệt độ và áp suất trong lò hơi và các đường ống tăng cao bất thường, có thể gây ra sự cố phá hủy lò hơi cũng như các đường ống dẫn. Nếu mức nước bao hơi quá cao sẽ dẫn đến hiện tượng hơi sau bao hơi có chứa nhiều nước, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất của quá trình sinh công của hơi quá nhiệt [3-4]. Vì vậy, mức nước trong bao hơi cần phải được điều chỉnh ổn định ở một giới hạn cho phép lân cận giá trị đặt trước để cân bằng năng lượng của lò hơi và đảm bảo an toàn cho các thiết bị trong hệ thống lò hơi cũng như tuabin. Thông thường, một hệ thống điều chỉnh mức nước bao hơi cần phải đáp ứng được các yêu cầu sau [5]:

- (a) Điều khiển mức nước trong bao hơi ngang bằng với điểm đặt;
- (b) Giảm thiểu tương tác hệ thống điều khiển cháy;
- (c) Thay đổi mức nước trong bao hơi bám nhanh theo sự thay đổi của phụ tải;
- (d) Cân bằng lượng hơi ra và lượng nước cấp vào bao hơi;
- (e) Bù thay đổi áp suất nước cấp không đảo lộn tuần hoàn nước và dịch điểm đặt.

Trong thực tế hệ thống điều khiển lò hơi nói chung và hệ thống điều khiển mức nước bao hơi nói riêng luôn chịu ảnh hưởng của rất nhiều tham số như lưu lượng nước cấp, nhiệt độ, áp suất của lò hơi,... Do đó, việc điều khiển ổn định mức nước bao hơi ở một giá trị đặt mong muốn là một công việc rất khó khăn. Hiện nay, phương pháp được dùng ở các nhà máy nhiệt điện là ứng dụng bộ điều khiển PID truyền thống. Nhược điểm của bộ điều khiển loại này là do mức nước bao hơi liên tục thay đổi trong quá trình vận hành lò hơi nên yêu cầu người vận hành phải cập nhật các bộ tham số của bộ điều khiển PID liên tục để đáp ứng chất lượng quá trình điều khiển. Việc làm này vừa mang tính thủ công lại vừa khó đáp ứng được yêu cầu chất lượng điều khiển cao [5-8].

Với sự phát triển vượt bậc của khoa học kỹ thuật, các giải pháp điều khiển thông minh ứng dụng logic mờ và trí tuệ nhân

tạo ngày càng phát triển. Những nghiên cứu ứng dụng các bộ điều khiển này vào hệ thống điều khiển mức nước bao hơi đã thu được những kết quả khả quan trong tương quan so sánh với các giải pháp điều khiển truyền thống dùng bộ PID đã nói ở trên. Trong bài báo này các tác giả sẽ tập trung vào việc so sánh các chiến lược điều khiển mức nước bao hơi thông minh sử dụng logic mờ, mạng nơron với bộ điều khiển truyền thống PID. Các tác giả đã đề xuất một bộ điều khiển mức nước bao hơi mới dựa trên mạng nơron, với tên gọi là NARMA-L2. Ý tưởng xuyên suốt của việc thiết kế bộ điều khiển loại này là người ta tìm cách xấp xỉ đối tượng điều khiển phi tuyến bằng một đối tượng điều khiển tuyến tính thông qua việc loại bỏ các thành phần phi tuyến. Việc xấp xỉ này sẽ được thực hiện bằng cách đưa ra một mô hình tương ứng với đối tượng đang khảo sát, sau đó sử dụng một mạng nơron để nhận dạng và xấp xỉ mô hình này. Mô hình sau khi nhận dạng bằng mạng nơron sẽ được dùng để thiết kế các bộ điều khiển tương ứng.

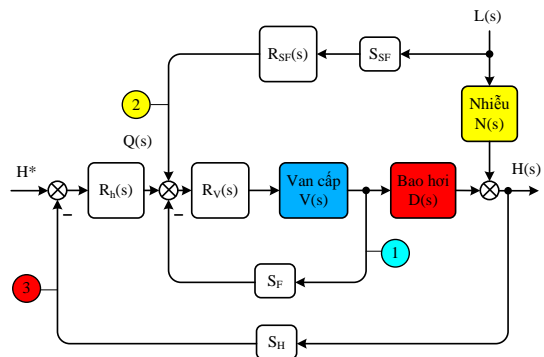
Các đóng góp của nghiên cứu này tập trung vào:

- (i) Mô hình hóa và tổng hợp bài toán điều khiển mức nước bao hơi theo sơ đồ điều khiển nổi tầng ba mức tín hiệu: nước cấp, mức nước bao hơi và hơi quá nhiệt đầu ra.
- (ii) Khảo sát các chiến lược điều khiển ứng dụng cho mạch vòng điều khiển nổi cấp phía ngoài để điều chỉnh ổn định mức nước bao hơi.
- (iii) Đề xuất bộ điều khiển NARMA-L2 ứng dụng mạng nơron để khống chế mức nước bao hơi.

Để minh chứng cho hiệu quả của các giải pháp điều khiển mức nước bao hơi đã sử dụng, đặc biệt là bộ điều khiển mới NARMA-L2, bài báo đã xây dựng mô hình mô phỏng với các tham số của Nhà máy Nhiệt điện Phả Lại bằng công cụ MATLAB/Simulink. Các kết quả mô phỏng đã khẳng định ưu thế vượt trội của chiến lược điều khiển mới đã đề xuất trong bài báo.

## 2. CẤU TRÚC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN MỨC NƯỚC BAO HƠI

### 2.1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều chỉnh mức nước bao hơi



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc điều chỉnh mức nước bao hơi ba mạch vòng điều chỉnh của nhà máy nhiệt điện

Hình 1 mô tả sơ đồ cấu trúc điều khiển tổng quát của bài toán điều chỉnh và ổn định mức nước bao hơi trong một nhà máy nhiệt điện. Ở đây, trái tim của sơ đồ điều khiển là lò hơi với hệ thống bao hơi, nơi cần phải kiểm soát mức nước bao hơi ở đầu ra. Sơ đồ điều khiển này gồm 3 mạch vòng điều chỉnh [5, 8]. Để cấp nước cho lò hơi, ta cần hệ thống van cấp với bộ điều chỉnh tương ứng là  $R_v$ . Đó là mạch vòng điều chỉnh thứ nhất. Mạch vòng điều chỉnh thứ hai là mạch vòng bù nhiễu lưu

lượng hơi quá nhiệt đầu ra với bộ điều chỉnh là  $R_{SF}(s)$ . Mạch vòng phía ngoài cùng ta có bộ điều chỉnh thứ ba là  $R_h$  dùng để điều chỉnh trực tiếp mức nước bao hơi. Để đo đạc các tham số cần điều khiển như lưu lượng nước cấp, mức nước trong bao hơi và lưu lượng hơi quá nhiệt đầu ra của bao hơi, ta sử dụng các cảm biến  $S_F$ ,  $S_H$ , và  $S_{SF}$ . Như vậy, cấu trúc điều khiển ở trên gồm có ba mạch vòng điều chỉnh và đây là sơ đồ điều khiển tối ưu để kiểm soát mức nước bao hơi trong một nhà máy nhiệt điện.

## 2.2. Mô tả toán học cấu trúc điều chỉnh mức nước bao hơi

Để phục vụ cho việc nghiên cứu các chiến lược điều khiển cho hệ thống kiểm soát mức nước bao hơi, trước hết người ta cần xây dựng các hàm truyền cho các khối của sơ đồ cấu trúc điều khiển hình 1. Trên thực tế, việc thiết lập các hàm truyền đạt này là rất phức tạp vì nó phụ thuộc vào nhiều tham số trong nhà máy nhiệt điện và hầu hết đều chứa các yếu tố phi tuyến và bất định. Để thiết lập được các hàm toán học của đối tượng điều khiển, ta sử dụng qui trình nhận dạng [8]. Hàm truyền đạt của các khâu trong hình 1 nhận được sau quá trình nhận dạng như sau:

$$D(s) = \frac{K_1}{s(T_{11}s + 1)(2T_{12}s + 1)} \quad (1)$$

$$V(s) = \frac{K_2}{(T_{21}s + 1)(T_{22}s + 1)} \quad (2)$$

$$N(s) = \frac{K_B}{s(T_B s + 1)} \quad (3)$$

Các tham số có được ở các biểu thức trên được rút ra từ quá trình nhận dạng tham số trong quá trình vận hành thực tế của

nhà máy. Bộ tham số được sử dụng để mô phỏng trong phần sau của bài báo này sẽ được đưa ra trong phần phụ lục.

## 2.3. Tổng hợp các mạch vòng điều chỉnh

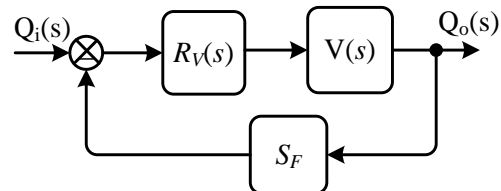
Từ sơ đồ điều khiển trong hình 1, như đã trình bày ở trên, ta thấy có ba mạch vòng điều chỉnh cần được tổng hợp. Chúng bao gồm mạch vòng điều khiển lưu lượng nước cấp, mạch vòng điều khiển bù nhiễu lưu lượng hơi và mạch vòng điều chỉnh mức nước bao hơi. Ta áp dụng tiêu chuẩn tối ưu modul để tổng hợp cho các mạch vòng điều khiển này. Hàm truyền đạt theo phương pháp modul tối ưu được mô tả trên miền toán tử Laplace như sau [9]:

$$W_{md}(s) = \frac{1}{2\tau^2 s^2 + 2\tau s + 1} \quad (4)$$

Hàm truyền đạt chuẩn trong phương pháp modul tối ưu thường được sử dụng để hiệu chỉnh lại đặc tính tần số ở vùng tần số thấp và trung bình. Nó mang lại chất lượng động và sai lệch tĩnh rất tốt.

### 2.3.1. Tổng hợp mạch vòng điều khiển lưu lượng nước cấp

Sơ đồ tổng hợp mạch vòng điều chỉnh lưu lượng nước cấp được thể hiện qua hình 2.



Hình 2. Tổng hợp mạch vòng điều khiển lưu lượng nước cấp

Cân bằng hàm truyền hệ kín của mạch vòng điều khiển lưu lượng nước cấp với hàm truyền modul tối ưu:

$$\begin{aligned} W_k(s) &= \frac{S_F R_V(s) \cdot V(s)}{1 + S_V R_V(s) V(s)} \\ &= W_{md}(s) \\ &= \frac{1}{2\tau^2 s^2 + 2\tau s + 1} \end{aligned} \quad (5)$$

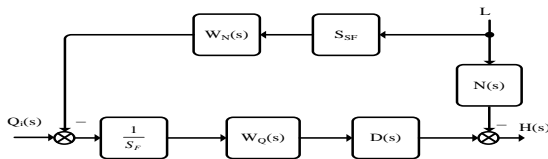
Kết hợp với (2), sau khi chọn  $\tau = T_{22}$ , khâu điều chỉnh  $R_V(s)$  thu được như sau:

$$\begin{aligned} R_V(s) &= \frac{1}{2T_{22}s \cdot S_F \frac{K_2}{(T_{21}s + 1)(T_{22}s + 1)} ((T_{22}s + 1))} \\ &= \frac{T_{21}s + 1}{2T_{22} \cdot S_F \cdot K_2 s} \\ &= K_{P1} + \frac{1}{T_i \cdot s} \end{aligned} \quad (6)$$

Từ (6), khâu điều chỉnh mạch vòng phía trong điều khiển lưu lượng nước qua việc đóng mở các van cấp nước thu được là một khâu PI.

### 2.3.2. Tổng hợp mạch vòng điều khiển bù nhiễu lưu lượng hơi

Sau khi tổng hợp mạch vòng điều khiển lưu lượng nước cấp, hàm truyền đạt của toàn bộ mạch vòng điều khiển phía trong chính là hàm chuẩn tối ưu modul. Để tổng hợp mạch vòng điều khiển bù nhiễu lưu lượng, ta xét sơ đồ sau:



Hình 3: Sơ đồ tổng hợp mạch vòng bù nhiễu lưu lượng hơi quá nhiệt

Sử dụng phương pháp xếp chồng tín hiệu cho hệ thống tuyến tính, xét từng tín hiệu đầu vào  $Q_i(s)$  và  $L(s)$ , ta tìm được hàm đầu ra:

$$\begin{aligned} H(s) &= H_Q(s) + H_L(s) = \frac{1}{S_F} W_Q(s) \cdot D(s) \cdot Q_i(s) \\ &+ \left[ N(s) - \frac{S_SF}{S_F} W_Q(s) \cdot D(s) \cdot R_{SF}(s) \right] \cdot L(s) \end{aligned} \quad (7)$$

Để đầu ra  $y(t)$  chỉ phụ thuộc vào lưu lượng đầu vào  $q_i(t)$  thì thành phần thứ hai phải bị triệt tiêu, nghĩa là:

$$\frac{S_SF}{S_F} W_Q(s) \cdot D(s) \cdot R_{SF}(s) = N(s) \quad (8)$$

Từ đó ta tìm được hàm truyền của khâu bù nhiễu như sau:

$$\begin{aligned} R_{SF}(s) &= \frac{S_F \cdot N(s)}{S_SF W_Q(s) D(s)} \\ &= \frac{S_F \cdot \frac{K_B}{s(T_{B1}s + 1)}}{\frac{1}{S_SF} \cdot \frac{K_1}{s(T_{11}s + 1)}} \\ &= \frac{S_SF \cdot K_B (2\tau^2 s^2 + 2\tau s + 1)(T_{11}s + 1)}{S_SF \cdot K_1 (T_{B1}s + 1)} \end{aligned} \quad (9)$$

Với khâu bù nhiễu này, hệ thống sẽ trở thành bất biến với nhiễu phụ tải lưu lượng hơi hay công suất của lò hơi.

### 2.3.3. Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh mức nước bao hơi

Mạch vòng điều chỉnh mức nước bao hơi là mạch vòng điều chỉnh ngoài cùng trong sơ đồ đã vẽ ở hình 1. Việc tổng hợp mạch vòng này hoàn toàn có thể tiến hành theo phương pháp tối ưu modul như đã thực hiện ở mạch vòng điều chỉnh nước cấp. Áp dụng các bước tương tự ở trên, ta thu được hàm truyền đạt của bộ điều chỉnh mức nước:

$$\begin{aligned} R_h(s) &= \frac{S_F}{2\tau_1 K_1 S_H} + \frac{S_F T_{11}}{2\tau_1 K_1 S_H} s \\ &= K_{P2} + T_{D2} \cdot s \end{aligned} \quad (10)$$

Hàm truyền tìm được của bộ điều chỉnh mức nước bao hơi là một khâu PD. Ngoài cách tổng hợp theo phương pháp modul tối ưu kể trên, ta cũng có thể áp dụng phương pháp chỉnh định trực tiếp bộ điều khiển PID. Kết quả thu được cũng là một khâu PD. Hiệu quả của việc tổng hợp các bộ điều khiển cho các mạch vòng điều chỉnh sẽ được kiểm chứng ở phần 4 của bài báo.

### 3. THIẾT KẾ CÁC BỘ ĐIỀU CHỈNH MỨC NƯỚC BAO HƠI THÔNG MINH

Ở trong phần trước, chúng ta đã tiến hành tổng hợp mạch vòng điều khiển lưu lượng nước cấp (mạch vòng phía trong) và mạch vòng điều chỉnh mức nước bao hơi theo tiêu chuẩn tối ưu modul. Ngoài ra, mạch vòng bù nhiễu tải cũng đã được bù để hệ không phụ thuộc vào nhiễu. Trong phần này, để tiến hành so sánh chiến lược điều khiển mức nước bao hơi truyền thống sử dụng bộ điều khiển PID với các chiến lược điều khiển thông minh, ta lần lượt thiết kế các bộ điều khiển logic mờ và mạng nơron.

#### 3.1. Bộ điều khiển mờ

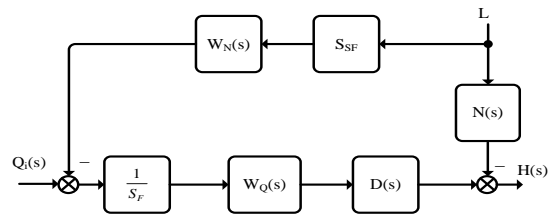
Điều khiển mờ là một trong những giải pháp ứng dụng kinh nghiệm của chuyên gia cho vấn đề điều khiển đang xét. Hiệu quả của điều khiển mờ đã được khẳng định qua rất nhiều các công trình khoa học và thực tiễn đã được công bố [10]. Trong nghiên cứu này, điều khiển mờ cũng được áp dụng để khảo sát quá trình điều chỉnh mức nước bao hơi trong tương quan so sánh với các chiến lược điều khiển khác.

Đặc điểm của điều chỉnh mức nước bao hơi là biên độ dao động và độ quá điều

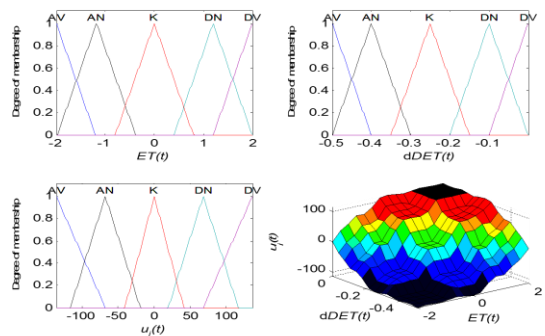
chỉnh lớn, vì vậy lựa chọn bộ điều khiển mờ PD vòng ngoài nhằm làm giảm độ quá điều chỉnh, tăng cường độ ổn định và làm chậm tốc độ thay đổi của đầu ra. Bộ điều khiển mờ kiểu PD được đề xuất là bộ điều khiển mờ động, có hai đầu vào là sai lệch mức nước bao hơi  $ET(t)$  và đạo hàm của sai lệch này  $DET(t)$ . Ta lựa chọn 5 hàm liên thuộc cho mỗi đầu vào này: AV, AN, K, DN và DV. Ma trận luật mờ và hàm thuộc cho bộ điều khiển mờ động PD được đưa ra trong bảng 1 và hình 4 [8].

**Bảng 1. Ma trận luật mờ sử dụng trong nghiên cứu**

DET \ ET	AV	AN	K	DN	DV
ET					
AV	AV	AV	AV	AN	K
AN	AV	AV	AN	K	DN
K	AV	AN	K	DN	DV
DN	AN	K	DN	DV	DV
DV	K	DN	DV	DV	DV



**Hình 3: Sơ đồ tổng hợp mạch vòng bù nhiễu lưu lượng hơi quá nhiệt**



**Hình 4. Các hàm liên thuộc và quan hệ vào ra của bộ điều khiển mờ động kiểu PD**

### 3.2. Bộ điều khiển NARMA-L2

Mạng nơron trong những năm gần đây đã được nhiều người quan tâm và đã áp dụng thành công trong nhiều lĩnh vực khác nhau, như tài chính, y tế, địa chất và vật lý hay dự báo phân loại và điều khiển. Kết hợp với logic mờ mạng nơron nhân tạo đã tạo nên cuộc cách mạng thực sự trong việc thông minh hóa và vạn năng hóa các bộ điều khiển kỹ thuật cao cho cả hiện tại và trong tương lai.

Bộ điều khiển NARMA-L2 là một trong những bộ điều khiển thích nghi ứng dụng mạng nơron điển hình. Ý tưởng nổi bật của bộ điều khiển này là xấp xỉ một đối tượng điều khiển phi tuyến bằng một đối tượng điều khiển tuyến tính sử dụng mạng nơron. Một đối tượng điều khiển phi tuyến, khi được nghiên cứu, có thể biểu diễn xấp xỉ bởi một dạng tuyến tính hóa bằng cách loại bỏ các thành phần phi tuyến. Những đối tượng điều khiển loại này có thể sử dụng một mạng nơron để nhận dạng. Quá trình nhận dạng của bộ điều khiển NARMA-L2 tương tự một bộ điều khiển mô hình dự báo. Bước đầu tiên để sử dụng các thông tin phản hồi tuyến tính là nhận dạng hệ thống điều khiển. Ta huấn luyện mạng nơron để mô tả hệ thống động lực học. Xét một mô hình rời rạc được mô tả theo kiểu mô hình trung bình tự hồi qui phi tuyến Nonlinear Autoregressive-Moving Average (NARMA) như sau:

$$y(k+d) = N[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n-1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] \quad (11)$$

Trong đó  $N(\cdot)$  là một hàm phi tuyến,  $u(\cdot)$  là thành phần trung bình trượt (moving average) hay đầu vào hệ thống, và  $y(\cdot)$  là thành phần tự hồi qui của hệ thống

(autoregressive). Phương thức nhận dạng là huấn luyện mạng nơron xấp xỉ hàm phi tuyến  $N$ . Theo đề xuất của Narendra năm 1997, một mô hình kiểu NARMA-L2 sẽ có dạng sau:

$$y(k+d) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] + g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)], u(k) \quad (12)$$

Hay:

$$y(k+d) = f[\underline{y}(k, m), \underline{u}(k-1, n)] + g[\underline{y}(k, m), \underline{u}(k-1, n)] \quad (13)$$

Luật điều khiển được xây dựng khi đạt được cân bằng  $y(k+d) = y_r(k+d)$ , với  $y_r(k+d)$  là tín hiệu mong muốn. Tín hiệu điều khiển thu được sẽ có dạng:

$$u(k) = \frac{y_r(k+d) - f[\underline{y}(k, m), \underline{u}(k-1, n)]}{g[\underline{y}(k, m), \underline{u}(k-1, n)]} \quad (14)$$

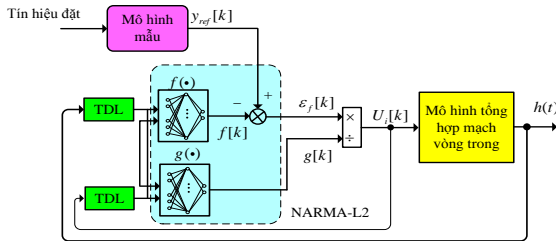
Trong đó:

$$\begin{aligned} f[\underline{y}(k, m), \underline{u}(k-1, n)] &= f(\bullet) \\ &= f[y(k), \dots, y(k-n+1), u(k), \dots, u(k-m+1)] \\ g[\underline{y}(k, m), \underline{u}(k-1, n)] &= g(\bullet) \\ &= g[y(k), \dots, y(k-n+1), u(k), \dots, u(k-m+1)] \end{aligned}$$

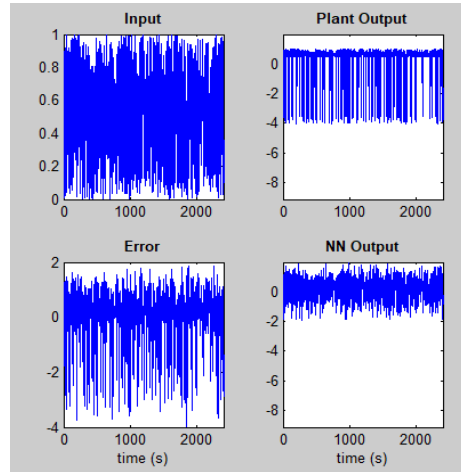
Khi đó, ta sử dụng một mạng nơron để xấp xỉ thành phần cộng  $f(\bullet)$  và thành phần phi tuyến bội  $g(\bullet)$ . Sơ đồ tổng quát ứng dụng bộ điều khiển NARMA-L2 thể hiện trên hình 5.

Để áp dụng bộ điều khiển NARMA-L2 cho quá trình điều khiển mức nước bao hơi, ta tiến hành nhận dạng hệ thống trước với các tham số phù hợp (hình 6). Các hình (7-10) mô tả các tập dữ liệu nhận dạng của mô hình NARMA-L2 được sử dụng trong

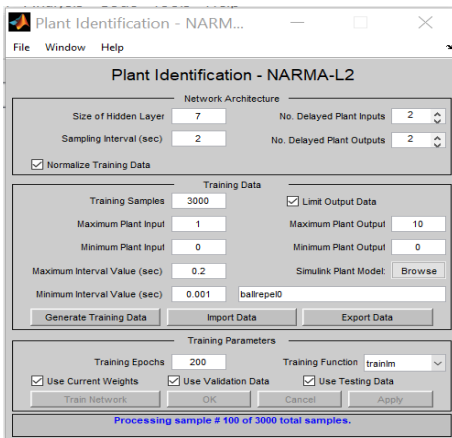
bài báo này. Kết quả mô phỏng của bộ điều khiển NARMA-L2 trong tương quan so sánh với các bộ điều khiển khác sẽ được đề cập đến trong phần sau.



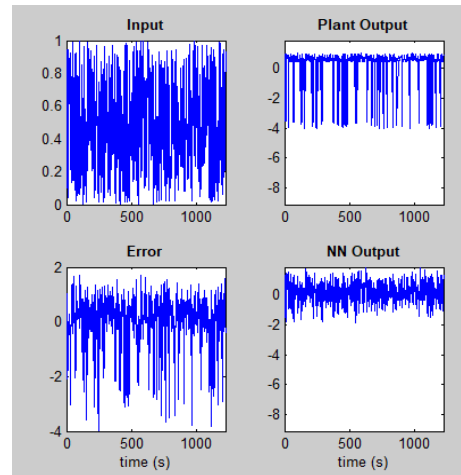
Hình 5. Sơ đồ ứng dụng bộ điều khiển NARMA-L2 để điều chỉnh mức nước bao hơi



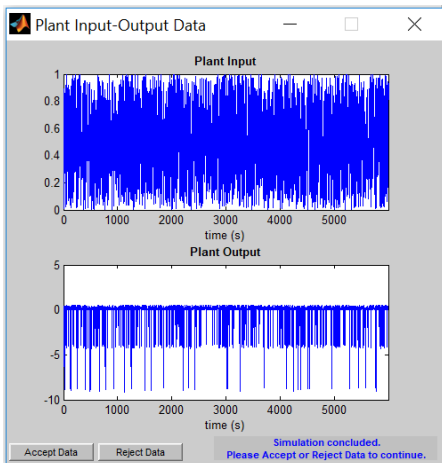
Hình 8. Dữ liệu vào/ra của đối tượng



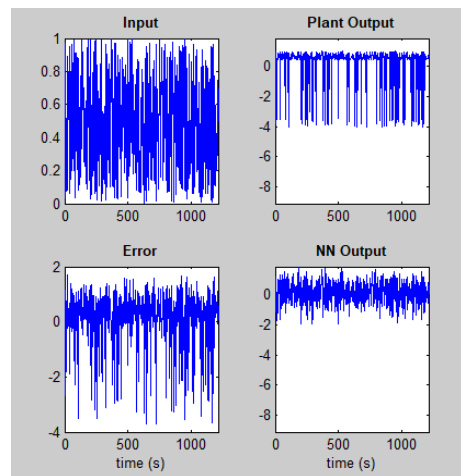
Hình 6. Bảng thông số lựa chọn cho bộ điều khiển NARMA-L2 sử dụng cho mô phỏng



Hình 9. Tập dữ liệu kiểm tra



Hình 7. Dữ liệu huấn luyện vào/ra của đối tượng, dữ liệu huấn luyện vào/ra của mạng và sai số



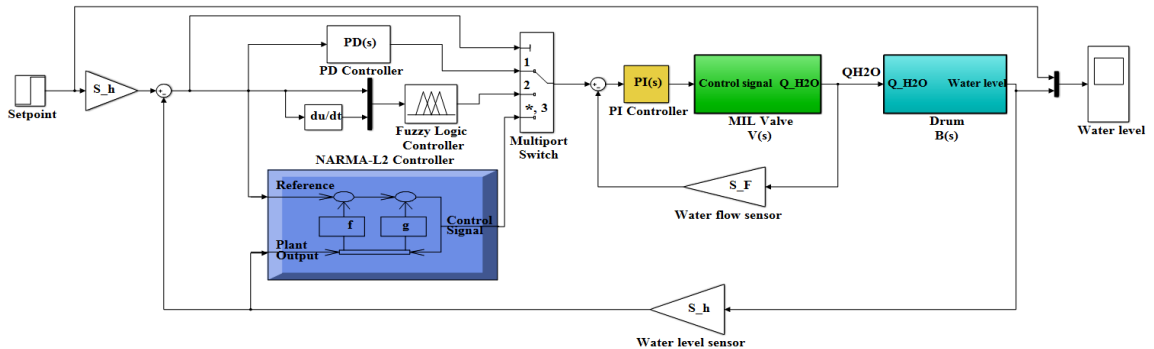
Hình 10. Tập dữ liệu chấp nhận sau huấn luyện



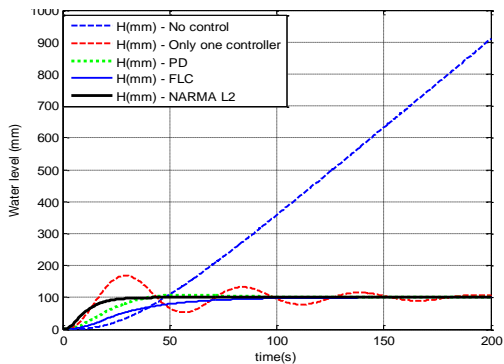
#### 4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Để minh chứng cho hiệu quả của phương pháp điều khiển mức nước bao hơi đã đề xuất trong bài báo này, ở phần mô phỏng, tác giả đưa ra kết quả mô phỏng cho toàn bộ hệ thống khi có chung tín hiệu đặt của mức nước bao hơi là 100 mm. Ngoài ra,

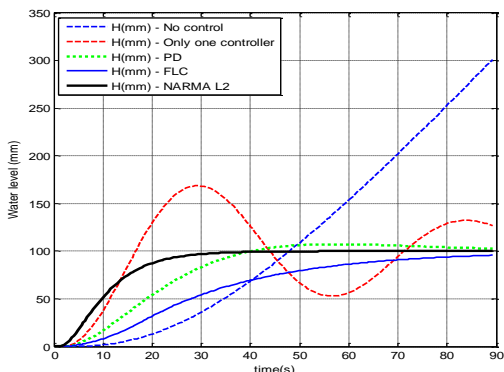
mạch vòng tổng hợp phía trong, tức là mạch vòng điều chỉnh lưu lượng nước cấp, được giả định tổng hợp bằng tiêu chuẩn modul tối ưu như đã trình bày ở phần 2 của bài báo. Sơ đồ mô phỏng tổng thể xây dựng trên công cụ Simulink của MATLAB như hình 11.



Hình 11. Sơ đồ mô phỏng hệ thống điều khiển mức nước bao hơi ứng dụng các bộ điều khiển khác nhau



(a)



(b)

Hình 12. Kết quả mô phỏng hệ thống điều chỉnh mức nước bao hơi dùng các bộ điều khiển khác nhau

Khi đó, đáp ứng đầu ra của hệ thống điều chỉnh mức nước bao hơi cho từng bộ điều khiển được thể hiện trên hình 12. Trên hình vẽ này, chúng ta quan tâm đến năm trường hợp: không sử dụng các mạch vòng điều chỉnh (No control - đường nét đứt màu xanh nước biển), chỉ có mạch vòng điều chỉnh phía trong (Only one controller - đường nét đứt màu đỏ), sử dụng bộ điều chỉnh mức nước bao hơi PD cho mạch vòng phía ngoài (đường nét đứt màu xanh lá cây), sử dụng bộ điều khiển logic mờ (FLC - đường nét liền màu xanh nước biển) và sử dụng bộ điều khiển NARMA-L2 (đường nét liền màu đen). Để đánh giá một cách số hóa các kết quả mô phỏng trên hình 12, ta tính toán một số tham số chất lượng điều khiển như độ quá điều chỉnh, sai số xác lập và thời gian xác lập cho năm trường hợp mô phỏng đang xét. Kết quả tính toán được đưa ra trong bảng 2.

**Bảng 2. Kết quả so sánh một số chỉ tiêu chất lượng điều khiển cho các bộ điều khiển mức nước bao hơi**

	Không điều khiển	Một bộ điều khiển trong	PD	Logic mờ	NARMA-A-L2
Độ quá điều chỉnh	Đặc tính phân kỳ, không ổn định	40,32%	7,84%	0	0
Sai số xác lập $e_{xl}$		1,8	0	0	0
Thời gian quá độ (s)		800	210	124	48

Từ các kết quả mô phỏng và tính toán ở hình 12 và bảng 2, ta rút ra một số nhận xét sau:

- Khi không sử dụng bất kỳ mạch vòng điều khiển nào thì mức nước bao hơi là không ổn định. Đường đặc tính mức nước bao hơi phân kỳ đi ra xa vô cùng.
- Khi chỉ có mạch vòng điều khiển phía trong, không sử dụng bộ điều khiển mức nước bao hơi cho mạch vòng điều khiển phía ngoài, chất lượng điều khiển là sẽ kém với các thông số đã chỉ ra trong bảng 2, mặc dù mạch vòng điều khiển phía trong đã được tổng hợp theo tiêu chuẩn modul tối ưu (trình bày ở phần 2.3.1).
- Sử dụng bộ điều khiển PD theo kết quả đã tổng hợp trong bài báo này đạt được chất lượng điều khiển tương đối tốt. Tuy nhiên, độ quá điều chỉnh vẫn còn và thời gian xác lập là lớn.
- Sử dụng bộ điều khiển logic mờ loại PD đạt được chất lượng điều khiển tốt hơn (không có độ quá điều chỉnh), tuy nhiên thời gian xác lập còn tương đối dài.

- Sử dụng bộ điều khiển mạng nơron NARMA-L2 đạt được chất lượng điều khiển là tốt nhất. Không có độ quá điều chỉnh và thời gian quá độ hay xác lập là ngắn nhất.

Từ những kết luận này, ta có thể rút ra sự lựa chọn tối ưu cho bộ điều khiển mức nước bao hơi chính là giải pháp sử dụng các bộ điều khiển thông minh. Cụ thể là bộ điều khiển mờ và bộ điều khiển NARMA-L2. Và những kết quả mô phỏng này cũng khẳng định ưu thế vượt trội của giải pháp điều khiển đã đề xuất trong nghiên cứu.

## 5. KẾT LUẬN

Hệ thống điều chỉnh mức nước bao hơi là một trong những thành phần điều khiển có ý nghĩa tối quan trọng trong vận hành ổn định một nhà máy nhiệt điện. Trong bài báo này, các tác giả đã trình bày một cách khái quát vai trò và các thành phần chủ yếu của hệ thống điều chỉnh mức nước bao hơi. Sau đó, các tác giả đã tập trung nghiên cứu và thiết kế các bộ điều chỉnh cho các mạch vòng điều chỉnh của sơ đồ ổn định mức nước bao hơi sử dụng sơ đồ ba tín hiệu. Tác giả đã đề cập đến các bộ điều chỉnh truyền thống như PD, bộ điều chỉnh nâng cao như logic mờ và đặc biệt là bộ điều chỉnh NARMA-L2 ứng dụng trí tuệ nhân tạo. Các bộ điều chỉnh NARMA-L2 với ưu điểm là có khả năng xấp xỉ các hàm phi tuyến rất tốt được sử dụng để phản ứng nhanh với sự thay đổi của mức nước bao hơi, qua đó đưa ra tín hiệu điều khiển phù hợp tác động lên hệ thống mạch vòng điều chỉnh

phía trong. Các kết quả mô phỏng của bài báo cho từng trường hợp cụ thể đã được thực hiện. Qua các kết quả này, các tác giả đã chứng tỏ được sự vượt trội của giải pháp điều khiển đã đề xuất. Các chỉ tiêu chất lượng điều khiển do bộ điều khiển NARMA-L2 mang lại đều tốt hơn nhiều so với các giải pháp điều khiển truyền thống, kể cả so với bộ điều khiển sử dụng logic mờ.

Để phát triển nghiên cứu này, các tác giả đề xuất tiếp tục tập trung vào việc khảo sát ứng dụng của một số bộ điều khiển dựa trên mạng thần kinh nhân tạo khác như bộ điều khiển thích nghi dựa trên mô

hình mẫu (model reference adaptive controller) hoặc bộ điều khiển dự báo (model predictive controller). Ngoài ra, các giải pháp điều khiển lai ứng dụng logic mờ và mạng nơron hoặc kết hợp với các giải thuật tối ưu hóa sinh học cũng là những hướng nghiên cứu có thể được triển khai.

#### PHỤ LỤC

Thông số mô phỏng [8]:

$$K_1 = 0,1155; T_{11} = 24,926; T_{12} = 0,1584$$

$$K_2 = 3,006; T_{21} = 9,638; T_{22} = 0,34$$

$$K_B = 1,58; T_B = 2.417$$

$$S_{SF} = 0,065; S_F = 0,055; S_H = 0,16$$

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] G.F. Gilman, Jerry Gilman. Boiler control systems engineering. International Society of Automation - ISA, 2010.
- [2] Hulinjing, Zhangke, Liutao. Study on the boiler drum water level based on fuzzy adaptive control. 2012 24<sup>th</sup> Chinese control and decision conference, China, 2012.
- [3] P.M. Lakshmi, H. P. Kumar. Steam boiler drum level control using DCS – One/three element method. International journal of advanced research in electrical, electronics and instrumentation engineering, 5(8): 6931 - 6937, 2016.
- [4] E.K. Arulkarthick, M. Santhosh, S. Saravanan, A. Sivasundar, R. Sudharsanam. Boiler drum level controller using microcontroller. International journal of intellectual advancements and research in engineering computations, 6(1): 41 – 46, 2018.
- [5] Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Duy Bình, Phạm Quang Đăng, Phạm Hồng Sơn. Hệ điều khiển DCS cho nhà máy sản xuất điện năng - tập 1. NXB Khoa học và kỹ thuật, 2006.
- [6] Trần Thị Vân Anh, Lại Khắc Lãi. Điều khiển mức nước bao hơi bằng bộ điều khiển mờ - nơron. Tạp chí Khoa học & Công nghệ, 46(2): 108 - 113, 2008.
- [7] Lê Huyền Linh, Lại Khắc Lãi. Điều khiển mức nước bao hơi bằng bộ điều khiển dự báo (MPC). Tạp chí Khoa học và công nghệ, 51(3): 3-7, 2009.
- [8] Trần Quý Dương. Nghiên cứu, thiết kế bộ điều khiển mức nước bao hơi cho nhà máy nhiệt điện ứng dụng thuật toán điều khiển thông minh dựa trên logic mờ. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Đại học Điện lực, 2017.
- [9] Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Văn Liễn, Phạm Quốc Hải, Dương Văn Nghi. Tự động điều chỉnh truyền động điện. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2008.

[10] Zdenko Kovacic, Stjepan Bogdan. Fuzzy controller design: Theory and applications. CRC Press, 2005.

### Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Ngọc Khoát tốt nghiệp đại học chuyên ngành tự động hóa năm 2007, nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành điều khiển và tự động hóa năm 2009 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành khoa học và kỹ thuật điện tử năm 2015 tại Trường Đại học Khoa học và Kỹ thuật điện tử Trung Quốc. Hiện nay tác giả đang là giảng viên và Phụ trách Bộ môn Kỹ thuật điều khiển, Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: các nguồn năng lượng mới, điều khiển thông minh, các hệ thống truyền động và điện tử công suất thông minh.



Tác giả Vũ Duy Thuận tốt nghiệp đại học chuyên ngành đo lường và tin học công nghiệp năm 2004, nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành điều khiển và tự động hóa năm 2008 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành lý thuyết điều khiển và điều khiển tối ưu năm 2018 tại Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Hiện nay, tác giả đang là giảng viên và là Trưởng Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: các nguồn năng lượng mới, điều khiển thông minh, PLC và robot.

