

# Đánh giá cấu trúc điều khiển phối hợp mới với các cấu trúc điều khiển phối hợp của Flynn và nhà máy nhiệt điện Hải Phòng

## Evaluation of new coordinated control structure with coordinated control structures of Flynn and Hai Phong thermal power plant

Phạm Thị Lý<sup>1,2</sup>, Bùi Quốc Khánh<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ĐH Bách khoa Hà Nội, <sup>2</sup>ĐH Giao thông vận tải  
 Email: ptlydk@utc.edu.vn

### Abstract

The paper presents a comparison and assessment of three structures of boiler-turbine coordinated control which are deployed at Hai Phong thermal power plant, developed by Flynn and the new coordinated control designed by the authors. This paper analyses similarities and differences of these control structures, as well as shows outstanding advantages of the new coordinated control in term of following setpoint and fuel saving. Finally, the simulation results using data collected from Hai Phong thermal power plant also verify that the new coordinated control structure has more advantages than the other because of its simple structure, easy operation, and adjustment.

### Keywords

Coordinated control, steam power, thermal power plant, boiler, turbine, turbine-generator, boiler-turbine

### Tóm tắt<sup>1</sup>

Bài báo đưa ra sự so sánh, đánh giá cho ba cấu trúc điều khiển phối hợp của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng với cấu trúc điều khiển phối hợp của Flynn và cấu trúc điều khiển phối hợp mới do tập thể tác giả xây dựng theo tiêu chí bám lượng đặt công suất và giảm thiểu tiêu thụ nhiên liệu. Nội dung bài báo đi phân tích sự giống và khác nhau trong các cấu trúc điều khiển phối hợp lò hơi-tuabin của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng, của tác giả Flynn và của cấu trúc điều khiển mới. Bài báo đưa ra kết quả mô phỏng cho cấu trúc điều khiển phối hợp mới mà tập thể tác giả đã xây dựng đem so sánh với nhà máy nhiệt điện Hải Phòng và cấu trúc do tác giả Flynn đề xuất. Kết quả cho thấy, hệ điều khiển phối hợp mới đề xuất được thiết kế có ưu điểm hơn về chỉ tiêu chất lượng bám lượng đặt và tiêu thụ ít nhiên liệu hơn so với cấu trúc điều khiển nhà máy và cấu trúc điều khiển phối hợp của Flynn mang đi so sánh. Hệ thiết kế có cấu trúc đơn giản, dễ vận hành, chỉnh định.

$P_h, P_h^*$	Mpa	Áp suất hơi thực, áp suất hơi đặt
$G_{CN}, G_{CWF}, G_{CP}$		Bộ điều khiển công suất, bộ điều khiển cấp liệu, bộ điều khiển áp suất
$u_N, u_{\Delta P}$		Tín hiệu ra của bộ điều khiển công suất, tín hiệu bù áp suất

### 1. Đặt vấn đề

Trong hoạt động của nhà máy nhiệt điện đốt than, để đảm bảo hệ phụ tải nhiệt nhà máy hoạt động ổn định và hiệu quả thì có nhiều cấu trúc điều khiển để thực hiện như: Điều khiển theo lò hơi (Boiler Following Control), điều khiển theo tuabin (Turbine Following Control), điều khiển phối hợp lò hơi-tuabin (Coordinated Control). Mỗi cấu trúc điều khiển đều có những ưu và nhược điểm khác nhau. Tuy nhiên, hệ điều khiển phối hợp lò hơi-tuabin phối hợp hoạt động của hai hệ điều khiển lò hơi và điều khiển tuabin đảm bảo hệ điều khiển phụ tải nhiệt làm việc ổn định và hiệu quả nhất [10].

Hiện nay, có rất nhiều tác giả đã nghiên cứu và xây dựng mô hình có cấu trúc điều khiển phối hợp [11]-[18]. Tuy nhiên cấu trúc điều khiển phối hợp đang được áp dụng ở các nhà máy nhiệt điện hiện nay [19] và cấu trúc do tác giả Flynn đề xuất [6] là có nhiều ưu điểm hơn hẳn. Tuy nhiên, cấu trúc của Flynn đưa ra mới chỉ dừng lại ở ý tưởng mà chưa chứng minh tính hiệu quả. Nghiên cứu của đề tài đã xây dựng cấu trúc điều khiển phối hợp mới, cải tiến cấu trúc từ ý tưởng của Flynn và chứng minh những vấn đề mà tác giả này đề xuất nhưng chưa chứng minh, thử nghiệm tính hiệu quả [10].

Nội dung bài báo này tập trung nghiên cứu hệ điều khiển phối hợp của nhà máy so sánh với cấu trúc điều khiển phối hợp do Flynn đề xuất và hệ điều khiển phối

### Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
$N^*, N_e$	MW	Công suất đặt và thực
$W_f^*, W_{f,h}, W_h$	Kg/s	Lưu lượng liệu đặt, lưu lượng liệu thực, lưu lượng hơi
$V_f, V_h$		Van cấp liệu, van tuabin
$\mu_f, \mu_h$	%	Độ mở van cấp liệu, độ mở van tuabin

<sup>1</sup> Phiên bản nâng cao của báo cáo mã số 72, tham dự “Hội nghị - Triễn lãm quốc tế lần thứ 5 về Điều khiển và Tự động hóa VCCA-2019” diễn ra tại Hà Nội trong 2 ngày 06-07/09/2019; *Phản biện*: Lê Tòng, Nguyễn Quang Hải, Nguyễn Phùng Quang.

hợp có cấu trúc mới mà tập thể tác giả đã thiết kế theo tiêu chí bám lượng đặt công suất và tiết kiệm nhiên liệu. Nội dung bài báo được trình bày có ba phần:

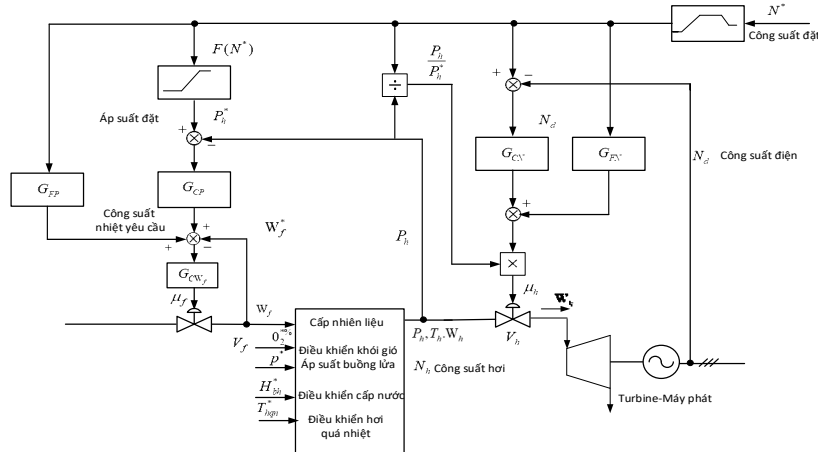
- Phân tích trúc điều khiển phối hợp của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng và cấu trúc của Flynn.
- So sánh cấu trúc điều khiển phối hợp của nhà máy với cấu trúc của Flynn và cấu trúc mới được đề xuất.
- Mô hình hóa mô phỏng và đánh giá chất lượng của ba cấu trúc.

Mô hình điều khiển của lò hơi và tuabin- máy phát dựa trên mô hình điều khiển phụ tải nhiệt, tác giả đã nghiên cứu trong [7], số liệu nghiên cứu theo thực tế nhà máy [4], việc xây dựng cấu trúc và tổng hợp điều khiển cho cấu trúc mới được trình bày trên [10].

## 2. Nội dung

### 2.1 Khảo sát cấu trúc điều khiển phối hợp của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng [19]

Trên H.1 là cấu trúc điều khiển phối hợp của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng [19].



H.1 Cấu trúc điều khiển phối hợp của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng

Trong đó hệ điều khiển công suất gồm hai bộ điều khiển công suất điện  $G_{CN}$  được bố trí ở cụm tuabin- máy phát và bộ điều khiển công suất hơi  $G_{CP}$  được thiết lập để điều khiển lò hơi. Khi có giá trị đặt công suất tải  $N_e^*$ , giá trị này sẽ được chuyển đổi thành các giá trị đặt cho hai bộ điều khiển  $G_{CN}$  và  $G_{CP}$ . Hai bộ điều khiển này xen kênh với nhau thông qua tỷ lệ áp suất  $P_h/P_h^*$

- Điều khiển công suất lò hơi  $G_{CP}$ : Lượng đặt cho hệ là áp suất hơi  $P^*$  được tính toán thông qua lượng đặt công suất  $N_e^*$ , xác định theo quan hệ với công suất phát  $P_h^* = F(N^*)$  được gọi là đường áp suất trượt [2]. Để đẩy nhanh tốc độ đáp ứng của mạch vòng điều khiển nhiên liệu, cấu trúc nhà máy sử dụng một tín hiệu bù giá trị yêu cầu tải  $G_{FP}$ . Đại lượng tác động lên đối tượng lò hơi là lưu lượng nhiên liệu  $W_f^*$  tương ứng với công suất nhiệt yêu cầu. Để ổn định lưu lượng nhiên liệu cấu trúc của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng bố trí mạch vòng điều khiển lưu lượng nhiên liệu với bộ điều khiển là  $G_{CWf}$ , cơ cấu chấp hành là van điều khiển liệu  $V_f$ , tín hiệu điều khiển là góc mở van cấp liệu  $\mu_f$ . Điều khiển lò hơi, ngoài mạch vòng lưu lượng nhiên liệu, còn có bốn mạch vòng điều khiển: Điều khiển mức nước bao hơi, điều khiển khối, gió và nhiệt độ hơi quá nhiệt. Đại lượng đầu ra của bộ điều khiển công suất lò hơi  $G_{CP}$  là công suất hơi  $N_h$ .
- Điều khiển cụm tuabin- máy phát  $G_{CN}$ : Đây là vòng điều khiển chính, trực tiếp điều khiển lưu lượng hơi vào tuabin và công suất tải. Lượng đặt

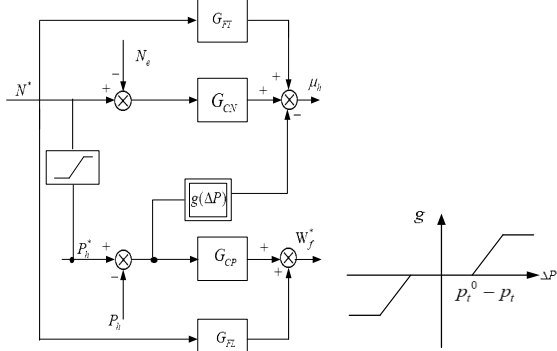
cho hệ là công suất phát  $N_e^*(MW)$  được tính toán từ yêu cầu tải qua khâu Ramp (MW/phút). Mạch vòng điều chỉnh này có thêm tín hiệu bù giá trị đặt công suất  $G_{FN}$  để tăng tốc độ đáp ứng của yêu cầu điều khiển và một tín hiệu xen kênh, bù áp suất được tính bằng tỷ lệ giữa áp suất hơi và áp suất đặt  $P_h/P_h^*$ . Đại lượng cần điều khiển là công suất điện  $N_e$  và bộ điều khiển công suất  $G_{CN}$ . Đại lượng tác động là van hơi  $V_h$ , điều khiển lưu lượng hơi vào tuabin để điều khiển công suất điện  $N_e$  thông qua độ mở van  $\mu_h$ .

- Hoạt động của hệ điều khiển phối hợp lò hơi-tuabin của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng như sau: Hệ đang làm việc ở điểm cân bằng, giả thiết tăng công suất đặt, bộ điều khiển công suất hơi  $G_{CP}$  sẽ tác động tăng lượng nhiên liệu cấp cho lò dẫn đến công suất hơi  $N_h = W_h \cdot P_h$  tăng. Phía điều khiển tuabin, do tín hiệu bù  $G_{FN}$  nên van tuabin  $V_h$  mở ngay. Tuy nhiên, do quán tính lò lớn, nên áp suất hơi sẽ tăng chậm hơn, tác động hạn chế lưu lượng hơi vào tuabin mà lưu lượng hơi phụ thuộc vào góc mở van  $\mu_h$ . Vì vậy cần phối hợp điều khiển sao cho độ mở van tuabin phù hợp với công suất hơi đáp ứng thông qua tỷ lệ  $P_h/P_h^*$  tăng dần hoặc giảm dần tương ứng với độ mở van yêu cầu. Trong quá trình tăng tải, do lò hơi có quán tính lớn nên khi tăng tải lò hơi phải mất một khoảng thời gian trễ thì mới đáp ứng được áp suất hơi yêu cầu. Như vậy, nếu ban đầu tỷ lệ  $P_h/P_h^* < 1$ , tín hiệu này sẽ nhân trực tiếp vào tín hiệu điều khiển từ bộ điều khiển  $G_{CN}$  và feedforward lượng đặt công suất  $G$ .

$F_N$ , làm giảm độ mở của van tuabin. Khi đó, tổ hợp tuabin-máy phát sẽ phải chờ cho lò hơi đáp ứng đủ công suất hơi thì mới tiến hành mở van tuabin theo đúng yêu cầu lượng đặt. Tỷ lệ  $P_h/P_h^*$  sẽ tăng dần cho đến khi lò hơi đáp ứng đủ sẽ có giá trị bằng 1. Ngược lại trong giai đoạn giảm tải, thì bộ điều khiển  $G_{CN}$  và tín hiệu feedforward điều khiển công suất  $G_{FN}$  sẽ đưa ra tín hiệu để giảm độ mở van tuabin nhanh, như vậy có thể gây áp lực lớn lên thiết bị khi mà áp suất hơi thực  $P_h$  chưa kịp giảm tương ứng. Lúc này, tỷ lệ  $P_h/P_h^*$  sẽ lớn hơn 1 (do lượng đặt sẽ giảm khi giảm tải, và  $P_h^* < P_h$  ở giai đoạn đầu của quá trình giảm tải), điều chỉnh cho van tuabin giảm dần độ mở với tốc độ chậm hơn, giúp vận hành hệ thống an toàn hơn. Nhược điểm của cấu trúc này là tác động chậm khi có nhiễu như nhiệt trị thay đổi (do phải chờ nhiều tác động đến hệ điều khiển thay đổi thì mới tác động thay đổi lưu lượng liệu cấp cho lò).

**2.2 Cấu trúc điều khiển phối hợp Flynn [6]**

Hình H.2 là cấu trúc điều khiển phối hợp của Flynn và đặc tính phi tuyến tính của hàm  $g(\Delta P)$ .

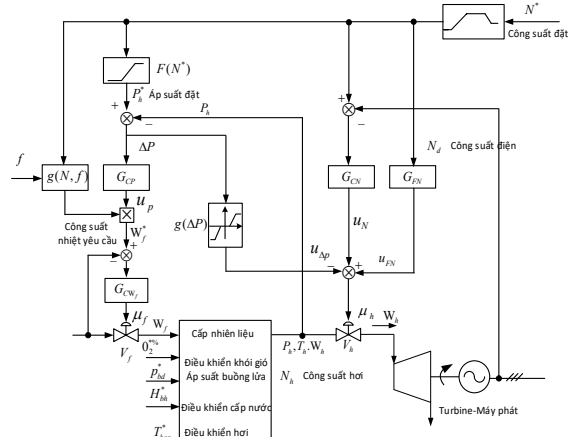


H.2 Cấu trúc điều khiển phối hợp Flynn [6]

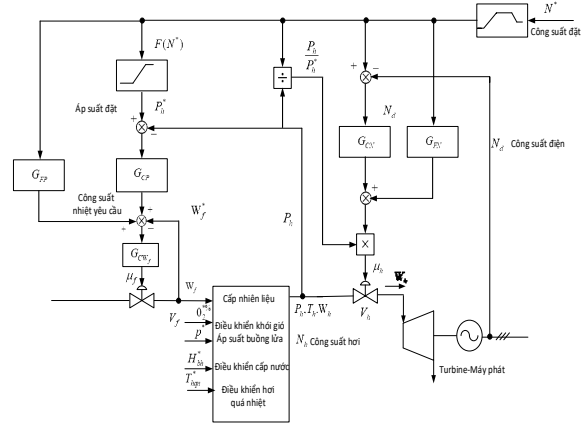
Cấu trúc này cho phép bám công suất yêu cầu nhanh và ngăn các tình huống nguy hiểm thông qua hàm phi tuyến tính  $g(\Delta P)$ . Trong quá trình hoạt động thông thường, hệ thống điều khiển là ở chế độ lò hơi theo tuabin (Boiler Following Turbine mode). Tín hiệu feedforward của công suất tải dựa trên hệ điều khiển cấp liệu cho bất kỳ sự biến đổi tải nào và giảm biến thiên áp suất. Khi xuất hiện những điều kiện khác nghiệt, chế độ tuabin theo lò được lựa chọn theo như cấu trúc trên hình H.3 và một hàm phi tuyến tính  $g(\Delta p)$  hạn chế lưu lượng hơi khi áp suất tăng vượt quá giá trị ngưỡng bảo vệ. Tuy nhiên, trong cấu trúc này, Flynn mới chỉ đề xuất ra cấu trúc nhưng chưa chứng minh tính hiệu quả của cấu trúc này trong điều khiển của nhà máy nhiệt điện. Mặt khác giới hạn của hàm phi tuyến tính  $g(\Delta p)$  tác giả mới chỉ dừng lại ở ý tưởng mà chưa chỉ rõ giá trị cụ thể của giới hạn đó như thế nào. Do đó chưa chứng minh được tính hiệu quả.

**2.3 So sánh cấu trúc điều khiển phối hợp mới [10] với cấu trúc của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng [19]**

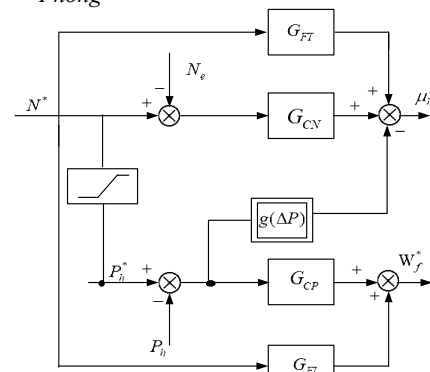
Từ việc nghiên cứu, phân tích cấu trúc điều khiển phối hợp lò hơi-tuabin của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng [19], cấu trúc điều khiển phối hợp của Flynn đề xuất [6], tiến hành so sánh ba cấu trúc điều khiển phối hợp của nhà máy, Flynn và và cấu trúc điều khiển phối hợp lò hơi-tuabin mới [10] để làm rõ đóng góp mà cấu trúc mới mang lại như sau:



a) Cấu trúc điều khiển phối hợp mới



b) Cấu trúc điều khiển phối hợp nhà máy nhiệt điện Hải Phòng

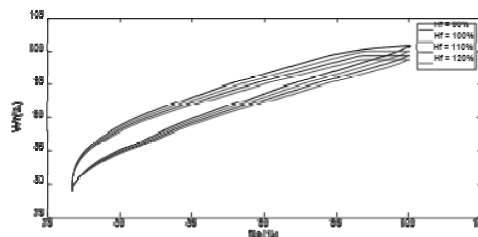


c) Cấu trúc điều khiển phối hợp của Flynn  
H.3 Các cấu trúc điều khiển phối hợp

*Giống nhau:* Lượng đặt công suất  $N_e^*$  (MW) đều được dùng làm lượng đặt cho hai hệ điều khiển công suất hơi và công suất phát. Đều có tín hiệu bù áp suất tác động vào tín hiệu độ mở van tuabin để khử sự xen kẽ giữa hai hệ điều khiển công suất hơi và công suất điện.

Khác nhau:

- Tín hiệu bù xen kênh của các cấu trúc là khác nhau:
  - + Trong khi cấu trúc của nhà máy H.3b sử dụng tỷ lệ giữa áp suất thực của lò hơi với áp suất đặt ( $P_h/P_h^*$ ) để làm tín hiệu xen kênh tác động điều chỉnh độ mở van tuabin phù hợp với lượng hơi yêu cầu cho công suất tải. Bù xen kênh theo cách này vẫn chứa nhiều nhược điểm do chưa khống chế được giới hạn điều chỉnh và độ mở van tuabin, do đó việc điều chỉnh độ mở van tuabin vẫn bị dao động lớn dẫn đến ảnh hưởng tới quá trình điều chỉnh thay đổi công suất. Khi có nhiễu tác động vào hệ (ví dụ như nhiệt trị than thay đổi) phải mất nhiều thời gian để tính toán và điều chỉnh lại các thông số của hệ thống.
  - + Cấu trúc phối hợp của Flynn H.3c đề xuất đưa ra một hàm phi tuyến tính  $g(\Delta P)$  để bù xen kênh giữa lò hơi và tuabin khi có sự thay đổi công suất. Tuy nhiên cấu trúc này mới được tác giả [6] đề xuất mà chưa chứng minh và chưa chỉ ra giới hạn cụ thể của hàm  $g(\Delta P)$  để xác ngưỡng điều chỉnh van tuabin sao cho tránh bị dao động. Do đó, chưa xác định chính xác hiệu quả mang lại của cấu trúc.
  - + Cấu trúc phối hợp mới H.3a lại đưa ra một hàm phi tuyến tính  $g(\Delta P)$  để bù xen kênh giữa lò hơi và tuabin khi có biến thiên công suất. Hàm  $g(\Delta P)$  này đã được tính toán để chỉ ra giới hạn cụ thể để hệ làm việc an toàn, ổn định và hiệu quả [10]. Điều này giúp van tuabin không phải điều chỉnh liên tục và không bị dao động do việc điều chỉnh được giới hạn theo hệ số khuếch đại đã được xác định trước. Nó có khoảng tới hạn khuếch đại cụ thể [10] để tránh dao động cho van tuabin.
- Tín hiệu điều chỉnh nhiên liệu đáp ứng với tổng lượng nhiệt yêu cầu khi thay đổi công suất tải:
  - + Mỗi khi thay đổi công suất đặt thì cấu trúc của nhà máy và cấu trúc của Flynn sẽ tác động vào mô hình để điều chỉnh lượng nhiên liệu tương ứng với tổng lượng nhiệt yêu cầu.
  - + Trong cấu trúc điều khiển phối hợp mới, khi có sự thay đổi tổng lượng nhiệt yêu cầu theo sự thay đổi của công suất tải thì được đáp ứng bằng quan hệ trong hàm  $G(N,f)$ . Quan hệ này được tham gia trực tiếp vào hệ điều khiển và cập nhật đặc tính của than sau chu kỳ lấy mẫu thí nghiệm (quan hệ này trong cấu trúc của Flynn cũng không đưa ra). Do đó, cấu trúc mới đáp ứng nhanh, điều chỉnh tốt cho hệ thống hoạt động, đặc biệt khi có nhiễu than (có nhiều yếu tố có thể coi là nhiễu than: nhiệt trị, thành phần hóa học, tính chất vật lý ... Trong nghiên cứu này giả thiết chỉ khảo sát nhiễu than là sự thay đổi nhiệt trị). Hình H.4 đưa ra đường đặc tính  $G(N,f)$  cụ thể:



H.4 Đặc tính  $G(N,f)$

Từ hình H.4 cho thấy mỗi khi có nhiệt trị  $H_f$  thay đổi tương ứng với quá trình tăng tải hoặc giảm tải đều có lưu lượng nhiên liệu đáp ứng đúng với yêu cầu đó nên làm cho thời gian đáp ứng yêu cầu điều khiển nhanh hơn so với việc tính toán từ mô hình của cấu trúc điều khiển phối hợp của nhà máy và của Flynn.

### 2.4 Mô phỏng so sánh ba cấu trúc.

Các số liệu mô phỏng lấy từ một tổ máy có công suất 300MW của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng [4] theo mô hình phụ tải nhiệt [10].

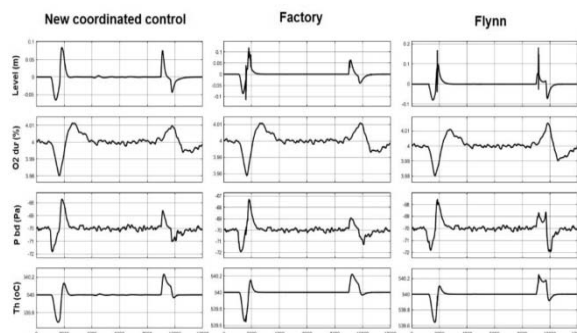
#### 1. Kích bản mô phỏng

- Công suất đặt tăng từ 230 đến 300MW (ứng với 70% đến 100%) duy trì ổn định tại 100%, sau đó giảm về 70%.
- Tốc độ tăng và giảm lượng công suất đặt  $\pm 6\text{MW/phút}$
- Áp suất hơi được xác định từ đặc tính áp suất trượt (theo công suất đặt):  $14.2 \div 16.72\text{Mpa}$  (ứng với  $70\% \div 80\% P_{\max}$  [4])
- Lưu lượng nhiên liệu theo thiết kế loại than cấp cho lò là  $W_{\text{TN}} = 36,5 \text{ kg/s}$  với nhiệt trị  $21134 \text{ kJ/kg}$  tương ứng 100% công suất vận hành. Khi vận hành cho tác động của nhiễu thay đổi nhiệt trị của than trong khoảng từ  $20077 \text{ kJ/kg}$  đến  $23247 \text{ kJ/kg}$  (ứng với  $95 \div 110\% W_{\text{TN}}$ ) được trình bày trên H.10a. Thông số thay đổi của nhiệt trị của than được cập nhật qua hàm  $g(N,f)$

#### 2. Các đáp ứng mô phỏng

##### a) Đáp ứng bốn mạch vòng điều khiển lò hơi

Đáp ứng của mạch vòng điều khiển mức, mạch vòng điều khiển nồng độ ô xy dư, mạch vòng áp suất buồng đốt, mạch vòng nhiệt độ hơi quá nhiệt ứng với ba cấu trúc điều khiển của nhà máy và cấu trúc mới được đề xuất [10] và cấu trúc của Flynn [6] trên H.5.



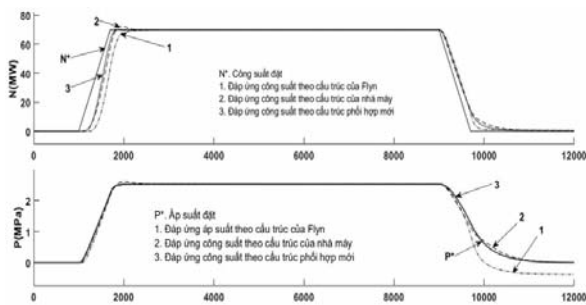
H.5 Đáp ứng của bốn mạch vòng điều khiển lò hơi với ba cấu trúc điều khiển phối hợp

**Nhận xét:**

Bốn mạch vòng điều ổn định và có đáp ứng đúng theo yêu cầu điều chỉnh cho các mạch vòng ở chế độ vận hành điều khiển phối hợp (Coordinated Control) của nhà máy, của cấu trúc mới đề xuất và của Flynn. Tuy nhiên, cấu trúc mới có mạch vòng điều chỉnh mức nước bao hơi tốt hơn, biên độ dao động nhỏ hơn (0,085m) so với của nhà máy (0,12m) và của Flynn (0,17m).

**b) Đáp ứng công suất- áp suất hơi- lưu lượng nhiên liệu- lưu lượng hơi ứng với ba cấu trúc điều khiển phối hợp**

Trên H.6 là đáp ứng công suất và áp suất ở tốc độ tăng tải 6MW/phút với công suất đặt yêu cầu ( $N^*$ ) thay đổi từ 230÷300MW, tương ứng từ 76%÷100% công suất,  $P^*$  là áp suất đặt yêu cầu.



**H.6** Đáp ứng công suất, áp suất hơi ứng với ba cấu trúc điều khiển phối hợp

Kết quả được đánh giá theo các chỉ tiêu thời gian quá độ ( $T_{qd}$  [s]), độ quá điều chỉnh ( $\delta$  [%]), sai lệch công suất, sai lệch áp suất cực đại ( $e_{max}$  [%]) trong thời gian tăng tải, giảm tải và sai lệch tĩnh.

Bảng đánh giá chất lượng đối với đặc tính công suất của cấu trúc điều khiển phối hợp nhà máy nhiệt điện Hải Phòng với cấu trúc điều khiển phối hợp mới trên hình H.6 trong bảng B.1 như sau:

**B.1** Bảng đánh giá chất lượng của đáp ứng công suất

Chế độ điều khiển phối hợp	$T_{qd}$ [s]		$e_{max}$ [%]		$\delta$ [%]
	Tăng tải	Giảm tải	Tăng tải	Giảm tải	
Phối hợp mới	715	891	7.85	4.67	0
Nhà máy	763	945	7.95	5.01	0
Flynn	1080	940	0	0	0

Bảng đánh giá chất lượng đối với đặc tính áp suất của hai cấu trúc mang ra so sánh trên hình H.6 trong bảng B.2 như sau:

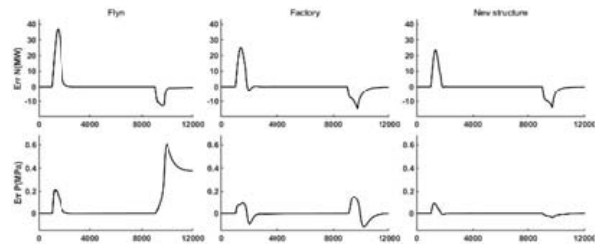
**B.2** Bảng đánh giá chất lượng của đáp ứng áp suất

Chế độ điều khiển phối hợp	$T_{qd}$ [s]		$e_{max}$ [%]		$\delta$ [%]
	Tăng tải	Giảm tải	Tăng tải	Giảm tải	
Phối hợp mới	810	1900	0.3	0.216	0
Factory	881	1940	0.41	0.18	0
Flynn	858	978	0.06	0.119	0

**Nhận xét:**

- Đáp ứng công suất theo cấu trúc điều khiển phối hợp mới có thời gian xác lập nhanh hơn (800s tính từ khi bắt đầu có tín hiệu tăng tải), không có độ quá điều chỉnh và không bị dao động. Đáp ứng công suất theo cấu trúc điều khiển phối hợp mới có thời gian xác lập chậm hơn (1260s tính từ khi bắt đầu có tín hiệu tăng tải), có độ quá điều chỉnh (2,5MW ~ 3,57%), và có dao động nhẹ (0,3MW). Đáp ứng công suất theo cấu trúc điều khiển của Flynn có thời gian xác lập chậm nhất (1350s tính từ khi bắt đầu có tín hiệu tăng tải), không có độ quá điều chỉnh và không dao động.
- Đáp ứng áp suất theo cấu trúc điều khiển phối hợp mới rất tốt, bám với công suất đặt. Đáp ứng áp suất theo cấu trúc điều khiển của nhà máy thì có độ quá điều chỉnh (0,08Mpa ~ 3,17%), thời gian xác lập chậm hơn (1600s từ khi có tín hiệu tăng tải). Đáp ứng áp suất theo cấu trúc điều khiển của Flynn bám không tốt bằng hai cấu trúc trên, không có độ quá điều chỉnh và không dao động, xác lập nhanh.

Sai lệch công suất và áp suất của ba cấu trúc mang ra so sánh:



**H.7** Sai lệch công suất và áp suất của ba cấu trúc

**Nhận xét:**

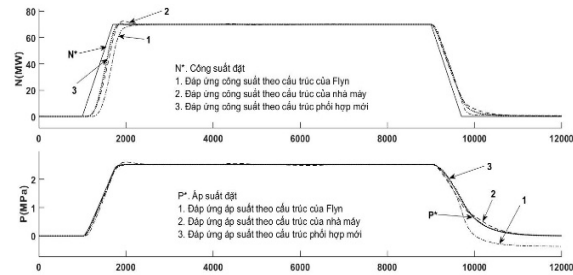
Trong giai đoạn tăng tốc, sai lệch công suất trong cấu trúc điều khiển của Flynn có sai lệch lớn nhất là 37 MW, sai lệch công suất trong cấu trúc điều khiển của nhà máy là 25.2 MW, sai lệch trong cấu trúc điều khiển phối hợp mới là 23.6 MW. Trong giai đoạn giảm tốc thì sai lệch công suất theo cấu trúc của Flynn có sai lệch khoảng 12.8 MW, còn sai lệch công suất của 2 cấu trúc điều khiển còn lại tương tự nhau là khoảng 15 MW.

Trong giai đoạn tăng tốc sai lệch áp suất theo cấu trúc điều khiển của Flynn là 0.22 MPa, sai lệch áp suất theo cấu trúc điều khiển của nhà máy trong khoảng (-0,09 ÷ 0,092) MPa, sai lệch áp suất theo cấu trúc điều khiển phối hợp mới trong khoảng (-0,01 ÷ 0,087) MPa. Trong giai đoạn giảm tốc, sai lệch áp suất theo cấu trúc điều khiển của Flynn là 0,6 MPa, sai lệch áp suất theo cấu trúc điều khiển của nhà máy trong khoảng (-0.112 ÷ 0.157) MPa, sai lệch áp suất theo cấu trúc điều khiển phối hợp mới là -0.0368 Mpa.

**c) Đáp ứng của hệ khi thay đổi nhiệt trị của than**

Để thấy rõ ảnh hưởng của thay đổi nhiệt trị than tới công suất, áp suất và các mạch vòng trong của lò hơi, ta thay đổi nhiệt trị than khi vận hành ổn định để đánh giá các chỉ tiêu đáp ứng công suất. Khi mô

phòng nhiệt trị than thay đổi: Đối với điều khiển phối hợp của nhà máy và Flynn ta sẽ tác động vào mô hình; Đối với cấu trúc điều khiển phối hợp mới ta sẽ tác động vào cả mô hình và hàm  $g(N^*, f)$ . Hình H.8 là đáp ứng mạch vòng điều khiển công suất hơi và mạch vòng điều khiển công suất điện

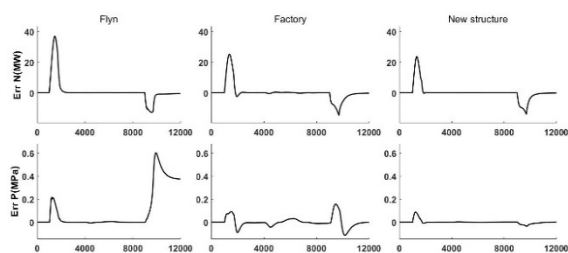


H.8 Đáp ứng của các mạch vòng khi thay đổi nhiệt trị than

Nhận xét:

Có thể thấy như trên hình vẽ, đáp ứng công suất và áp suất theo cấu trúc của Flynn (1) không có dao động. Đáp ứng công suất và áp suất theo cấu trúc điều khiển của nhà máy (2) có sự dao động nhẹ. Trong cấu trúc điều khiển phối hợp mới (3), thì đáp ứng công suất và áp suất gần như không bị ảnh hưởng khi có nhiều nhiệt trị than thay đổi.

Sai lệch công suất và áp suất ở ba cấu trúc điều khiển phối hợp mang đi so sánh:



H.9 Sai lệch công suất và áp suất của ba cấu trúc điều khiển phối hợp

Nhận xét:

Khi thay đổi nhiệt trị than, sai lệch công suất và áp suất theo cấu trúc của Flynn (1) hầu như không có thay đổi khi có tác động của nhiệt trị than. Sai lệch công suất và áp suất theo cấu trúc điều khiển của nhà máy (2) có sự dao động. Cụ thể, thời điểm bắt đầu có sự thay đổi nhiệt trị là 4000s, sai lệch áp suất theo cấu trúc điều khiển của nhà máy dao động trong dải  $[-0,04 \ 0,03]$  và sai lệch công suất cũng dao động trong dải  $[-0,5 \ 0,5]$ . Sai lệch công suất và áp suất theo cấu trúc điều khiển phối hợp mới (3) hầu như không có thay đổi khi thay đổi nhiệt trị.

Từ những nhận xét trên cho thấy chế độ điều khiển phối hợp mới được đề xuất trong nghiên cứu này hoạt động ổn định và đã cải thiện được thời gian điều chỉnh, bám lượng đặt nhanh hơn, tiêu thụ nhiên liệu ít hơn, chất lượng điều chỉnh được cải thiện tốt hơn so với cấu trúc hiện có của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng và Flynn.

**2.4 Đánh giá hệ điều khiển theo chỉ tiêu vận hành tối ưu**

Trong nhà máy nhiệt điện chạy than người ta đưa ra bốn chỉ tiêu đánh giá cho vận hành tối ưu [12], gồm:

- **Chỉ tiêu thứ 1:** Hệ vận hành an toàn, ổn định, đảm bảo số lần sự cố xảy ra ít nhất sao cho sản lượng MWh lớn nhất với chi phí vận hành là thấp nhất.
- **Chỉ tiêu thứ 2:** Hệ đảm bảo an toàn môi trường, việc phát thải ra môi trường các chất thải rắn, chất thải lỏng, chất thải khí nằm trong tiêu chuẩn môi trường cho phép với chi phí thấp nhất.
- **Chỉ tiêu thứ 3:** Hệ bám công suất đặt tốt nhất trong thời gian tăng tải, giảm tải và làm việc ổn định khi có nhiều tác động, gọi là  $J_N$ .
- **Chỉ tiêu thứ 4:** Hệ có chi phí nhiên liệu là thấp nhất, gọi là  $J_f$ .

Trong nội dung bài báo chỉ lấy hai chỉ tiêu  $J_N$  và  $J_f$  để khảo sát, đánh giá. Trong đó chỉ tiêu bám lượng đặt và chi phí nhiên liệu được tính [12]:

$$J_N = \frac{1}{t-t_0} \int_{t_0}^t |e_N| t dt \rightarrow \min; \quad J_f = \frac{\int_{t_0}^t W_f(t) dt}{\int_{t_0}^t N_c(t) dt} \rightarrow \min$$

Áp dụng công thức tính  $J_N$ ,  $J_f$  cho ba giai đoạn: tăng tải, tải ổn định có nhiệt trị thay đổi và giảm tải. Kết quả tính toán được trình bày trong bảng B.2.

**B.3 Giá trị các chỉ tiêu  $J_N$  (%),  $J_f$  (Kg(than)/kWh) từ kết quả mô phỏng**

Chế độ điều khiển phối hợp	$J_N$ [%]	$J_f$ [Kg/kWh]
Phối hợp mới	2.4	0.41
Nhà máy	2.92	0.413
Flynn	3.4	0.51

Nhận xét:

Ta thấy, đối với chỉ tiêu bám lượng đặt công suất ( $J_N$ ) ở cấu trúc điều khiển phối hợp mới nhỏ hơn cấu trúc điều khiển phối hợp tại nhà máy nhiệt điện Hải Phòng, cấu trúc Flynn là lớn nhất. Đối với chỉ tiêu chi phí nhiên liệu ( $J_f$ ), ở cấu trúc điều khiển phối hợp mới cũng nhỏ hơn cấu trúc điều khiển phối hợp tại nhà máy nhiệt điện Hải Phòng và Flynn. Điều này chứng minh được rằng cấu trúc điều khiển phối hợp mới bám lượng đặt tốt hơn và tiêu tốn ít nhiên liệu hơn so với cấu trúc phối hợp của nhà máy và Flynn.

**3. Kết luận**

Nội dung bài báo đã khảo sát, so sánh được hệ điều khiển công suất trong nhà máy nhiệt điện đốt than theo các cấu trúc điều khiển phối hợp: Cấu trúc điều khiển phối hợp của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng, cấu trúc phối hợp của Flynn và cấu trúc điều khiển phối hợp mới [10], được nghiên cứu đề xuất xây dựng từ việc cải tiến ý tưởng của Flynn. Kết quả khảo sát, so sánh đã chứng minh cấu trúc điều khiển phối hợp mới [10] đã có chất lượng điều chỉnh tốt hơn so với cấu trúc của nhà máy và của Flynn. Theo cấu trúc mới, đảm bảo cập nhật được đặc tính nhiên liệu để đạt tổng lượng nhiệt yêu cầu chính xác ngay khi có yêu cầu

điều chỉnh công suất và triệt tiêu được sự dao động độ mở van tuabin, tránh xung động tuabin do có được giới hạn điều chỉnh từ hàm  $g(\Delta P)$ . Với thiết kế cấu trúc điều khiển phối hợp mới đã đồng bộ giữa lò hơi và tuabin theo yêu cầu đặt ra. Từ cấu trúc điều khiển mới xây dựng được mang đi so sánh với các cấu trúc điều khiển phối hợp khác và thu được kết quả tốt, nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục nghiên cứu các phương pháp tối ưu hóa để tìm ra tham số tối ưu cho bộ điều khiển và đưa thêm nhiều vào hệ để bám sát thực tế hơn và sẽ trình bày trong nội dung các bài báo sau.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Khánh BQ, Bình NH, Đăng PQ, Sơn PH (2016) *Hệ điều khiển DCS cho nhà máy sản xuất điện năng*, NXB Khoa học & Kỹ thuật, in lần 2
- [2] *Các tài liệu và bản vẽ và thuyết minh: Vận hành lò hơi, tua bin, thiết bị đo, vận hành DCS... và các tài liệu khác của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng*
- [3] *Các tài liệu và bản vẽ và thuyết minh: Vận hành lò hơi, tua bin, thiết bị đo, vận hành DCS... và các tài liệu khác của nhà máy nhiệt điện Duyên Hải*
- [4] *Các dữ liệu hoạt động của nhà máy nhiệt điện Hải Phòng trong tháng 7 - 2017, định dạng dưới dạng file excel.*
- [5] Dukelow SG (1991) *The control of boiler*. 2nd edition, ISA; Subsequent edition.
- [6] Flynn D, ed. (2003) *Thermal Power Plant Simulation and Control*. Stevenage, UK: IEE Press
- [7] Lý PT, Sáng NT, Dũng LD, Khánh BQ (2018) *Xây dựng mô hình động học cơ bản của hệ phụ tải nhiệt phục vụ đánh giá và chỉnh định điều khiển*. Tạp chí Năng lượng nhiệt, số 143, tr.14-19
- [8] Khánh BQ, Đăng PQ, Nguyễn VT (2014) *Điều khiển quá trình*, NXB Khoa học & Kỹ thuật
- [9] Garduno-Ramirez R, Lee KY (2001) *Multiobjective Optimal Power Plant Operation Through Coordinate Control with Pressure Set Point*. IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 16, no. 2, pp. 115-122
- [10] Lý PT, Khánh BQ, Long PV, Long TH (2019) *Điều khiển công suất nhà máy nhiệt điện đốt than theo cấu trúc điều khiển phối hợp lò hơi-tuabin*. Chuyên san Đo lường, Điều khiển và Tự động hóa, quyển 21, số 1, tr. 40-49
- [11] de Mello FP (1991) *Dynamic models for fossil fueled steam units in power system studies*. IEEE Trans. on Power System, vol. 6, issue 2, pp. 753-761
- [12] E. Oko, M.H. Wang, *Dynamic modelling, validation and analysis of coal-fired subcritical power plant*. Fuel, vol. 135, pp. 292-300
- [13] Li DH, Zeng HH, et al (2006) *Multivariable nonlinear control design for boiler-turbine units*. Proc. of 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, pp. 7518-7522
- [14] Li S, et al (2014) *DEB-oriented modelling and control of coal-fired power plant*. Proc. of 19th IFAC World Congress, pp. 413-418
- [15] Li SY, Liu HB (2005) *A new coordinated control strategy for boiler-turbine system of coal-fired power plant*. IEEE Trans. on Control System Technology, vol. 13, issue 6, pp. 943-954
- [16] Sun L, et al (2017) *Direct energy balance based active disturbance rejection control for coal-fired power plant*. ISA Transactions, Elsevier Ltd., vol. 70, pp. 486-493
- [17] Sun L, et al (2016) *Control-oriented modeling and analysis of direct energy balance in coal-fired boiler-turbine unit*. Control Engineering Practice 55, pp. 38-55, Elsevier Ltd.
- [18] Hui Q, Kaifeng Z, Xianzhong D (2010) *New Energy Balance Controller of Thermal Generating Unit*. Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, DOI: 10.1109/APPEEC.2010.5449218
- [19] Tài liệu về điều khiển phối hợp trong nhà máy nhiệt điện Hải Phòng