

**ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI  
TRƯỜNG CƠ KHÍ  
KHOA NĂNG LƯỢNG NHIỆT**



**ĐỒ ÁN ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH VÀ  
THIẾT BỊ NĂNG LƯỢNG**

**ĐỀ TÀI : THIẾT KẾ, TRIỂN KHAI HỆ  
THỐNG ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ HƠI  
QUÁ NHIỆT CHO NHÀ MÁY NHIỆT  
ĐIỆN SỬ DỤNG PLC SIEMENS S7-1200**

**Họ tên SV: VŨ ĐỨC MINH - 20214749**

**CAO VĂN ĐỨC - 20241272E**

**Mã lớp: 758872**

**Học kỳ: 2025.1**

**GVHD: TS. ĐỖ CAO TRUNG**

*Hà Nội, 01/2026*

# LỜI CẢM ƠN

Trước hết, chúng em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới TS. Đỗ Cao Trung, người đã tận tình chỉ dẫn, chia sẻ kiến thức và kinh nghiệm quý báu trong suốt quá trình thực hiện đồ án. Sự hướng dẫn tận tâm của thầy là nguồn động viên và hỗ trợ lớn giúp chúng em hoàn thành tốt nhiệm vụ được giao.

Chúng em cũng xin gửi lời cảm ơn tới các thầy cô, cán bộ khoa Năng lượng Nhiệt và các bạn học viên khác đã hỗ trợ về tài liệu, phần mềm và các vấn đề kỹ thuật trong quá trình thực hiện đồ án. Những sự hỗ trợ này đã giúp chúng em giải quyết kịp thời các khó khăn, đồng thời nâng cao hiệu quả nghiên cứu và chất lượng đồ án.

Đặc biệt, xin chân thành cảm ơn các thành viên trong nhóm đã luôn hợp tác, hỗ trợ lẫn nhau để cùng hoàn thành tốt nhiệm vụ được giao.

Cuối cùng, chúng em xin chân thành cảm ơn tất cả những ai đã đóng góp trực tiếp hoặc gián tiếp vào việc hoàn thành đồ án này. Chúng em hy vọng kết quả nghiên cứu sẽ có giá trị tham khảo và ứng dụng trong lĩnh vực tự động hóa công nghiệp.

Nhóm học viên thực hiện đồ án

*Vũ Đức Minh - 20214749*

*Cao Văn Đức - 20241272E*

# LỜI NÓI ĐẦU

Trong quá trình sản xuất điện năng của nhà máy nhiệt điện, lò hơi đóng vai trò là một khâu quan trọng với nhiệm vụ biến đổi năng lượng hóa học tàng trữ trong nhiên liệu thành nhiệt năng của hơi nước. Hơi bão hòa sau khi thoát ra khỏi bao hơi sẽ được dẫn đến các bộ quá nhiệt, tại đây hơi bão hòa được gia nhiệt thêm để đạt nhiệt độ cao hơn, trở thành hơi quá nhiệt trước khi được đưa vào tuabin để quay máy phát điện. Quá trình này là nền tảng cho việc chuyển đổi năng lượng nhiệt thành cơ năng và cuối cùng là điện năng.

Nhiệt độ hơi quá nhiệt là một trong những thông số vận hành quan trọng nhất của lò hơi trong nhà máy nhiệt điện. Việc duy trì nhiệt độ hơi quá nhiệt ổn định trong phạm vi cho phép khi phụ tải của lò thay đổi luôn được đặt lên hàng đầu. Điều này không chỉ nhằm cải thiện hiệu suất chuyển đổi từ nhiệt năng thành cơ năng mà còn để bảo vệ các vật liệu kim loại khỏi sự phá hủy do nhiệt độ quá cao, đồng thời đảm bảo chất lượng hơi đạt tiêu chuẩn trước khi đưa vào tuabin. Mục tiêu này chỉ có thể đạt được khi hệ thống điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt hoạt động tốt, ổn định và có chất lượng cao.

Tuy nhiên, việc điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt gặp phải nhiều thách thức do đặc tính phức tạp của đối tượng nhiệt. Độ trễ thời gian lớn và quán tính nhiệt trong hệ thống một vòng điều khiển là nguyên nhân cơ bản làm giảm tốc độ đáp ứng của hệ thống, từ đó làm giảm độ chính xác của quá trình điều chỉnh. Để nâng cao chất lượng điều chỉnh, trong thực tế người ta thường áp dụng cấu trúc điều khiển hai vòng kết hợp với các bộ điều khiển được thiết kế theo các luật điều chỉnh phù hợp.

Mặt khác, việc thiết kế hệ thống điều khiển cho đối tượng nhiệt còn gặp khó khăn do tính chất phi tuyến, độ trễ vận chuyển lớn và sự bất định của các thông số đối tượng. Những đặc điểm này khiến các phương pháp tổng hợp kinh điển truyền thống thường cho hiệu quả không cao. Trong bối cảnh đó, phương pháp tổng hợp bộ điều khiển bền vững đã ra đời như một giải pháp khả thi, cho phép thiết kế hệ thống điều chỉnh với độ ổn định cao, sai số điều chỉnh nhỏ và quá trình quá độ có hệ số tắt dần tốt ngay cả khi có sự thay đổi lớn về phụ tải hoặc nhiễu loạn.

Khảo sát thực tế cho thấy, hệ thống điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt tại các nhà máy nhiệt điện sau một thời gian vận hành thường xuất hiện các hiện tượng không mong muốn như biên độ dao động lớn và thời gian điều chỉnh kéo dài khi có sự thay đổi đáng kể về phụ tải hoặc nhiễu. Độ quá điều chỉnh lớn có thể dẫn đến nhiệt độ hơi quá nhiệt vượt ra ngoài giới hạn cho phép, gây nguy hiểm cho thiết bị và có thể

dẫn đến thiệt hại kinh tế lớn khi buộc phải dừng tổ máy. Một trong những nguyên nhân chủ yếu của vấn đề này là do các thông số của bộ điều khiển chưa được tối ưu hoặc không được hiệu chỉnh phù hợp với đặc tính thực tế của đối tượng.

Xuất phát từ những phân tích trên, đồ án này tập trung nghiên cứu và thiết kế hệ thống điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt cho lò hơi nhà máy nhiệt điện với mục tiêu nâng cao chất lượng điều chỉnh, đảm bảo tính ổn định và độ chính xác cao của hệ thống trong các điều kiện vận hành khác nhau. Nội dung đồ án bao gồm việc xây dựng mô hình toán học của đối tượng, phân tích các phương pháp điều khiển phù hợp và thiết kế, mô phỏng hệ thống điều khiển đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật đặt ra.

## MỤC LỤC

<b>CHƯƠNG 1. CƠ SỞ CÔNG NGHỆ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN PID .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tổng quan về nhà máy nhiệt điện .....	1
1.1.1 Lịch sử phát triển .....	1
1.1.2 Đặc điểm và cấu tạo .....	1
1.1.3 Nguyên lý hoạt động .....	2
1.2 Hơi quá nhiệt và vai trò trong nhà máy nhiệt điện .....	2
1.2.1 Định nghĩa và nguyên lý hình thành .....	2
1.2.2 Ứng dụng của hơi quá nhiệt .....	3
1.2.3 Vai trò trong nhà máy nhiệt điện .....	4
1.3 Các phương pháp điều khiển hơi quá nhiệt .....	5
1.3.1 Điều chỉnh bằng hơi .....	5
1.3.2 Điều chỉnh bằng khối .....	8
1.3.3 Sơ đồ hệ thống điều khiển .....	10
1.4 Tổng quan về PLC S7-1200 .....	12
1.4.1 Giới thiệu chung .....	12
1.4.2 Đặc điểm kỹ thuật .....	12
1.4.3 Khả năng truyền thông .....	13
1.4.4 Môi trường lập trình TIA Portal .....	13
1.4.5 Ứng dụng trong điều khiển nhiệt điện .....	14
1.5 Phân tích thông số công nghệ .....	15
1.5.1 Quá trình sản xuất hơi quá nhiệt .....	15
1.5.2 Các thông số kỹ thuật chính .....	16

1.6 Đặc tính động học của đối tượng .....	16
1.6.1 Cơ chế truyền nhiệt và động học .....	16
1.6.2 Ảnh hưởng của các yếu tố nhiễu .....	16
1.7 Thiết kế sơ đồ P&ID .....	17
1.7.1 Nguyên tắc thiết kế.....	17
1.7.2 Hệ thống đo lường.....	17
1.7.3 Thiết bị chấp hành và điều khiển .....	18
1.7.4 Hệ thống bảo vệ .....	18
1.8 Xác định biến và thông số hệ thống .....	19
1.8.1 Phân loại các biến .....	19
1.8.2 Các yếu tố nhiễu .....	19
1.8.3 Thông số kỹ thuật chính.....	19
1.9 Kết luận chương .....	20
<b>CHƯƠNG 2. NHẬN DẠNG ĐỐI TƯỢNG, THIẾT KẾ VÀ CHỈNH</b>	
<b>ĐỊNH BỘ ĐIỀU KHIỂN .....</b>	<b>21</b>
2.1 Nhận dạng đối tượng điều khiển.....	21
2.1.1 Phương pháp nhận dạng.....	21
2.1.2 Nhận dạng đối tượng van điều khiển .....	21
2.1.3 Nhận dạng đối tượng bộ quá nhiệt .....	22
2.2 Thiết kế hệ thống điều khiển cascade.....	24
2.2.1 Nguyên lý điều khiển cascade .....	24
2.2.2 Cấu trúc hệ thống.....	25
2.3 Tổng hợp bộ điều khiển .....	26
2.3.1 Phương pháp Ziegler-Nichols .....	26
2.3.2 Phương pháp IMC.....	27
2.3.3 Phương pháp điều khiển bền vững .....	28

2.4 Mô phỏng và so sánh kết quả .....	30
2.4.1 Thiết lập mô phỏng .....	30
2.4.2 Kết quả với phương pháp Ziegler-Nichols.....	31
2.4.3 Kết quả với phương pháp IMC.....	32
2.4.4 Kết quả với phương pháp điều khiển bền vững .....	32
2.4.5 So sánh tổng hợp.....	34
2.5 Kết luận chương .....	35
<b>CHƯƠNG 3. TRIỂN KHAI VÀ THỰC THI HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN</b>	
<b>TRÊN PLC S7-1200 .....</b>	<b>36</b>
<b>CHƯƠNG 4. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN .....</b>	<b>37</b>

## DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1	Sơ đồ cấu tạo sơ bộ của nhà máy nhiệt điện . . . . .	2
Hình 1.2	Hình ảnh rôto tuabin trong nhà máy nhiệt điện . . . . .	4
Hình 1.3	Hơi trong lò hơi . . . . .	5
Hình 1.4	Các cách bố trí bộ giảm ôn bề mặt . . . . .	6
Hình 1.5	Cấu tạo bộ giảm ôn kiểu bề mặt . . . . .	6
Hình 1.6	Sơ đồ nối bộ giảm ôn với đường nước cấp . . . . .	7
Hình 1.7	Sơ đồ cấu tạo bộ giảm ôn hỗn hợp . . . . .	8
Hình 1.8	Các dạng đường khói đi tắt của bộ quá nhiệt . . . . .	8
Hình 1.9	Điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt bằng cách thay đổi vị trí ngọn lửa . . . . .	9
Hình 1.10	Điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt bằng cách tái tuần hoàn khói	10
Hình 1.11	Sơ đồ mạch vòng điều khiển chính của hệ thống . . . . .	11
Hình 1.12	Sơ đồ cấu trúc điều khiển hệ thống . . . . .	11
Hình 1.13	PLC Siemens S7-1200 . . . . .	12
Hình 1.14	Môi trường lập trình TIA Portal . . . . .	14
Hình 2.1	Đáp ứng xung của đối tượng van và mô hình nhận dạng . . . . .	22
Hình 2.2	Đáp ứng bước của đối tượng bộ quá nhiệt và mô hình nhận dạng . . . . .	24
Hình 2.3	Sơ đồ khối hệ thống điều khiển cascade . . . . .	26
Hình 2.4	Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển Ziegler-Nichols . . . . .	31
Hình 2.5	Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển IMC . . . . .	32
Hình 2.6	Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển bền vững ( $\gamma = 1, 5$ ) . . . . .	33
Hình 2.7	So sánh đáp ứng của hệ thống với ba phương pháp chỉnh định	34



## **DANH MỤC BẢNG BIỂU**

Bảng 2.1	So sánh các chỉ tiêu của ba phương pháp chỉnh định . . . . .	34
----------	--	----

# **CHƯƠNG 1. CƠ SỞ CÔNG NGHỆ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN PID**

## **1.1 Tổng quan về nhà máy nhiệt điện**

### **1.1.1 Lịch sử phát triển**

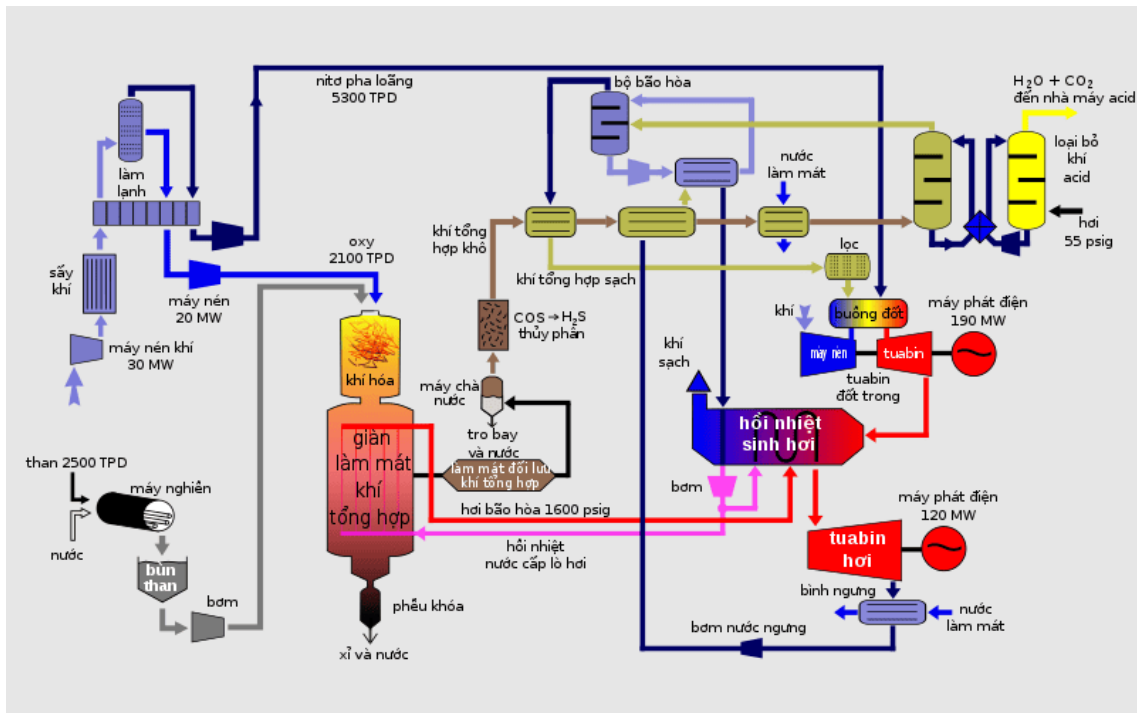
Vào năm 1831, nhà khoa học Michael Faraday đã phát minh ra máy phát điện, đánh dấu bước ngoặt quan trọng trong lịch sử phát triển của loài người. Điện năng được tạo ra để phục vụ cho đời sống xã hội và ngày nay đã trở thành một phần không thể thiếu trong mọi lĩnh vực của cuộc sống. Gần như tất cả các thiết bị sản xuất hiện đại đều sử dụng điện năng làm nguồn năng lượng chính.

Tại Việt Nam, nhà máy nhiệt điện đầu tiên được người Pháp xây dựng tại Hà Nội với mục đích phục vụ cho chính quyền Pháp. Trong những năm 1980-1990 của thế kỷ XX, các nhà máy nhiệt điện của Việt Nam được xây dựng nhiều hơn với công suất ngày càng lớn. Gần đây, nhiều dự án nhiệt điện lớn đã được triển khai như Thái Bình, Vũng Áng, Cà Mau, Phú Mỹ. Tuy nhiên, do ảnh hưởng đến môi trường và sự cạn kiệt dần của nhiên liệu hóa thạch, cùng với xu hướng sử dụng năng lượng sạch của thế giới hiện nay, các dự án nhiệt điện mới hiện ít được triển khai hơn.

### **1.1.2 Đặc điểm và cấu tạo**

Nhà máy nhiệt điện là nhà máy sử dụng các nguyên liệu hóa thạch như than đá, khí đốt hoặc nhiên liệu sinh học, năng lượng hạt nhân, năng lượng mặt trời để cung cấp nhiệt năng cho nước, tạo ra hơi nước làm quay tuabin và tạo ra dòng điện. Phần hơi nước sau khi đi qua tuabin sẽ được ngưng tụ và thu hồi để tái sử dụng cho các chu trình tiếp theo, tạo nên một chu trình khép kín.

Cấu tạo sơ bộ của nhà máy nhiệt điện gồm các bộ phận chính. Lò hơi có nhiệm vụ chuyển đổi nước thành hơi nước thông qua quá trình đốt cháy nhiên liệu, đồng thời trong giai đoạn này năng lượng hóa học cũng được chuyển đổi thành nhiệt năng. Bình ngưng dùng để ngưng tụ lượng hơi thoát từ tuabin hạ áp thành nước ngưng cung cấp cho chu trình nhiệt, ngoài ra còn đảm nhận vai trò cung cấp nước cho hệ thống và góp phần đảm bảo quá trình sản xuất năng lượng điện diễn ra an toàn và hiệu quả. Tuabin thu thập hơi nước để làm quay các cánh quạt nhằm tạo ra dòng điện xoay chiều, thường có nhiều thân với áp suất đa dạng để tận dụng tối đa hơi nước. Bơm cấp cung cấp nước trong hệ thống nhà máy nhiệt điện, bơm nước đến vị trí cần thiết, đồng thời giữ được sự ổn định của dòng chảy, tạo sự ổn định cho toàn nhà máy khi vận hành.



**Hình 1.1:** Sơ đồ cấu tạo sơ bộ của nhà máy nhiệt điện

## 1.1.3 Nguyên lý hoạt động

Về cơ bản, nhà máy nhiệt điện hoạt động dựa trên nguyên lý biến đổi nhiệt năng sang cơ năng thông qua việc đốt cháy nhiên liệu hóa thạch, sau đó chuyển hóa từ cơ năng thành điện năng thông qua việc hơi nước làm quay tuabin gắn với máy phát điện. Nguyên liệu đầu vào là than đá được nghiền thành bột mịn bằng máy nghiền và được thổi vào lò hơi để đốt cháy. Bên trong lò hơi, phần nhiệt được tạo ra sẽ chuyển hóa nước thành hơi nước.

Dưới điều kiện áp suất cao, hơi nước sẽ làm quay cánh tuabin được nối với máy phát điện, kết quả là máy phát điện tạo ra điện năng. Phần hơi nước sau đó sẽ được làm nguội, ngưng tụ và tuần hoàn trở lại lò hơi để chuyển hóa thành hơi nước, cung cấp năng lượng cho tuabin trong chu trình liên tục.

## 1.2 Hơi quá nhiệt và vai trò trong nhà máy nhiệt điện

### 1.2.1 Định nghĩa và nguyên lý hình thành

Hơi quá nhiệt là trạng thái hơi có nhiệt độ cao hơn nhiệt độ hơi bão hòa tại cùng áp suất. Khi gia nhiệt nước lỏng đến nhiệt độ nhất định, nước sẽ chuyển sang trạng thái hơi bão hòa. Lúc này, hơi bão hòa vẫn có thể chứa pha lỏng, tức là nước dạng lỏng và được gọi là hơi bão hòa ẩm. Các giá trị nhiệt độ phổ biến của hơi quá nhiệt thường nằm trong khoảng 380-540°C.

Nguyên lý hình thành hơi quá nhiệt được thực hiện bằng cách gia nhiệt cho hơi ướt hoặc hơi bão hòa để vượt ra khỏi điểm bão hòa. Ở trạng thái này, hơi nước có

nhệt độ cao hơn và mật độ thấp hơn so với điểm bão hòa trong cùng môi trường áp suất. Từ hơi bão hòa, người ta sử dụng thêm bộ gia nhiệt để thu được hơi quá nhiệt phục vụ cho các ứng dụng công nghiệp. Khi lò hoạt động, nhiên liệu được đốt cháy trong buồng đốt, làm cho nước nóng lên và sôi ở nhiệt độ nhất định. Khi nước sôi và không thể tăng nhiệt độ thêm nữa thì sẽ chuyển hóa thành hơi bão hòa. Hơi bão hòa được đưa qua bộ gia nhiệt bên ngoài và tạo thành hơi quá nhiệt.

### 1.2.2 Ứng dụng của hơi quá nhiệt

Hơi quá nhiệt đã được làm khô một cách hiệu quả, tăng nhiệt độ đến một điểm mà khả năng ngưng tụ giảm đáng kể và làm tăng thể tích một cách đáng kể. Những yếu tố này làm tăng sức mạnh và tính kinh tế của hệ thống động lực. Tuy nhiên, nhược điểm chính của hơi quá nhiệt nằm ở độ phức tạp và chi phí tăng thêm của hệ thống ống dẫn siêu nhiệt, cũng như ảnh hưởng bất lợi mà hơi khô gây ra đối với việc bôi trơn các bộ phận chuyển động như van hơi.

Các ứng dụng tiềm năng khác của hơi quá nhiệt bao gồm làm khô, làm sạch, phân lớp, kỹ thuật phản ứng, làm khô epoxy, công nghệ cứng, hệ thống năng lượng và công nghệ nano. Hơi nước siêu nhiệt cũng được ứng dụng trong việc khử trùng môi trường nhà máy chế biến thực phẩm khô. Trong công nghiệp tinh chế và hydrocacbon, hơi nước siêu nhiệt được sử dụng chủ yếu cho các mục đích tẩy rửa và làm sạch. Tuy nhiên, hơi quá nhiệt thường không được sử dụng làm chất trao đổi nhiệt do có hệ số dẫn nhiệt thấp.

Mặc dù có nhiều ứng dụng, hơi quá nhiệt dễ làm hư hỏng và hao mòn thiết bị do nhiệt độ rất cao và hoàn toàn khô. Ngoài ra, do phải sử dụng bộ phận gia nhiệt để tăng nhiệt độ của hơi nên chi phí sản xuất tăng cao.



**Hình 1.2:** Hình ảnh rôto tuabin trong nhà máy nhiệt điện

### 1.2.3 Vai trò trong nhà máy nhiệt điện

Trong chu trình hoạt động của nhà máy nhiệt điện, nước được gia nhiệt một phần từ bộ hâm nước rồi được đưa lên lò hơi để tiếp tục gia nhiệt. Sau khi lò hơi gia nhiệt xong, nước sẽ được đưa lên bao hơi, nơi thực hiện nhiệm vụ phân li hơi ra khỏi hỗn hợp nước. Hơi lúc này là hơi bão hòa, và hơi này sẽ được đưa qua bộ quá nhiệt, khi đó hơi bão hòa sẽ trở thành hơi quá nhiệt. Hơi quá nhiệt sau đó được đưa vào tuabin để làm cho các cánh quạt tuabin quay, tạo ra dòng điện xoay chiều.

Từ đó có thể thấy rằng vai trò của hơi quá nhiệt trong nhà máy nhiệt điện là vô cùng quan trọng. Nó mang lại nguồn năng lượng lớn cho tuabin đạt tốc độ yêu cầu và giúp bảo vệ tuabin khỏi hiện tượng thủy kích do ngưng tụ hơi ẩm. Việc duy trì nhiệt độ hơi quá nhiệt ổn định không chỉ đảm bảo hiệu suất chuyển đổi năng lượng cao mà còn kéo dài tuổi thọ thiết bị. Hiện nay trong các nhà máy nhiệt điện, quá trình điều khiển tự động nhiệt độ hơi quá nhiệt đã rất phổ biến và đóng vai trò then chốt trong hoạt động của toàn bộ hệ thống.





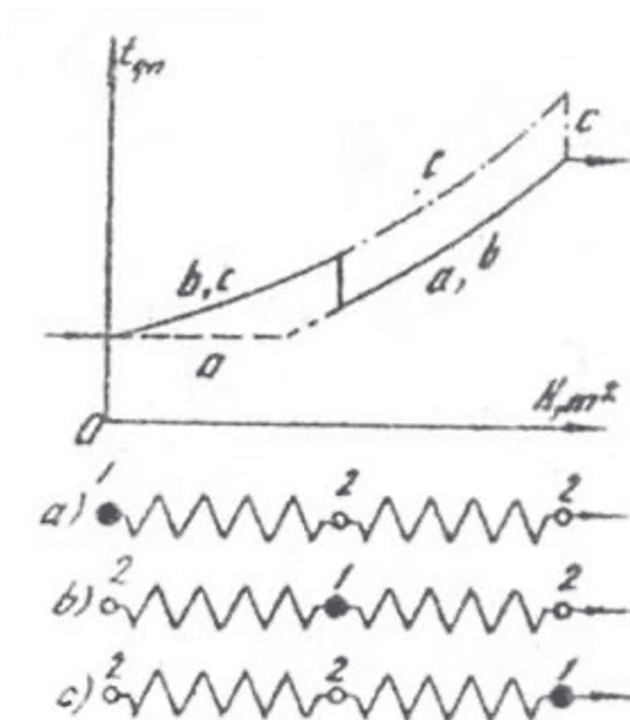
**Hình 1.3:** Hơi trong lò hơi

### 1.3 Các phương pháp điều khiển hơi quá nhiệt

Hiện nay có hai phương pháp điều khiển hơi quá nhiệt phổ biến thường được sử dụng là điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt bằng hơi và điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt bằng khói. Ở phương pháp điều chỉnh bằng hơi, nhiệt độ hơi quá nhiệt được điều chỉnh nhờ tác dụng của nguồn nước hay nguồn hơi. Ở phương pháp điều chỉnh bằng khói, nhiệt độ hơi quá nhiệt được điều chỉnh bằng cách thay đổi lượng nhiệt hấp thụ của bộ quá nhiệt do thay đổi lưu lượng khói hay thay đổi nhiệt độ khói.

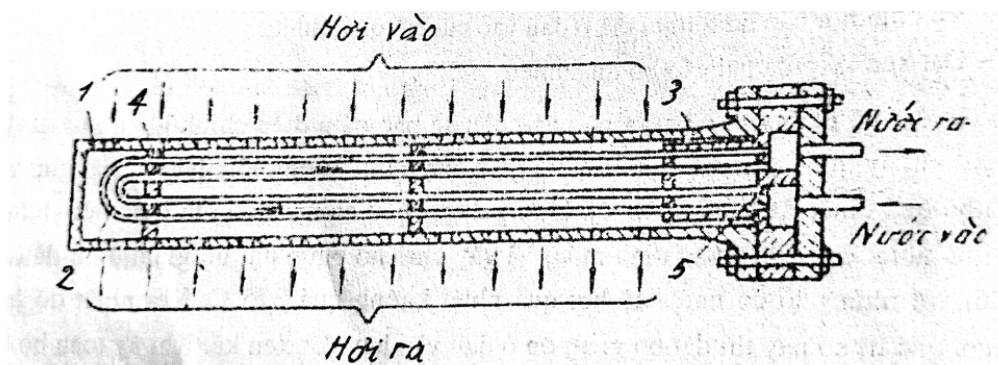
#### 1.3.1 Điều chỉnh bằng hơi

Ở phương pháp này, người ta đặt vào ống lò hơi của bộ quá nhiệt một thiết bị gọi là bộ giảm ôn. Nước đi qua bộ giảm ôn sẽ nhận nhiệt của hơi làm cho nhiệt độ hơi quá nhiệt giảm xuống do nước có nhiệt độ thấp hơn hơi. Khi thay đổi lưu lượng nước qua bộ giảm ôn thì sẽ làm thay đổi nhiệt độ hơi quá nhiệt. Hiện nay thường được sử dụng hai loại bộ giảm ôn là bộ giảm ôn kiểu bề mặt và bộ giảm ôn kiểu hỗn hợp.



**Hình 1.4:** Các cách bố trí bộ giảm ôn bề mặt

Bộ giảm ôn kiểu bề mặt có thể đặt ở các vị trí khác nhau trong bộ quá nhiệt như đầu ra của bộ quá nhiệt, đầu vào của bộ quá nhiệt, hoặc xen kẽ giữa hai cấp bộ quá nhiệt. Nếu bố trí đặt ở đầu vào thì sẽ điều được nhiệt độ trong toàn bộ quá nhiệt, nhưng có nhược điểm là quán tính nhiệt lớn, tác động chậm. Nếu bố trí đặt ở đầu ra bộ quá nhiệt thì quán tính điều chỉnh nhiệt bé, tuabin được bảo vệ tuyệt đối, nhưng bộ quá nhiệt không được bảo vệ. Để khắc phục nhược điểm trên, thường người ta bố trí bộ giảm ôn nằm giữa hai cấp của bộ quá nhiệt.

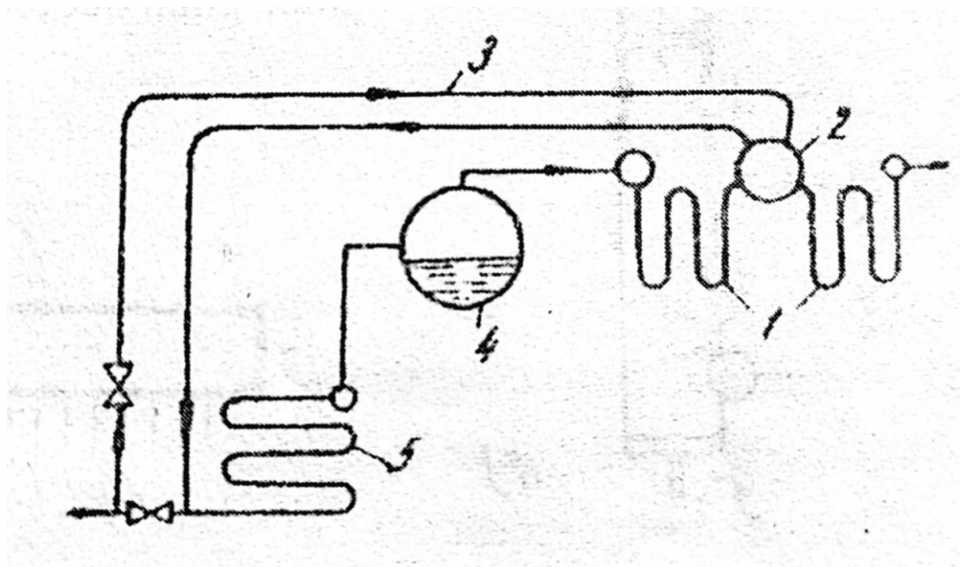


**Hình 1.5:** Cấu tạo bộ giảm ôn kiểu bề mặt

Bộ giảm ôn bề mặt được sử dụng rộng rãi hiện nay ở những lò hơi áp suất trung bình và cao do không đòi hỏi yêu cầu cao về chất lượng nguồn nước để giảm ôn.

## CHƯƠNG 1. CƠ SỞ CÔNG NGHỆ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN PID

Về cấu tạo, nó là một thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống, trong đó nước để giảm ôn đi trong những ống đồng uốn hình chữ U còn hơi đi ngoài ống. Nước dùng để giảm ôn có thể là nước cấp hay nước lò. Bộ giảm ôn bề mặt được thiết kế để bảo đảm khoảng điều chỉnh nhiệt độ hơi là 40-50°C tương ứng với lượng nước qua giảm ôn vào khoảng 40-60% lưu lượng nước cấp.



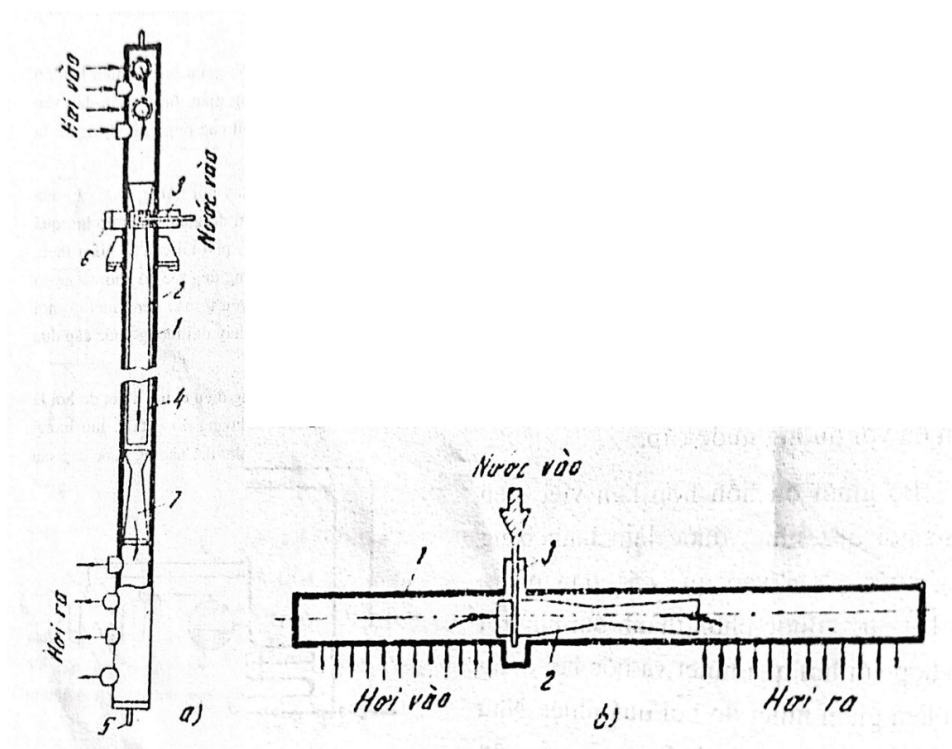
**Hình 1.6:** Sơ đồ nối bộ giảm ôn với đường nước cấp

Bộ giảm ôn kiểu hỗn hợp làm việc trên cơ sở hơi quá nhiệt được làm lạnh bằng dòng nước phun vào qua các ống phun. Các hạt nước được phun thành bụi nhỏ rồi hỗn hợp với hơi quá nhiệt và bốc hơi, đồng thời làm giảm nhiệt độ hơi quá nhiệt. Khác với giảm ôn bề mặt, ở giảm ôn hỗn hợp nước dùng để giảm ôn đòi hỏi rất cao về chất lượng, thường dùng là nước ngưng có chất lượng cao hay nước đã xử lý tốt.

Ưu điểm chủ yếu của giảm ôn hỗn hợp là quán tính điều chỉnh tương đối bé (30-60 giây), cấu tạo đơn giản và làm việc chắc chắn. Nước có thể phun trực tiếp trong ống dẫn hơi hay riêng trong bộ giảm ôn hỗn hợp. Khi phun trực tiếp nước trong các ống dẫn hơi cần bảo đảm khoảng cách thẳng từ 5-8 m kể từ mũi phun nước để xáo trộn tốt nước phun với hơi quá nhiệt và để bốc hơi hoàn toàn nước phun này.

Giảm ôn hỗn hợp được sử dụng rộng rãi trong các lò hơi lớn hiện đại, nhưng chỉ dùng cho bộ quá nhiệt sơ cấp. Đối với bộ quá nhiệt trung gian thì không được sử dụng vì khi phun nước vào bộ quá nhiệt trung gian, sẽ làm tăng lưu lượng hơi quá nhiệt ra khỏi bộ quá nhiệt trung gian và do đó làm tăng lưu lượng hơi qua phần trung áp và hạ áp tuabin, dẫn tới làm giảm lưu lượng hơi phần cao áp, đây là điều không kinh tế.



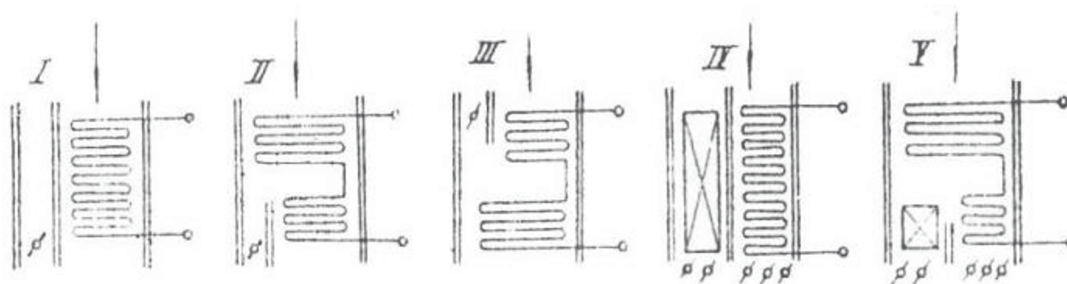


**Hình 1.7:** Sơ đồ cấu tạo bộ giảm ôn hỗn hợp

### 1.3.2 Điều chỉnh bằng khối

Điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt bằng khối được thực hiện bằng cách thay đổi lượng nhiệt hấp thụ của bộ quá nhiệt thông qua ba biện pháp chính là thay đổi lưu lượng khối đi qua bộ quá nhiệt, thay đổi nhiệt độ khối đi qua bộ quá nhiệt, và thay đổi đồng thời lưu lượng cùng nhiệt độ khối.

Biện pháp thay đổi lưu lượng khối được thực hiện bằng cách cho một phần khối đi tắt qua đường khối không đặt bộ quá nhiệt nhằm giảm lượng nhiệt mà bộ quá nhiệt nhận được, do đó làm giảm nhiệt độ quá nhiệt. Có nhiều dạng đường khối đi tắt khác nhau như có toàn bộ đường khối đi tắt, có một phần đường khối đi tắt, hoặc có đặt bề mặt hấp thụ nhiệt trong đường khối đi tắt.

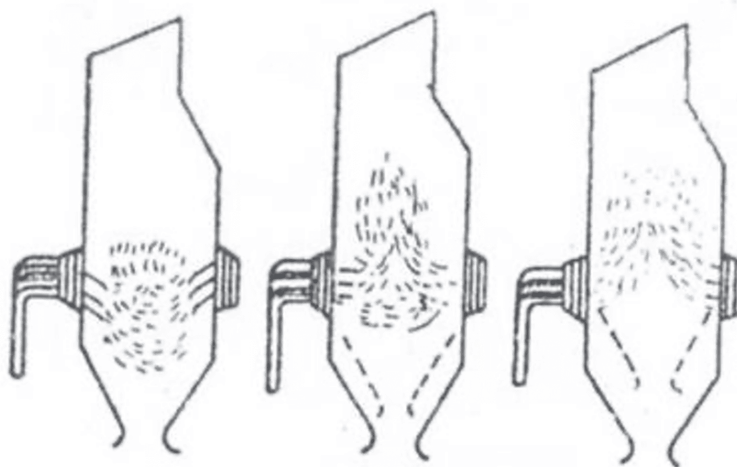


**Hình 1.8:** Các dạng đường khối đi tắt của bộ quá nhiệt

Biện pháp thay đổi nhiệt độ khối được thực hiện bằng cách thay đổi góc quay

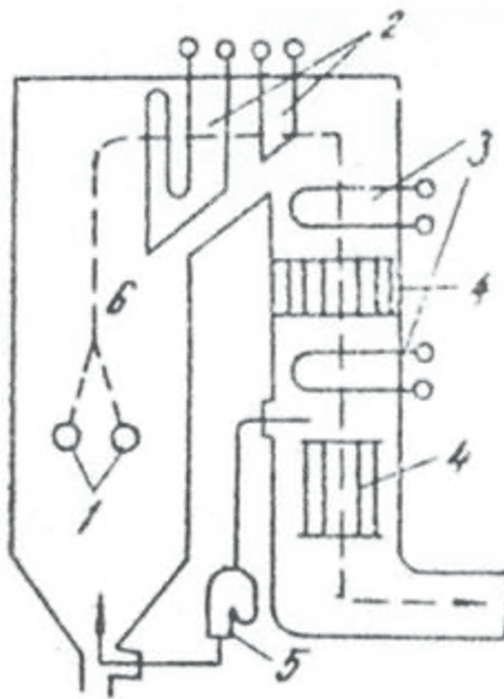
## CHƯƠNG 1. CƠ SỞ CÔNG NGHỆ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN PID

của vòi phun, cho vòi phun hướng lên trên hoặc xuống dưới làm thay đổi vị trí trung tâm của ngọn lửa, do đó làm thay đổi nhiệt độ khói ra khỏi buồng lửa, tức là thay đổi nhiệt độ khói đi qua bộ quá nhiệt, dẫn đến thay đổi nhiệt độ hơi quá nhiệt.



**Hình 1.9:** Điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt bằng cách thay đổi vị trí ngọn lửa

Biện pháp thay đổi đồng thời lưu lượng và nhiệt độ khói được thực hiện bằng cách trích một phần khói ở phía sau bộ hâm nước đưa vào buồng lửa (còn gọi là tái tuần hoàn khói). Khi trích một phần khói ở phía sau bộ hâm nước đưa vào buồng lửa, nhiệt độ trung bình trong buồng lửa sẽ giảm xuống làm cho nhiệt lượng hấp thụ bằng bức xạ của dàn ống sinh hơi giảm xuống, nghĩa là nhiệt độ khói ra khỏi buồng lửa tăng lên, trong khi đó lưu lượng khói đi qua bộ quá nhiệt tăng lên làm cho lượng nhiệt hấp thụ của bộ quá nhiệt tăng lên, dẫn đến nhiệt độ hơi quá nhiệt cũng tăng lên. Nhược điểm chủ yếu của phương pháp tái tuần hoàn khói là phải đặt thêm thiết bị quạt, do đó tốn thêm điện năng tự dùng.

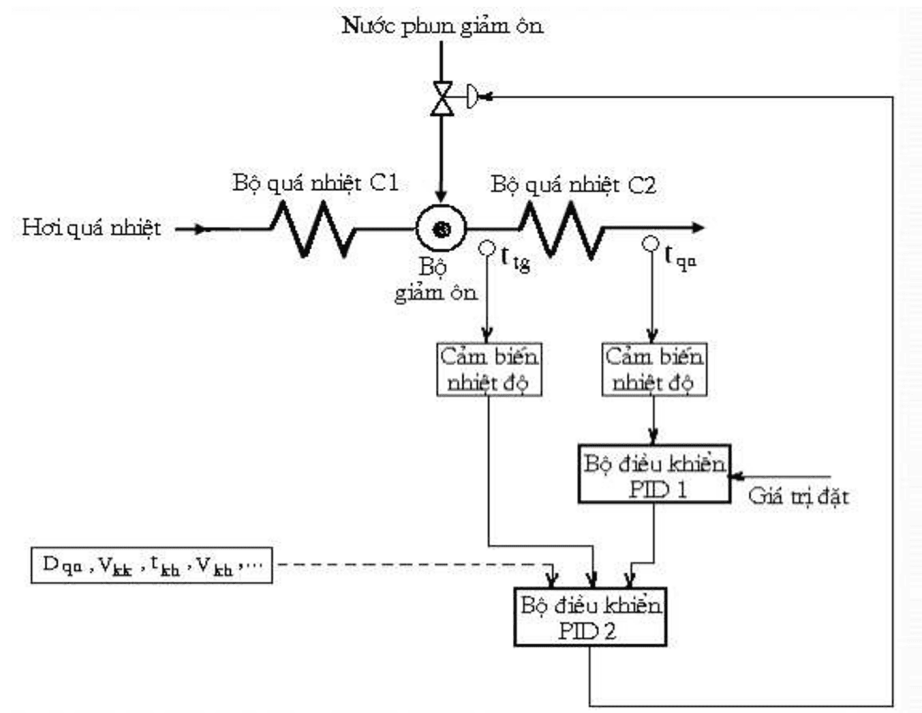


**Hình 1.10:** Điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt bằng cách tái tuần hoàn khói

Nhìn chung, các phương pháp điều chỉnh bằng khói thường có quán tính điều chỉnh không rộng, đôi khi hiệu quả kinh tế lại giảm đi. Việc tự động hóa các hệ thống điều chỉnh bằng khói thường khó khăn hơn bằng hơi nên phương pháp này ít được sử dụng hơn phương pháp điều chỉnh bằng hơi. Qua việc phân tích các phương pháp điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt, có thể thấy mỗi phương pháp có những ưu nhược điểm nhất định. Vì vậy trong lò hơi hiện đại, người ta hay dùng phối hợp nhiều biện pháp như dùng phun hơi kết hợp với vòi phun quay hay với tái tuần hoàn khói, hoặc sử dụng đồng thời giảm ôn bề mặt đặt ở phía hơi bão hòa và giảm ôn hỗn hợp đặt xen kẽ bộ quá nhiệt.

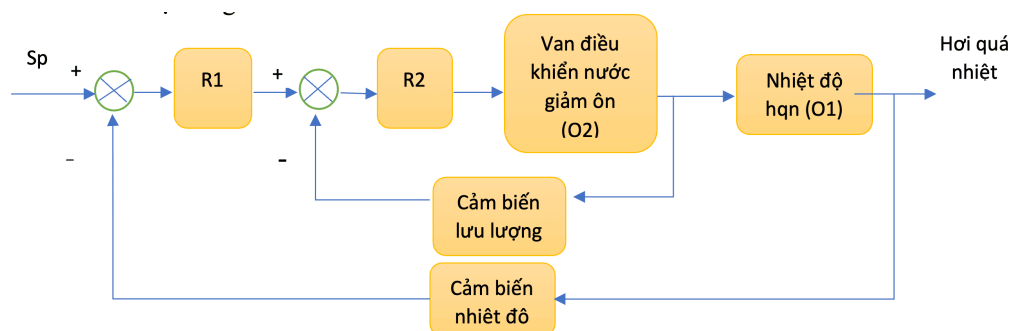
### 1.3.3 Sơ đồ hệ thống điều khiển

Hệ thống điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt trong thực tế thường áp dụng cấu trúc điều khiển cascade hai vòng để nâng cao chất lượng điều chỉnh. Sơ đồ mạch vòng điều khiển chính của hệ thống bao gồm cảm biến nhiệt độ đo nhiệt độ ở sau bộ quá nhiệt và gửi tín hiệu đến bộ điều khiển, bộ phun nước giảm ôn xé nhỏ các hạt nước sau đó phun vào dòng hơi để điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt, và bộ điều khiển PID (Proportional Integral Derivative) là cơ chế phản hồi vòng điều khiển được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển công nghiệp.



**Hình 1.11:** Sơ đồ mạch vòng điều khiển chính của hệ thống

Bộ điều khiển PID tính toán giá trị sai số là hiệu số giữa giá trị đo thông số biến đổi và giá trị đặt mong muốn, sau đó thực hiện giảm tối đa sai số bằng cách điều chỉnh giá trị điều khiển đầu vào. Nguyên lý hoạt động của hệ thống điều khiển như sau: tín hiệu nhiệt độ hơi quá nhiệt được lấy ở sau bộ quá nhiệt rồi truyền đến bộ PID, tại đây nó sẽ được so sánh với giá trị đặt. Nếu có sai lệch giữa giá trị đặt và tín hiệu nhiệt độ thì bộ điều khiển PID sẽ đưa ra tín hiệu điều chỉnh đến đối tượng điều khiển là van phun nước giảm ôn để điều chỉnh độ đóng mở van, từ đó điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt về giá trị mong muốn.



**Hình 1.12:** Sơ đồ cấu trúc điều khiển hệ thống

Ưu điểm của thiết kế hai vòng điều khiển là đảm bảo an toàn trong quá trình vận hành và độ nhanh nhạy đã được cải thiện. Với sự ảnh hưởng của nhiễu được mạch vòng trong kiểm soát nhanh chóng để gửi tín hiệu điều chỉnh kịp thời. Tuy nhiên,

## CHƯƠNG 1. CƠ SỞ CÔNG NGHỆ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN PID

nhược điểm là cấu trúc phức tạp hơn do sử dụng thiết kế mạch hai vòng với hai bộ PID. Trong thực tế triển khai, PLC S7-1200 kết hợp với TIA Portal cung cấp nền tảng lý tưởng để triển khai các thuật toán điều khiển này.

### 1.4 Tổng quan về PLC S7-1200

#### 1.4.1 Giới thiệu chung

Bộ điều khiển logic khả trình PLC (Programmable Logic Controller) là thiết bị điều khiển công nghiệp được thiết kế để thực hiện các chức năng điều khiển tự động trong môi trường công nghiệp khắc nghiệt. Ra đời từ những năm 1960 với mục đích ban đầu là thay thế các hệ thống rơ-le điện cứng, PLC đã trải qua quá trình phát triển mạnh mẽ và trở thành thiết bị không thể thiếu trong tự động hóa công nghiệp hiện đại. Qua nhiều thập kỷ cải tiến, PLC hiện đại không chỉ thực hiện các chức năng logic đơn giản mà còn có khả năng xử lý các thuật toán điều khiển phức tạp, truyền thông mạng công nghiệp và tích hợp với các hệ thống giám sát cấp cao.



**Hình 1.13:** PLC Siemens S7-1200

Trong số các nhà sản xuất PLC hàng đầu thế giới, Siemens AG của Đức là một trong những đơn vị tiên phong với dòng sản phẩm SIMATIC đa dạng và chất lượng cao. Dòng PLC SIMATIC S7 của Siemens bao gồm nhiều dòng sản phẩm khác nhau nhằm đáp ứng nhu cầu từ các ứng dụng nhỏ đến các hệ thống tự động hóa quy mô lớn và phức tạp. Trong đó, dòng S7-1200 được định vị như một giải pháp điều khiển cho các ứng dụng từ quy mô nhỏ đến trung bình, kết hợp giữa tính nhỏ gọn, hiệu suất cao và khả năng mở rộng linh hoạt.

#### 1.4.2 Đặc điểm kỹ thuật

PLC S7-1200 được phát triển dựa trên kiến trúc modular linh hoạt, cho phép người dùng cấu hình hệ thống phù hợp với yêu cầu cụ thể của từng ứng dụng. CPU của S7-1200 có nhiều phiên bản khác nhau với hiệu năng xử lý từ cơ bản đến nâng

## CHƯƠNG 1. CƠ SỞ CÔNG NGHỆ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN PID

cao, đáp ứng các yêu cầu điều khiển từ đơn giản đến phức tạp. Các CPU thường được trang bị bộ nhớ chương trình và bộ nhớ dữ liệu có dung lượng từ vài chục KB đến vài trăm KB, đủ để lưu trữ các chương trình điều khiển phức tạp và dữ liệu vận hành.

Về khả năng xử lý, CPU S7-1200 có tốc độ xử lý nhanh với thời gian thực thi lệnh tính bằng micro giây, đảm bảo đáp ứng kịp thời các yêu cầu điều khiển trong thời gian thực. Bộ nhớ làm việc của PLC được chia thành nhiều vùng khác nhau bao gồm vùng nhớ bit, vùng nhớ byte, vùng nhớ từ, vùng nhớ kép từ và vùng nhớ dữ liệu, cho phép tổ chức và quản lý dữ liệu một cách hiệu quả. Đặc biệt, S7-1200 hỗ trợ chức năng giữ dữ liệu (retentive memory) giúp bảo toàn thông tin quan trọng ngay cả khi mất nguồn điện.

Hệ thống đầu vào đầu ra của S7-1200 được thiết kế linh hoạt với CPU tích hợp sẵn một số lượng nhất định các điểm I/O và có thể mở rộng thông qua các module bổ sung. Các đầu vào số có thể nhận tín hiệu từ các thiết bị như công tắc, cảm biến tiệm cận, nút nhấn với điện áp làm việc tiêu chuẩn 24VDC. Các đầu ra số có khả năng điều khiển các thiết bị chấp hành như van điện từ, động cơ, đèn báo với dòng điện tải phù hợp. Đối với các ứng dụng cần xử lý tín hiệu analog, S7-1200 hỗ trợ các module đầu vào analog với độ phân giải cao, thường là 12 bit hoặc 16 bit, cho phép đo chính xác các đại lượng liên tục như nhiệt độ, áp suất, lưu lượng.

### 1.4.3 Khả năng truyền thông

Một trong những ưu điểm nổi bật của PLC S7-1200 là khả năng truyền thông mạng mạnh mẽ và đa dạng. CPU S7-1200 được tích hợp sẵn cổng Ethernet PROFINET, hỗ trợ giao thức truyền thông công nghiệp tiêu chuẩn, cho phép kết nối dễ dàng với các thiết bị khác trong hệ thống tự động hóa. Thông qua PROFINET, PLC có thể truyền thông với các thiết bị HMI (Human Machine Interface) để hiển thị và điều khiển, kết nối với các PLC khác để tạo thành hệ thống phân tán, và tích hợp với các hệ thống SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) cấp cao hơn.

Ngoài PROFINET, S7-1200 còn hỗ trợ nhiều giao thức truyền thông khác như Modbus TCP/IP, cho phép tương thích với các thiết bị từ nhiều nhà sản xuất khác nhau. Khả năng truyền thông mở rộng này giúp S7-1200 dễ dàng tích hợp vào các hệ thống hiện có và tương lai, đảm bảo tính linh hoạt và khả năng nâng cấp của hệ thống. Tốc độ truyền thông Ethernet lên đến 100 Mbps đảm bảo trao đổi dữ liệu nhanh chóng và đáng tin cậy giữa các thiết bị trong mạng.

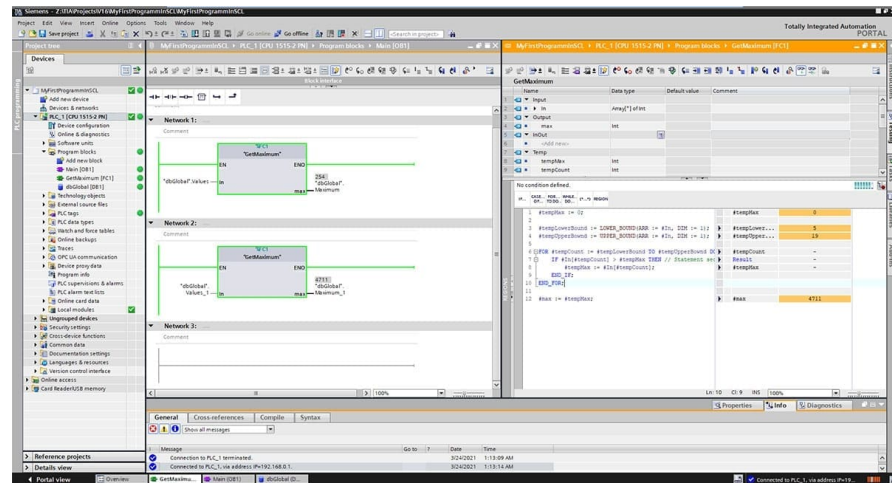
### 1.4.4 Môi trường lập trình TIA Portal

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) là môi trường phát triển tích hợp do Siemens cung cấp cho việc lập trình, cấu hình và vận hành các thiết bị tự



# CHƯƠNG 1. CƠ SỞ CÔNG NGHỆ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN PID

động hóa. Đây là một nền tảng phần mềm thống nhất, cho phép người dùng thực hiện tất cả các công việc liên quan đến tự động hóa từ một giao diện duy nhất, bao gồm lập trình PLC, thiết kế giao diện HMI, cấu hình mạng truyền thông và chẩn đoán hệ thống.



Hình 1.14: Môi trường lập trình TIA Portal

Đối với PLC S7-1200, TIA Portal cung cấp nhiều ngôn ngữ lập trình tuân theo tiêu chuẩn IEC 61131-3, bao gồm Ladder Diagram (LAD) dạng sơ đồ thang phù hợp với kỹ sư điện, Function Block Diagram (FBD) dạng sơ đồ khối chức năng thuận tiện cho lập trình các thuật toán phức tạp, Statement List (STL) dạng danh sách lệnh cho lập trình cấp thấp, và Structured Control Language (SCL) ngôn ngữ cấu trúc tương tự ngôn ngữ lập trình bậc cao. Sự đa dạng này cho phép lập trình viên lựa chọn ngôn ngữ phù hợp nhất với từng phần của ứng dụng và tận dụng kinh nghiệm sẵn có.

TIA Portal không chỉ là công cụ lập trình mà còn tích hợp các chức năng hỗ trợ mạnh mẽ khác. Chức năng mô phỏng (simulation) cho phép kiểm tra và gỡ lỗi chương trình trước khi triển khai thực tế, tiết kiệm thời gian và chi phí. Các công cụ chẩn đoán tích hợp giúp phát hiện và khắc phục nhanh chóng các lỗi phần cứng và phần mềm trong quá trình vận hành. Hệ thống quản lý phiên bản giúp theo dõi và kiểm soát các thay đổi trong dự án, đặc biệt hữu ích trong các dự án lớn và phức tạp.

## 1.4.5 Ứng dụng trong điều khiển nhiệt điện

Trong ứng dụng điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt tại nhà máy nhiệt điện, PLC S7-1200 đóng vai trò là bộ não trung tâm của hệ thống điều khiển tự động. PLC nhận tín hiệu từ các cảm biến nhiệt độ, áp suất và lưu lượng, xử lý các tín hiệu này thông qua các thuật toán điều khiển được lập trình sẵn, và đưa ra tín hiệu điều

## CHƯƠNG 1. CƠ SỞ CÔNG NGHỆ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN PID

khuyến đến các van điều khiển và thiết bị chấp hành khác. Khả năng xử lý analog chính xác của S7-1200 đặc biệt quan trọng trong việc đọc các tín hiệu cảm biến nhiệt độ có độ phân giải cao và điều khiển chính xác vị trí van.

Các khối chức năng PID tích hợp sẵn trong S7-1200 cho phép triển khai dễ dàng các thuật toán điều khiển PID cổ điển, là nền tảng cho hầu hết các ứng dụng điều khiển quá trình. Ngoài ra, người dùng có thể lập trình các thuật toán điều khiển nâng cao hơn như điều khiển cascade, điều khiển tiến, hoặc các phương pháp điều khiển hiện đại khác phù hợp với đặc tính của đối tượng điều khiển nhiệt. Khả năng lưu trữ và xử lý dữ liệu lịch sử của PLC cũng hỗ trợ việc phân tích xu hướng và tối ưu hóa vận hành hệ thống.

Tính tin cậy cao của S7-1200 trong môi trường công nghiệp khắc nghiệt là yếu tố quan trọng đối với các ứng dụng trong nhà máy nhiệt điện. PLC được thiết kế để hoạt động ổn định trong điều kiện nhiệt độ môi trường rộng, chịu được nhiễu điện từ và rung động cơ học. Các cơ chế tự chẩn đoán và xử lý lỗi tích hợp giúp phát hiện sớm các vấn đề tiềm ẩn và đảm bảo tính liên tục của quá trình sản xuất. Khả năng truyền thông với hệ thống SCADA cấp cao hơn cho phép giám sát và điều khiển từ xa, tạo điều kiện cho vận hành tập trung và hiệu quả.

### 1.5 Phân tích thông số công nghệ

#### 1.5.1 Quá trình sản xuất hơi quá nhiệt

Quá trình sản xuất hơi quá nhiệt trong nhà máy nhiệt điện liên quan đến nhiều giai đoạn chuyển đổi năng lượng. Hơi bão hòa từ lò hơi được đưa vào bộ quá nhiệt, nơi nhiệt độ của hơi được nâng lên cao hơn nhiệt độ bão hòa tương ứng với áp suất làm việc. Quá trình này loại bỏ hoàn toàn các giọt nước lơ lửng trong hơi, đồng thời tăng entanpi của hơi, từ đó nâng cao hiệu suất nhiệt của chu trình nhiệt động. Đối với các nhà máy nhiệt điện công suất lớn, nhiệt độ hơi quá nhiệt thường được duy trì trong khoảng từ 500 đến 600°C, tùy thuộc vào công nghệ và thiết kế cụ thể của từng nhà máy.

Các thông số công nghệ quan trọng cần được giám sát và kiểm soát bao gồm nhiệt độ hơi quá nhiệt tại đầu ra của bộ quá nhiệt, áp suất hơi trước và sau bộ quá nhiệt, lưu lượng hơi đi qua, cũng như nhiệt độ khói lò. Sự biến động của bất kỳ thông số nào cũng có thể ảnh hưởng đến chất lượng hơi quá nhiệt và hiệu suất vận hành của tuabin. Do đó, việc thiết lập hệ thống đo lường và giám sát chính xác các thông số này là điều kiện tiên quyết để xây dựng hệ thống điều khiển hiệu quả.



### 1.5.2 Các thông số kỹ thuật chính

Nhiệt độ hơi quá nhiệt là thông số trung tâm cần được điều khiển chính xác. Giá trị này phụ thuộc vào nhiều yếu tố như lưu lượng nhiên liệu cung cấp cho lò đốt, lưu lượng hơi đi qua bộ quá nhiệt, nhiệt độ khói lò và vị trí phun nước giảm nhiệt. Trong điều kiện vận hành bình thường, nhiệt độ hơi quá nhiệt cần được duy trì ổn định với độ dao động không vượt quá 5-10°C so với giá trị đặt. Sự dao động quá mức có thể dẫn đến ứng suất nhiệt trong các bộ phận của tuabin, gây ra hiện tượng mỏi nhiệt và giảm tuổi thọ thiết bị.

Áp suất hơi là thông số quan trọng khác ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình quá nhiệt. Sự thay đổi áp suất không chỉ làm thay đổi nhiệt độ bão hòa mà còn ảnh hưởng đến hệ số truyền nhiệt trong bộ quá nhiệt. Lưu lượng hơi, bên cạnh việc quyết định công suất phát điện, còn là yếu tố quan trọng trong việc xác định lượng nhiệt cần thiết để đạt được nhiệt độ quá nhiệt mong muốn. Khi tải của nhà máy thay đổi, lưu lượng hơi cũng biến đổi tương ứng, đòi hỏi hệ thống điều khiển phải có khả năng thích ứng nhanh để duy trì nhiệt độ ổn định.

## 1.6 Đặc tính động học của đối tượng

### 1.6.1 Cơ chế truyền nhiệt và động học

Quá trình truyền nhiệt trong bộ quá nhiệt diễn ra phức tạp với nhiều cơ chế xảy ra đồng thời. Nhiệt từ khói lò được truyền sang hơi thông qua bức xạ và đối lưu, trong khi hơi chảy qua các ống quá nhiệt trao đổi nhiệt với thành ống theo cơ chế đối lưu cưỡng bức. Đặc tính động học của quá trình này thể hiện qua độ trễ thời gian đáng kể giữa tác động điều khiển và phản hồi của nhiệt độ hơi. Thời gian trễ này có thể lên đến vài chục giây hoặc thậm chí vài phút, tùy thuộc vào kích thước và cấu tạo của bộ quá nhiệt.

Hằng số thời gian của đối tượng điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt thường có giá trị lớn, phản ánh quán tính nhiệt của toàn bộ hệ thống. Khi có tác động điều khiển, nhiệt độ hơi không thay đổi ngay lập tức mà cần một khoảng thời gian nhất định để đạt đến giá trị mới. Hơn nữa, đối tượng này còn thể hiện tính chất phi tuyến rõ rệt, đặc biệt khi vận hành ở các chế độ tải khác nhau. Hệ số khuếch đại của đối tượng có thể thay đổi đáng kể khi điểm làm việc dịch chuyển, đòi hỏi hệ thống điều khiển phải có khả năng thích ứng với những thay đổi này.

### 1.6.2 Ảnh hưởng của các yếu tố nhiễu

Hệ thống điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt phải đối mặt với nhiều nguồn nhiễu có thể gây dao động nhiệt độ. Trong số đó, sự thay đổi tải của tuabin là nguồn nhiễu chính và thường xuyên nhất. Khi tải giảm, lưu lượng hơi giảm theo, dẫn đến nhiệt

## CHƯƠNG 1. CƠ SỞ CÔNG NGHỆ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN PID

độ hơi tăng cao nếu không có biện pháp điều chỉnh kịp thời. Ngược lại, khi tải tăng đột ngột, nhiệt độ hơi có xu hướng giảm xuống do lượng hơi đi qua bộ quá nhiệt tăng lên trong khi lượng nhiệt cung cấp chưa kịp điều chỉnh tương ứng.

Nhiệt độ và lưu lượng khói lò cũng là những yếu tố nhiều quan trọng. Sự dao động của quá trình đốt nhiên liệu, chất lượng nhiên liệu không đồng đều, hoặc thay đổi trong cơ chế cháy đều có thể làm thay đổi nhiệt độ khói lò, từ đó ảnh hưởng đến lượng nhiệt truyền cho hơi trong bộ quá nhiệt. Ngoài ra, áp suất hơi vào bộ quá nhiệt cũng có thể dao động do sự thay đổi trong quá trình sản xuất hơi tại lò hơi. Các yếu tố nhiễu này thường không thể đo lường trực tiếp và chính xác, đòi hỏi hệ thống điều khiển phải có khả năng bù trừ tác động của chúng thông qua cơ chế phản hồi mạnh.

### 1.7 Thiết kế sơ đồ P&ID

#### 1.7.1 Nguyên tắc thiết kế

Sơ đồ P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) là công cụ quan trọng để thể hiện đầy đủ cấu trúc của hệ thống điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt. Sơ đồ này không chỉ mô tả các thiết bị công nghệ chính như bộ quá nhiệt, van điều khiển và đường ống hơi, mà còn thể hiện toàn bộ hệ thống đo lường, điều khiển và bảo vệ. Trong quá trình thiết kế, cần tuân thủ các tiêu chuẩn quốc tế về ký hiệu và quy ước để đảm bảo tính thống nhất và dễ hiểu.

Nguyên tắc cơ bản trong thiết kế sơ đồ P&ID là phải thể hiện đầy đủ luồng công nghệ từ đầu vào đến đầu ra, bao gồm cả các nhánh phụ và hệ thống phụ trợ. Mỗi thiết bị đo lường cần được gắn nhãn rõ ràng với mã số định danh duy nhất, chỉ rõ loại đại lượng đo, vị trí lắp đặt và chức năng trong hệ thống điều khiển. Các van điều khiển cần được thể hiện với đầy đủ thông tin về kiểu van, cơ chế truyền động và chế độ hoạt động trong trường hợp mất nguồn cung cấp năng lượng.

#### 1.7.2 Hệ thống đo lường

Hệ thống đo lường trong sơ đồ P&ID bao gồm các cảm biến nhiệt độ, áp suất và lưu lượng được bố trí tại các vị trí chiến lược. Cảm biến nhiệt độ chính được lắp đặt tại đầu ra của bộ quá nhiệt để đo trực tiếp nhiệt độ hơi quá nhiệt. Loại cảm biến thường được sử dụng là thermocouple hoặc RTD (Resistance Temperature Detector) do khả năng làm việc ổn định ở nhiệt độ cao và độ chính xác cao. Tín hiệu từ cảm biến nhiệt độ được chuyển đổi thành tín hiệu chuẩn 4-20 mA hoặc 0-10 V để truyền về bộ điều khiển PLC.

Cảm biến áp suất được lắp đặt tại các điểm trước và sau bộ quá nhiệt để giám sát chênh lệch áp suất, từ đó có thể phát hiện các hiện tượng bất thường như tắc

nghe hoặc rò rỉ. Cảm biến lưu lượng, thường là loại orifice plate kết hợp với bộ chuyển đổi chênh áp, được sử dụng để đo lưu lượng hơi đi qua hệ thống. Ngoài ra, nhiệt độ khói lò cũng cần được giám sát thông qua các cảm biến nhiệt độ phù hợp, cung cấp thông tin về điều kiện cháy và lượng nhiệt có sẵn cho quá trình quá nhiệt.

### 1.7.3 Thiết bị chấp hành và điều khiển

Van điều khiển đóng vai trò là thiết bị chấp hành chính trong hệ thống, có nhiệm vụ điều chỉnh lưu lượng nước phun vào để giảm nhiệt độ hơi khi cần thiết. Van điều khiển thường là loại van điều tiết tuyến tính hoặc van bi có cơ chế điều khiển bằng khí nén hoặc động cơ điện. Đặc tính của van cần được lựa chọn phù hợp với dải điều chỉnh yêu cầu và đảm bảo độ tuyến tính tốt trong khoảng vận hành. Trong thiết kế, cần quan tâm đến vị trí an toàn của van khi mất tín hiệu điều khiển, thường được thiết kế ở trạng thái đóng để tránh hiện tượng nhiệt độ hơi giảm đột ngột.

Hệ thống điều khiển cascade được áp dụng để nâng cao chất lượng điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt. Vòng điều khiển chính nhận tín hiệu từ cảm biến nhiệt độ hơi quá nhiệt và tính toán tín hiệu đặt cho vòng điều khiển phụ. Vòng điều khiển phụ có thể là vòng điều khiển lưu lượng nước phun hoặc vòng điều khiển nhiệt độ trung gian, có tốc độ đáp ứng nhanh hơn vòng chính. Cấu trúc cascade này giúp hệ thống phản ứng nhanh hơn với các nhiễu động tác động trực tiếp lên vòng phụ, đồng thời cải thiện độ ổn định tổng thể của hệ thống.

### 1.7.4 Hệ thống bảo vệ

Bên cạnh hệ thống điều khiển chính, sơ đồ P&ID còn thể hiện các rơ-le bảo vệ và hệ thống an toàn. Các rơ-le nhiệt độ cao được lắp đặt để phát hiện và cảnh báo khi nhiệt độ hơi vượt quá giới hạn cho phép, đồng thời có thể kích hoạt các biện pháp bảo vệ như mở van xả nhiệt hoặc giảm tải tuabin. Rơ-le áp suất thấp và cao cũng được tích hợp để giám sát điều kiện áp suất trong hệ thống, ngăn ngừa các tình huống nguy hiểm có thể gây hư hỏng thiết bị.

Hệ thống liên động an toàn được thiết kế để đảm bảo các thiết bị chỉ vận hành khi các điều kiện tiên quyết được thỏa mãn. Ví dụ, hệ thống phun nước giảm nhiệt chỉ được phép hoạt động khi nhiệt độ hơi đạt ngưỡng nhất định và lưu lượng hơi đủ lớn để tránh hiện tượng ngưng tụ trong đường ống. Các van cách ly được bố trí tại các vị trí quan trọng để có thể tách riêng các phần của hệ thống khi cần bảo trì hoặc xử lý sự cố mà không ảnh hưởng đến toàn bộ nhà máy.

### 1.8 Xác định biến và thông số hệ thống

#### 1.8.1 Phân loại các biến

Trong hệ thống điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt, việc xác định rõ ràng vai trò của từng biến là bước quan trọng để thiết lập chiến lược điều khiển hiệu quả. Biến điều khiển chính là nhiệt độ hơi quá nhiệt tại đầu ra của bộ quá nhiệt, đây là đại lượng cần được duy trì ổn định tại giá trị đặt trong mọi điều kiện vận hành. Độ chính xác yêu cầu đối với biến này thường rất cao, với sai số cho phép chỉ trong khoảng vài độ Celsius, do ảnh hưởng trực tiếp của nó đến hiệu suất và tuổi thọ của tuabin.

Biến điều khiển thứ cấp trong cấu trúc cascade có thể là lưu lượng nước phun giảm nhiệt hoặc nhiệt độ hơi tại vị trí trung gian trong bộ quá nhiệt. Lựa chọn biến điều khiển thứ cấp phụ thuộc vào đặc điểm cụ thể của thiết bị và yêu cầu về chất lượng điều khiển. Biến điều chỉnh của hệ thống là độ mở của van điều khiển nước phun, biến này được tác động trực tiếp bởi tín hiệu đầu ra từ bộ điều khiển và quyết định lượng nước phun vào dòng hơi để giảm nhiệt độ.

#### 1.8.2 Các yếu tố nhiễu

Các biến nhiễu trong hệ thống được phân thành hai nhóm chính là nhiễu đo được và nhiễu không đo được. Nhiễu đo được bao gồm lưu lượng hơi đi qua bộ quá nhiệt, áp suất hơi vào và nhiệt độ hơi vào bộ quá nhiệt. Những nhiễu này có thể được đo lường thông qua các cảm biến và có khả năng áp dụng điều khiển tiến để bù trừ tác động của chúng. Lưu lượng hơi thay đổi theo tải của tuabin và được xem là nguồn nhiễu quan trọng nhất, có ảnh hưởng trực tiếp và đáng kể đến nhiệt độ hơi quá nhiệt.

Nhiễu không đo được bao gồm sự dao động của quá trình cháy nhiên liệu, thay đổi chất lượng nhiên liệu và các yếu tố môi trường như nhiệt độ không khí xung quanh. Những nhiễu này khó đo lường chính xác nhưng vẫn tác động đến quá trình quá nhiệt thông qua sự thay đổi của nhiệt độ và lưu lượng khói lò. Hệ thống điều khiển phản hồi phải đủ mạnh để bù trừ hiệu quả các nhiễu này mà không cần đo lường trực tiếp, dựa vào sai lệch giữa nhiệt độ thực tế và giá trị đặt.

#### 1.8.3 Thông số kỹ thuật chính

Các thông số quan trọng của hệ thống cần được xác định thông qua nghiên cứu tài liệu kỹ thuật của thiết bị và phân tích dữ liệu vận hành thực tế. Dải nhiệt độ hơi quá nhiệt làm việc thường nằm trong khoảng từ 500°C đến 560°C đối với các lò hơi áp suất trung bình. Áp suất hơi thường được duy trì ở mức 90-120 bar, tùy thuộc vào thiết kế của hệ thống. Lưu lượng hơi có thể thay đổi trong khoảng rộng

Thời gian trễ của đối tượng điều khiển thường nằm trong khoảng từ 15-30 giây, trong khi hằng số thời gian có thể lên đến vài phút. Những thông số này sẽ được sử dụng làm cơ sở cho việc nhận dạng mô hình toán học của đối tượng điều khiển trong chương tiếp theo. Hệ số khuếch đại tĩnh của đối tượng, thể hiện mối quan hệ giữa sự thay đổi của lưu lượng nước phun và sự thay đổi nhiệt độ hơi ở trạng thái xác lập, cũng cần được xác định chính xác để thiết kế bộ điều khiển phù hợp.

### 1.9 Kết luận chương

Chương này đã trình bày hệ thống quá trình phân tích và thiết kế sơ đồ công nghệ cho hệ thống điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt. Thông qua việc thu thập và phân tích các thông số công nghệ, đặc tính nhiệt động học của quá trình quá nhiệt đã được làm rõ, bao gồm tính chất trễ thời gian, quán tính nhiệt lớn và tính phi tuyến. Những đặc điểm này đặt ra thách thức đáng kể cho việc thiết kế hệ thống điều khiển, đồng thời cũng là cơ sở để lựa chọn phương pháp và cấu trúc điều khiển phù hợp.

Sơ đồ P&ID chi tiết đã được thiết kế, thể hiện đầy đủ hệ thống đo lường, điều khiển, thiết bị chấp hành và hệ thống bảo vệ. Sơ đồ này không chỉ là công cụ để truyền đạt thông tin thiết kế mà còn là tài liệu quan trọng cho các giai đoạn lập trình, vận hành và bảo trì sau này. Việc xác định rõ ràng các biến điều khiển, biến điều chỉnh và các yếu tố nhiễu đã tạo nền tảng vững chắc cho việc phát triển mô hình toán học và tổng hợp bộ điều khiển trong chương tiếp theo.

Các thông số quan trọng của hệ thống đã được xác định, bao gồm dải nhiệt độ làm việc, áp suất, lưu lượng cũng như các đặc trưng động học như thời gian trễ và hằng số thời gian. Những thông tin này sẽ được sử dụng trong quá trình nhận dạng mô hình và thiết kế bộ điều khiển, đảm bảo hệ thống điều khiển cuối cùng có khả năng đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật nghiêm ngặt của nhà máy nhiệt điện. Kết quả của chương này tạo điều kiện thuận lợi để chuyển sang giai đoạn thiết kế và tổng hợp bộ điều khiển, nơi các phương pháp điều khiển tiên tiến sẽ được áp dụng để đạt được hiệu suất điều khiển tối ưu.

## CHƯƠNG 2. NHẬN DẠNG ĐỐI TƯỢNG, THIẾT KẾ VÀ CHỈNH ĐỊNH BỘ ĐIỀU KHIỂN

### 2.1 Nhận dạng đối tượng điều khiển

#### 2.1.1 Phương pháp nhận dạng

Nhận dạng đối tượng điều khiển là quá trình xác định mô hình toán học mô tả mối quan hệ giữa đầu vào và đầu ra của hệ thống dựa trên dữ liệu thực nghiệm. Trong điều khiển quá trình nhiệt độ hơi quá nhiệt, việc nhận dạng chính xác các đối tượng điều khiển là bước quan trọng nhất để thiết kế bộ điều khiển đạt hiệu quả cao. Hệ thống điều khiển cascade hai vòng trong đồ án này bao gồm hai đối tượng chính cần được nhận dạng là đối tượng van điều khiển (vòng trong) và đối tượng bộ quá nhiệt (vòng ngoài).

Phương pháp nhận dạng được sử dụng trong đồ án là phương pháp nhận dạng thực nghiệm dựa trên đáp ứng quá độ của hệ thống. Đây là phương pháp phổ biến và hiệu quả trong công nghiệp, đặc biệt phù hợp với các đối tượng nhiệt có động học phức tạp. Ưu điểm của phương pháp này là không yêu cầu kiến thức sâu về cơ chế vật lý bên trong của đối tượng, mà chỉ cần thu thập dữ liệu đầu vào đầu ra trong quá trình vận hành. Từ dữ liệu thu được, mô hình toán học được xác định thông qua các kỹ thuật xử lý số và khớp đường cong.

#### 2.1.2 Nhận dạng đối tượng van điều khiển

Đối tượng van điều khiển đóng vai trò là khâu chấp hành trong hệ thống, có nhiệm vụ điều chỉnh lưu lượng nước phun vào dòng hơi để thay đổi nhiệt độ. Đặc tính động học của van điều khiển ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ đáp ứng và độ chính xác của vòng điều khiển bên trong. Để nhận dạng đối tượng van, thí nghiệm đáp ứng xung được thực hiện bằng cách đưa tín hiệu điều khiển dạng xung có biên độ 1,05 vào van và quan sát đáp ứng đầu ra.

Dữ liệu thu được từ thí nghiệm cho thấy đặc tính động học của van có dạng quán tính bậc hai với thời gian trễ. Đây là dạng mô hình điển hình cho các thiết bị cơ khí có quán tính như van điện từ hoặc van khí nén. Quá trình nhận dạng được thực hiện bằng phương pháp khớp đường cong (curve fitting) với mô hình lý thuyết có dạng hàm truyền:

$$G_{van}(s) = \frac{K_{van}}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} e^{-t_0s} \quad (2.1)$$

trong đó  $K_{van}$  là hệ số khuếch đại tĩnh,  $T_1$  và  $T_2$  là các hằng số thời gian,  $t_0$  là

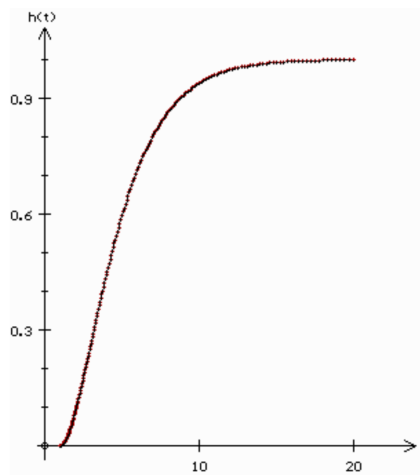
thời gian trễ.

Thuật toán tối ưu hóa phi tuyến được sử dụng để tìm các tham số của mô hình sao cho sai số giữa đáp ứng lý thuyết và đáp ứng thực nghiệm là nhỏ nhất. Hàm mục tiêu được chọn là tổng bình phương sai số, và phương pháp Levenberg-Marquardt được áp dụng để giải bài toán tối ưu. Kết quả nhận dạng cho các tham số như sau:

- Hằng số thời gian thứ nhất:  $T_1 = 1,984$  giây
- Hằng số thời gian thứ hai:  $T_2 = 1,984$  giây
- Thời gian trễ:  $t_0 = 0,881$  giây
- Hệ số khuếch đại:  $K_{van} = 1,0$  (chuẩn hóa)

Chất lượng của mô hình nhận dạng được đánh giá thông qua hệ số xác định  $R^2 = 0,9999$ . Giá trị  $R^2$  rất gần với 1 chứng tỏ mô hình nhận dạng phù hợp rất tốt với dữ liệu thực nghiệm, sai số giữa mô hình và thực tế là rất nhỏ. Điều này đảm bảo rằng mô hình có thể được sử dụng tin cậy trong quá trình thiết kế bộ điều khiển. Đặc điểm nổi bật của đối tượng van là có hai hằng số thời gian gần bằng nhau, cho thấy đây là hệ bậc hai có cực trùng, dẫn đến đáp ứng quá độ có dạng đặc trưng không dao động.

1) Đối tượng van: Đáp ứng xung 1,05(t)



**Hình 2.1:** Đáp ứng xung của đối tượng van và mô hình nhận dạng

### 2.1.3 Nhận dạng đối tượng bộ quá nhiệt

Đối tượng bộ quá nhiệt là khâu chính trong vòng điều khiển ngoài, thể hiện mối quan hệ giữa lưu lượng nước phun (đầu vào) và nhiệt độ hơi quá nhiệt (đầu ra). Đây là đối tượng nhiệt điển hình có quán tính lớn, thời gian trễ đáng kể và tính phi tuyến. Quá trình nhận dạng được thực hiện thông qua thí nghiệm đáp ứng bước, trong đó lưu lượng nước phun được thay đổi đột ngột một lượng  $\Delta F = -4,3$  tấn

## CHƯƠNG 2. NHẬN DẠNG ĐỐI TƯỢNG, THIẾT KẾ VÀ CHỈNH ĐỊNH BỘ ĐIỀU KHIỂN

trên giờ và quan sát sự thay đổi của nhiệt độ hơi quá nhiệt theo thời gian.

Dữ liệu thực nghiệm cho thấy nhiệt độ hơi quá nhiệt tăng từ giá trị ban đầu khoảng 520°C và tiến tới giá trị xác lập mới khoảng 529°C sau một khoảng thời gian dài. Quá trình quá độ này có dạng đặc trưng của đối tượng quán tính bậc một với thời gian trễ, không xuất hiện dao động. Mô hình toán học được lựa chọn để mô tả đối tượng bộ quá nhiệt có dạng:

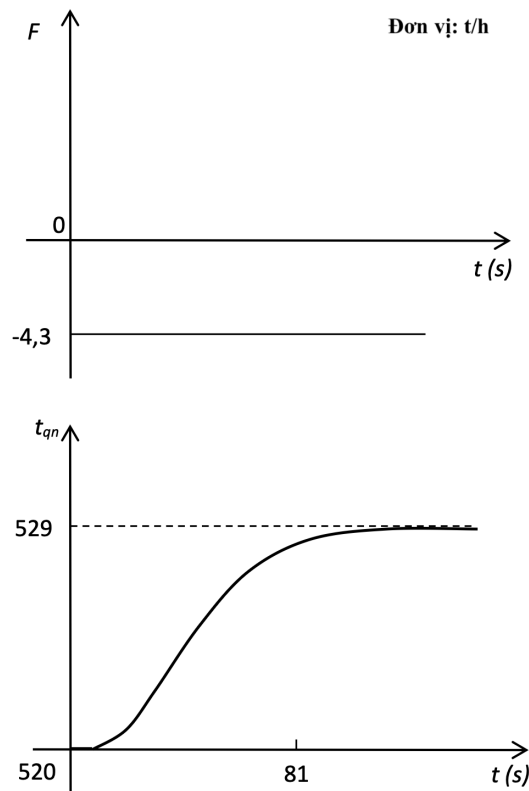
$$G_{BQN}(s) = \frac{K_{BQN}}{T_{BQN}s + 1} e^{-\tau_{BQN}s} \quad (2.2)$$

trong đó  $K_{BQN}$  là hệ số khuếch đại tĩnh,  $T_{BQN}$  là hằng số thời gian và  $\tau_{BQN}$  là thời gian trễ.

Các tham số của mô hình được xác định bằng phương pháp đồ thị dựa trên đường cong đáp ứng bước. Phương pháp tiếp tuyến được sử dụng, trong đó tiếp tuyến có độ dốc lớn nhất của đường cong đáp ứng được vẽ và giao điểm của tiếp tuyến này với trục thời gian xác định thời gian trễ, trong khi giao điểm với đường tiệm cận xác lập giúp tính toán hằng số thời gian. Một phương pháp khác là phương pháp hai điểm, trong đó thời gian để đáp ứng đạt 28,3% và 63,2% giá trị xác lập được sử dụng để tính toán các tham số.

Kết quả nhận dạng cho thấy đối tượng bộ quá nhiệt có các đặc điểm sau. Hệ số khuếch đại tĩnh  $K_{BQN}$  được tính từ tỷ số giữa độ biến thiên đầu ra ở trạng thái xác lập và độ biến thiên đầu vào, cho giá trị xấp xỉ  $K_{BQN} \approx -2,09 \text{ } ^\circ\text{C}/(\text{t/h})$ . Dấu âm thể hiện mối quan hệ ngược: khi tăng lưu lượng nước phun thì nhiệt độ hơi giảm và ngược lại. Hằng số thời gian  $T_{BQN}$  phản ánh quán tính nhiệt của bộ quá nhiệt, có giá trị khoảng 30-40 giây, cho thấy đối tượng có quán tính đáng kể. Thời gian trễ  $\tau_{BQN}$  khoảng 10-15 giây, phản ánh thời gian vận chuyển của nước phun từ van đến điểm tác động và thời gian cần thiết để quá trình trao đổi nhiệt bắt đầu có hiệu ứng đo được.





**Hình 2.2:** Đáp ứng bước của đối tượng bộ quá nhiệt và mô hình nhận dạng

So với đối tượng van, đối tượng bộ quá nhiệt có hằng số thời gian và thời gian trễ lớn hơn đáng kể, phản ánh bản chất quán tính và trễ của quá trình nhiệt. Đây chính là lý do chính để áp dụng cấu trúc điều khiển cascade, trong đó vòng trong điều khiển nhanh đối tượng van sẽ giúp cải thiện đáp ứng tổng thể của hệ thống và giảm ảnh hưởng của các nhiễu tác động lên vòng trong.

## 2.2 Thiết kế hệ thống điều khiển cascade

### 2.2.1 Nguyên lý điều khiển cascade

Hệ thống điều khiển cascade là cấu trúc điều khiển nhiều vòng, trong đó đầu ra của bộ điều khiển vòng ngoài (bộ điều khiển chính) đóng vai trò là giá trị đặt cho vòng điều khiển bên trong (vòng phụ). Cấu trúc này được áp dụng rộng rãi trong điều khiển quá trình công nghiệp, đặc biệt là các quá trình có quán tính lớn, thời gian trễ đáng kể và chịu ảnh hưởng của nhiều nguồn nhiễu. Ưu điểm chính của điều khiển cascade là cải thiện đáng kể chất lượng điều khiển so với hệ thống một vòng đơn giản.

Trong hệ thống điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt, cấu trúc cascade được thiết kế như sau. Vòng điều khiển ngoài có nhiệm vụ điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt (biến điều khiển chính) về giá trị đặt mong muốn. Bộ điều khiển của vòng ngoài nhận tín hiệu phản hồi từ cảm biến nhiệt độ đặt sau bộ quá nhiệt, so sánh với giá

## CHƯƠNG 2. NHẬN DẠNG ĐỐI TƯỢNG, THIẾT KẾ VÀ CHỈNH ĐỊNH BỘ ĐIỀU KHIỂN

trị đặt nhiệt độ và tính toán tín hiệu điều khiển. Tuy nhiên, tín hiệu này không trực tiếp điều khiển van mà được sử dụng làm giá trị đặt cho vòng điều khiển bên trong.

Vòng điều khiển bên trong có nhiệm vụ điều khiển lưu lượng nước phun hoặc vị trí van về giá trị đặt do vòng ngoài cung cấp. Bộ điều khiển của vòng trong nhận tín hiệu phản hồi từ cảm biến lưu lượng hoặc cảm biến vị trí van, so sánh với giá trị đặt từ vòng ngoài và tính toán tín hiệu điều khiển trực tiếp cho van. Nhờ có vòng điều khiển bên trong, các nhiễu tác động lên lưu lượng nước phun hoặc đặc tính van sẽ được bù trừ nhanh chóng trước khi ảnh hưởng đến nhiệt độ hơi quá nhiệt.

Các ưu điểm cụ thể của cấu trúc cascade trong ứng dụng này bao gồm cải thiện tốc độ đáp ứng của hệ thống do vòng trong có thể phản ứng nhanh với các thay đổi, giảm ảnh hưởng của nhiễu tác động vào vòng trong nhờ cơ chế bù trừ nhanh, và tăng độ ổn định tổng thể của hệ thống bằng cách chia nhỏ bài toán điều khiển phức tạp thành hai vòng đơn giản hơn. Tuy nhiên, hệ thống cascade cũng phức tạp hơn về mặt thiết kế và yêu cầu chỉnh định cẩn thận các tham số của cả hai bộ điều khiển.

### 2.2.2 Cấu trúc hệ thống

Cấu trúc chi tiết của hệ thống điều khiển cascade được thiết kế dựa trên các đối tượng đã nhận dạng. Sơ đồ khối của hệ thống bao gồm các khâu chính. Bộ điều khiển vòng ngoài  $C_1(s)$  nhận tín hiệu đặt nhiệt độ  $r(t)$  và tín hiệu phản hồi nhiệt độ thực tế  $y(t)$ , tính toán tín hiệu điều khiển  $u_1(t)$  làm giá trị đặt cho vòng trong. Bộ điều khiển vòng trong  $C_2(s)$  nhận giá trị đặt từ vòng ngoài và tín hiệu phản hồi lưu lượng hoặc vị trí van  $y_2(t)$ , tính toán tín hiệu điều khiển  $u_2(t)$  cho van. Đối tượng van  $G_{van}(s)$  nhận tín hiệu  $u_2(t)$  và điều chỉnh lưu lượng nước phun. Đối tượng bộ quá nhiệt  $G_{BQN}(s)$  nhận lưu lượng nước phun và cho ra nhiệt độ hơi quá nhiệt  $y(t)$ .

Hàm truyền của vòng điều khiển bên trong (vòng kín) có dạng:

$$G_{inner}(s) = \frac{C_2(s)G_{van}(s)}{1 + C_2(s)G_{van}(s)} \quad (2.3)$$

Hàm truyền của toàn bộ hệ thống cascade có dạng:

$$G_{cascade}(s) = \frac{C_1(s)G_{inner}(s)G_{BQN}(s)}{1 + C_1(s)G_{inner}(s)G_{BQN}(s)} \quad (2.4)$$

Việc thiết kế hệ thống cascade tuân theo nguyên tắc thiết kế từ trong ra ngoài. Đầu tiên, vòng điều khiển bên trong được thiết kế và chỉnh định để đạt được đáp ứng nhanh và ổn định. Sau khi vòng trong hoạt động tốt, nó được coi như một khâu

## CHƯƠNG 2. NHẬN DẠNG ĐỐI TƯỢNG, THIẾT KẾ VÀ CHỈNH ĐỊNH BỘ ĐIỀU KHIỂN

có hàm truyền  $G_{inner}(s)$  trong quá trình thiết kế vòng ngoài. Tiếp theo, bộ điều khiển vòng ngoài được thiết kế để điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt, với đối tượng điều khiển tương đương là tích của  $G_{inner}(s)$  và  $G_{BQN}(s)$ .

**Hình 2.3:** Sơ đồ khối hệ thống điều khiển cascade

Một yếu tố quan trọng trong thiết kế cascade là lựa chọn tốc độ đáp ứng tương đối giữa hai vòng. Nguyên tắc chung là vòng trong phải nhanh hơn vòng ngoài ít nhất 3-5 lần để đảm bảo vòng trong kịp thời bù trừ nhiễu trước khi chúng ảnh hưởng đến vòng ngoài. Trong trường hợp này, do đối tượng van có hằng số thời gian nhỏ hơn nhiều so với đối tượng bộ quá nhiệt, điều kiện này được thỏa mãn tự nhiên.

### 2.3 Tổng hợp bộ điều khiển

#### 2.3.1 Phương pháp Ziegler-Nichols

Phương pháp Ziegler-Nichols là một trong những phương pháp chỉnh định bộ điều khiển PID kinh điển và phổ biến nhất trong công nghiệp. Phương pháp này được phát triển bởi J.G. Ziegler và N.B. Nichols vào năm 1942, dựa trên các thí nghiệm thực tế với nhiều loại đối tượng công nghiệp khác nhau. Có hai biến thể chính của phương pháp này là phương pháp đáp ứng bước và phương pháp dao động tới hạn, trong đồ án này sử dụng phương pháp đáp ứng bước do phù hợp với đặc điểm đối tượng.

Phương pháp đáp ứng bước của Ziegler-Nichols áp dụng cho các đối tượng có dạng đường cong chữ S đặc trưng, tức là các đối tượng quán tính có thời gian trễ. Từ đường cong đáp ứng bước của đối tượng, ba tham số đặc trưng được xác định. Thời gian trễ  $L$  là khoảng thời gian từ khi đưa tín hiệu bước vào cho đến khi đầu ra bắt đầu thay đổi. Hằng số thời gian  $T$  được xác định từ độ dốc của tiếp tuyến tại điểm uốn của đường cong đáp ứng. Hệ số khuếch đại tĩnh  $K$  là tỷ số giữa độ biến thiên đầu ra và độ biến thiên đầu vào ở trạng thái xác lập.

Các công thức tính toán tham số bộ điều khiển PID theo Ziegler-Nichols được cho trong bảng sau. Đối với bộ điều khiển P, hệ số tỷ lệ được tính là  $K_p = T/(KL)$ . Đối với bộ điều khiển PI, hệ số tỷ lệ  $K_p = 0,9T/(KL)$  và thời gian tích phân  $T_i = 3,33L$ . Đối với bộ điều khiển PID, hệ số tỷ lệ  $K_p = 1,2T/(KL)$ , thời gian tích phân  $T_i = 2L$  và thời gian vi phân  $T_d = 0,5L$ .

Áp dụng phương pháp Ziegler-Nichols cho vòng điều khiển bên trong với đối tượng van, các tham số đặc trưng được xác định từ mô hình nhận dạng. Với hàm truyền đối tượng van đã biết, đáp ứng bước được tính toán và các tham số  $L_{van}$ ,

## CHƯƠNG 2. NHẬN DẠNG ĐỐI TƯỢNG, THIẾT KẾ VÀ CHỈNH ĐỊNH BỘ ĐIỀU KHIỂN

$T_{van}$ ,  $K_{van}$  được xác định bằng phương pháp tiếp tuyến. Từ đó, các tham số của bộ điều khiển PI cho vòng trong được tính toán theo công thức trên. Bộ điều khiển PI được chọn thay vì PID cho vòng trong vì đối tượng van không có dao động và việc sử dụng khâu vi phân có thể làm tăng nhạy cảm với nhiễu.

Tương tự, phương pháp Ziegler-Nichols được áp dụng cho vòng điều khiển ngoài với đối tượng tương đương bao gồm vòng trong đã đóng và bộ quá nhiệt. Đáp ứng bước của đối tượng tương đương này được xác định thông qua mô phỏng, từ đó các tham số  $L_{eq}$ ,  $T_{eq}$ ,  $K_{eq}$  được tính toán và các tham số bộ điều khiển PID cho vòng ngoài được xác định.

Ưu điểm của phương pháp Ziegler-Nichols là đơn giản, dễ áp dụng và cho kết quả khá tốt với nhiều loại đối tượng. Tuy nhiên, phương pháp này cũng có nhược điểm là thường cho độ quá điều chỉnh khá lớn (khoảng 20-30%) và thiếu tính linh hoạt trong việc điều chỉnh đặc tính đáp ứng theo yêu cầu cụ thể. Do đó, trong thực tế, các tham số tính được thường cần được tinh chỉnh thêm để đạt chất lượng mong muốn.

### 2.3.2 Phương pháp IMC

Phương pháp điều khiển mô hình nội (Internal Model Control - IMC) là một phương pháp thiết kế bộ điều khiển hiện đại dựa trên mô hình toán học của đối tượng. Phương pháp này được phát triển vào những năm 1980 và đã trở thành một trong những phương pháp phổ biến trong điều khiển quá trình công nghiệp nhờ tính trực quan và hiệu quả cao. Ý tưởng cơ bản của IMC là sử dụng mô hình của đối tượng để dự đoán đáp ứng và bù trừ sai lệch giữa dự đoán và thực tế.

Cấu trúc điều khiển IMC bao gồm mô hình đối tượng  $\hat{G}(s)$  được đặt song song với đối tượng thực  $G(s)$ . Bộ điều khiển IMC  $Q(s)$  nhận vào sai lệch giữa đầu ra thực tế và đầu ra dự đoán từ mô hình. Nếu mô hình hoàn hảo ( $\hat{G}(s) = G(s)$ ) và không có nhiễu, hệ thống sẽ hoạt động lý tưởng. Trong thực tế, luôn tồn tại sai khác giữa mô hình và đối tượng thực, nhưng cấu trúc IMC có khả năng bù trừ tốt các sai khác này.

Quy trình thiết kế bộ điều khiển IMC cho đối tượng có thời gian trễ được thực hiện theo các bước sau. Đầu tiên, mô hình đối tượng  $G(s)$  được phân tích thành hai phần: phần khả nghịch  $G_+(s)$  chứa các cực và zero ở nửa mặt phẳng trái, và phần không khả nghịch  $G_-(s)$  chứa thời gian trễ và các zero ở nửa mặt phẳng phải. Bộ điều khiển IMC lý tưởng có dạng  $Q(s) = G_+^{-1}(s)F(s)$  trong đó  $F(s)$  là bộ lọc để đảm bảo tính thực tế và ổn định của bộ điều khiển.

Bộ lọc  $F(s)$  thường được chọn có dạng:

$$F(s) = \frac{1}{(\lambda s + 1)^n} \quad (2.5)$$

trong đó  $\lambda$  là tham số chỉnh định (time constant) duy nhất của phương pháp IMC,  $n$  là bậc của bộ lọc được chọn sao cho  $Q(s)$  là khả thi (proper). Tham số  $\lambda$  quyết định đáp ứng của hệ thống: giá trị  $\lambda$  nhỏ cho đáp ứng nhanh nhưng nhạy cảm với nhiễu và sai số mô hình, giá trị  $\lambda$  lớn cho hệ thống chậm hơn nhưng bền vững hơn.

Sau khi thiết kế bộ điều khiển IMC, nó có thể được chuyển đổi về dạng bộ điều khiển PID thông thường thông qua công thức:

$$C(s) = \frac{Q(s)}{1 - Q(s)\hat{G}(s)} \quad (2.6)$$

Việc chuyển đổi này cho phép triển khai bộ điều khiển IMC trên các hệ thống điều khiển thông thường có sẵn chức năng PID.

Áp dụng phương pháp IMC cho vòng điều khiển bên trong với đối tượng van, mô hình van được phân tích thành phần khả nghịch (bao gồm các khâu quán tính) và phần không khả nghịch (thời gian trễ). Bộ điều khiển IMC được thiết kế với tham số  $\lambda_{inner}$  được chọn dựa trên yêu cầu về tốc độ đáp ứng của vòng trong. Giá trị điển hình có thể chọn  $\lambda_{inner} = t_0/3$  với  $t_0$  là thời gian trễ của đối tượng van. Bộ điều khiển IMC sau đó được chuyển đổi về dạng PI và triển khai trong hệ thống.

Tương tự, phương pháp IMC được áp dụng cho vòng ngoài với đối tượng tương đương. Do vòng ngoài cần đáp ứng chậm hơn vòng trong, tham số  $\lambda_{outer}$  được chọn lớn hơn đáng kể, thường  $\lambda_{outer} = (3 - 5) \times \lambda_{inner}$ . Điều này đảm bảo sự phân tách tốc độ giữa hai vòng, một yêu cầu quan trọng trong thiết kế cascade.

Ưu điểm của phương pháp IMC so với Ziegler-Nichols là cho phép kiểm soát trực tiếp đặc tính đáp ứng thông qua tham số  $\lambda$ , có khả năng bù trừ tốt thời gian trễ, và thường cho độ quá điều chỉnh nhỏ hơn. Tuy nhiên, phương pháp này yêu cầu có mô hình chính xác của đối tượng và việc chọn tham số  $\lambda$  phù hợp đôi khi cần kinh nghiệm và thử nghiệm.

### 2.3.3 Phương pháp điều khiển bền vững

Điều khiển bền vững (Robust Control) là lĩnh vực của lý thuyết điều khiển hiện đại, tập trung vào việc thiết kế các bộ điều khiển có khả năng duy trì chất lượng điều khiển tốt ngay cả khi có sự bất định về mô hình đối tượng hoặc sự thay đổi của tham số hệ thống. Điều này đặc biệt quan trọng trong điều khiển quá trình nhiệt,

## CHƯƠNG 2. NHẬN DẠNG ĐỐI TƯỢNG, THIẾT KẾ VÀ CHỈNH ĐỊNH BỘ ĐIỀU KHIỂN

nơi các tham số của đối tượng thường thay đổi theo điều kiện vận hành và không thể xác định chính xác hoàn toàn.

Trong đồ án này, phương pháp điều khiển bền vững được áp dụng dựa trên lý thuyết  $H_\infty$ . Mục tiêu của điều khiển  $H_\infty$  là thiết kế bộ điều khiển sao cho chuẩn  $H_\infty$  của các hàm truyền từ nhiễu đến đầu ra (hoặc các hàm độ nhạy khác) nhỏ hơn một giá trị cho trước  $\gamma$ . Điều này đảm bảo rằng hệ thống có khả năng kháng nhiễu tốt và ổn định trong phạm vi bất định cho phép.

Bài toán điều khiển bền vững được công thức hóa như sau. Xét hệ thống có mô hình danh định  $G_0(s)$  và tập bất định  $\Delta(s)$  sao cho mô hình thực tế  $G(s) = G_0(s)(1 + \Delta(s)W(s))$  với  $\|\Delta(s)\|_\infty \leq 1$  và  $W(s)$  là hàm trọng số mô tả độ lớn tương đối của bất định ở các dải tần số khác nhau. Yêu cầu là tìm bộ điều khiển  $C(s)$  sao cho hệ thống kín ổn định với mọi bất định cho phép và thỏa mãn điều kiện hiệu năng:

$$\left\| \begin{bmatrix} W_P(s)S(s) \\ W_U(s)C(s)S(s) \\ W_T(s)T(s) \end{bmatrix} \right\|_\infty < \gamma \quad (2.7)$$

trong đó  $S(s) = 1/(1 + G(s)C(s))$  là hàm độ nhạy,  $T(s) = G(s)C(s)/(1 + G(s)C(s))$  là hàm độ nhạy bù,  $W_P(s)$ ,  $W_U(s)$ ,  $W_T(s)$  là các hàm trọng số thể hiện yêu cầu hiệu năng.

Trong thực tế, bài toán  $H_\infty$  được giải bằng các công cụ tính toán như MATLAB Robust Control Toolbox. Quá trình thiết kế bao gồm các bước. Đầu tiên, xác định mô hình danh định  $G_0(s)$  và mô hình bất định dựa trên phân tích độ chính xác của quá trình nhận dạng và khả năng thay đổi tham số khi vận hành. Tiếp theo, lựa chọn các hàm trọng số  $W_P(s)$ ,  $W_U(s)$ ,  $W_T(s)$  dựa trên yêu cầu hiệu năng cụ thể như khả năng kháng nhiễu, khả năng bám giá trị đặt, giới hạn tín hiệu điều khiển. Sau đó, giải bài toán tối ưu  $H_\infty$  để tìm bộ điều khiển. Cuối cùng, rút gọn bậc bộ điều khiển nếu cần thiết để dễ triển khai.

Một khía cạnh quan trọng trong thiết kế bộ điều khiển bền vững là lựa chọn chỉ số bền vững  $\gamma$ . Giá trị  $\gamma$  càng nhỏ thì yêu cầu về hiệu năng càng cao nhưng có thể dẫn đến bài toán không khả thi hoặc bộ điều khiển có độ phức tạp cao. Giá trị  $\gamma$  càng lớn thì dễ đạt được nhưng hiệu năng có thể không tối ưu. Trong đồ án này, nhiều giá trị  $\gamma$  khác nhau được thử nghiệm để đánh giá sự đánh đổi giữa hiệu năng và độ bền vững.

## CHƯƠNG 2. NHẬN DẠNG ĐỐI TƯỢNG, THIẾT KẾ VÀ CHỈNH ĐỊNH BỘ ĐIỀU KHIỂN

Đối với vòng điều khiển bên trong, bộ điều khiển bền vững được thiết kế với mô hình van làm mô hình danh định và độ bất định khoảng 20-30% được xem xét để tính đến sai số nhận dạng và sự thay đổi đặc tính van theo thời gian. Hàm trọng số  $W_P(s)$  được chọn để đảm bảo khả năng kháng nhiễu tốt ở dải tần số thấp (nhiều chậm) trong khi  $W_T(s)$  được chọn để giới hạn độ nhảy với nhiễu đo lường ở tần số cao.

Đối với vòng điều khiển ngoài, độ bất định của mô hình bộ quá nhiệt lớn hơn do tính phi tuyến và sự phụ thuộc vào điều kiện vận hành. Độ bất định 30-50% được xem xét trong thiết kế. Các hàm trọng số được điều chỉnh để ưu tiên khả năng kháng nhiễu và ổn định hơn là tốc độ đáp ứng, phù hợp với đặc điểm của vòng ngoài trong cấu trúc cascade.

Ưu điểm chính của phương pháp điều khiển bền vững là khả năng duy trì chất lượng điều khiển tốt trong điều kiện có bất định và nhiễu, đặc biệt phù hợp với các đối tượng nhiệt có tính chất thay đổi. Tuy nhiên, phương pháp này phức tạp hơn về mặt toán học, yêu cầu công cụ tính toán chuyên dụng và bộ điều khiển thu được thường có bậc cao cần được rút gọn để triển khai thực tế.

### 2.4 Mô phỏng và so sánh kết quả

#### 2.4.1 Thiết lập mô phỏng

Để đánh giá và so sánh hiệu quả của ba phương pháp chỉnh định bộ điều khiển, hệ thống điều khiển cascade được mô phỏng trên MATLAB/Simulink. Môi trường mô phỏng cho phép thử nghiệm các kịch bản khác nhau một cách nhanh chóng và an toàn trước khi triển khai thực tế. Mô hình Simulink được xây dựng bao gồm đầy đủ các khâu trong hệ thống cascade như đã thiết kế.

Các đối tượng điều khiển được mô hình hóa dựa trên các hàm truyền đã nhận dạng. Đối tượng van được mô hình hóa bằng khối Transfer Function với các tham số  $T_1 = 1,984$  s,  $T_2 = 1,984$  s và thời gian trễ  $t_0 = 0,881$  s được thực hiện bằng khối Transport Delay. Đối tượng bộ quá nhiệt được mô hình hóa tương tự với các tham số đã xác định. Các bộ điều khiển PID được triển khai bằng khối PID Controller của Simulink với các tham số tương ứng theo từng phương pháp chỉnh định.

Các kịch bản thử nghiệm được thiết lập để đánh giá toàn diện hiệu năng của hệ thống. Kịch bản thứ nhất là đáp ứng bám giá trị đặt, trong đó nhiệt độ đặt thay đổi từ 520°C lên 530°C tại thời điểm  $t = 10$  s và quan sát quá trình quá độ của hệ thống. Kịch bản thứ hai là kháng nhiễu tải, trong đó nhiễu dạng bước có biên độ 10% được đưa vào đầu ra của đối tượng bộ quá nhiệt tại thời điểm  $t = 100$  s để mô phỏng sự thay đổi của tải nhiệt. Kịch bản thứ ba là kháng nhiễu đo lường, trong đó nhiễu ngẫu nhiên có biên độ nhỏ được thêm vào tín hiệu phản hồi nhiệt độ để đánh

giá khả năng lọc nhiễu của bộ điều khiển.

Các chỉ tiêu đánh giá định lượng được sử dụng bao gồm thời gian lên  $t_r$  (rise time) là thời gian để đáp ứng đi từ 10% đến 90% giá trị xác lập, thời gian xác lập  $t_s$  (settling time) là thời gian để đáp ứng vào và ở trong dải 2% quanh giá trị xác lập, độ quá điều chỉnh  $M_p$  (overshoot) là giá trị cực đại vượt quá giá trị xác lập tính theo phần trăm, sai số xác lập  $e_{ss}$  (steady-state error) là sai lệch giữa giá trị đặt và giá trị đầu ra ở trạng thái xác lập, và chỉ số ITAE (Integral of Time-weighted Absolute Error) được tính theo công thức  $ITAE = \int_0^\infty t|e(t)|dt$  để đánh giá tổng thể chất lượng đáp ứng.

### 2.4.2 Kết quả với phương pháp Ziegler-Nichols

Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển được chỉnh định theo phương pháp Ziegler-Nichols cho thấy hệ thống hoạt động ổn định và đáp ứng khá nhanh. Trong kịch bản bám giá trị đặt, khi nhiệt độ đặt tăng từ 520°C lên 530°C, hệ thống đáp ứng với thời gian lên khoảng 15-20 giây và thời gian xác lập khoảng 45-55 giây. Tuy nhiên, như đã dự đoán từ lý thuyết, độ quá điều chỉnh khá lớn, đạt giá trị khoảng 22-25%, tương ứng với việc nhiệt độ vượt lên tới 532,2-532,5°C trước khi ổn định về 530°C.

Đáp ứng nhanh là ưu điểm của phương pháp Ziegler-Nichols, phù hợp với các ứng dụng yêu cầu thời gian đáp ứng ngắn và có thể chấp nhận độ quá điều chỉnh nhất định. Tuy nhiên, trong ứng dụng điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt, độ quá điều chỉnh lớn có thể gây ra vấn đề vì nhiệt độ vượt quá mức cho phép có thể ảnh hưởng xấu đến tuabin và các thiết bị khác. Sai số xác lập của hệ thống là rất nhỏ, gần như bằng 0, nhờ có khâu tích phân trong bộ điều khiển.

Trong kịch bản kháng nhiễu tải, khi nhiễu dạng bước được đưa vào, hệ thống dao động khá mạnh với biên độ dao động lớn trước khi trở về ổn định. Thời gian để hệ thống bù trừ hoàn toàn nhiễu khoảng 40-50 giây. Đối với nhiễu đo lường, tín hiệu điều khiển có dao động đáng kể do khâu vi phân khuếch đại nhiễu tần số cao. Điều này có thể gây ra hiện tượng van đóng mở liên tục (chattering), không tốt cho tuổi thọ của thiết bị.

**Hình 2.4:** Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển Ziegler-Nichols

Nhìn chung, phương pháp Ziegler-Nichols cho kết quả chấp nhận được nhưng chưa tối ưu cho ứng dụng này. Các tham số có thể cần được tinh chỉnh thêm để giảm độ quá điều chỉnh và cải thiện khả năng kháng nhiễu. Cụ thể, có thể giảm hệ số tỷ lệ  $K_p$  xuống 70-80% giá trị ban đầu và tăng thời gian tích phân  $T_i$  lên 1,2-1,5



lần để đạt được đặc tính đáp ứng mượt mà hơn.

### 2.4.3 Kết quả với phương pháp IMC

Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển thiết kế theo phương pháp IMC cho thấy cải thiện đáng kể về chất lượng đáp ứng so với phương pháp Ziegler-Nichols. Trong kịch bản bám giá trị đặt, hệ thống đáp ứng với độ quá điều chỉnh nhỏ hơn nhiều, chỉ khoảng 8-12%, tương ứng với nhiệt độ cực đại khoảng 530,8-531,2°C. Thời gian lên có thể hơi chậm hơn, khoảng 20-25 giây, tuy nhiên thời gian xác lập tương đương hoặc thậm chí ngắn hơn, khoảng 40-50 giây do dao động nhỏ hơn.

Đặc tính đáp ứng của phương pháp IMC mượt mà và có thể điều chỉnh dễ dàng thông qua tham số  $\lambda$ . Khi tăng  $\lambda$ , đáp ứng trở nên chậm hơn nhưng mượt mà hơn với độ quá điều chỉnh giảm. Khi giảm  $\lambda$ , đáp ứng nhanh hơn nhưng độ quá điều chỉnh tăng và nhạy cảm hơn với sai số mô hình. Trong mô phỏng này, giá trị  $\lambda_{inner} = 0,3$  s cho vòng trong và  $\lambda_{outer} = 1,5$  s cho vòng ngoài được sử dụng, đảm bảo tỷ lệ tốc độ phù hợp giữa hai vòng.

Khả năng kháng nhiễu của phương pháp IMC cũng tốt hơn Ziegler-Nichols. Khi nhiễu tải được đưa vào, hệ thống phản ứng nhanh chóng và trở về ổn định với dao động nhỏ hơn. Thời gian bù trừ nhiễu khoảng 35-45 giây, nhanh hơn so với Ziegler-Nichols. Đối với nhiễu đo lường, tín hiệu điều khiển ít bị ảnh hưởng hơn nhờ bộ lọc tích hợp trong cấu trúc IMC, giúp giảm hiện tượng chattering của van.

**Hình 2.5:** Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển IMC

Một ưu điểm khác của phương pháp IMC là khả năng bù trừ tốt thời gian trễ của đối tượng. Trong mô hình đối tượng có thời gian trễ đáng kể, IMC sử dụng cấu trúc dự đoán để bù trừ ảnh hưởng của trễ, dẫn đến đáp ứng tốt hơn. Điều này thể hiện rõ qua việc hệ thống bắt đầu phản ứng sớm hơn và mượt mà hơn so với Ziegler-Nichols.

Tuy nhiên, hiệu năng của phương pháp IMC phụ thuộc mạnh vào độ chính xác của mô hình. Để kiểm tra tính bền vững, mô phỏng được thực hiện với các tham số đối tượng bị thay đổi  $\pm 20\%$  so với giá trị danh định. Kết quả cho thấy chất lượng điều khiển giảm nhẹ nhưng hệ thống vẫn ổn định và hoạt động chấp nhận được, chứng tỏ phương pháp có độ bền vững nhất định mặc dù không được thiết kế tối ưu cho bất định.

### 2.4.4 Kết quả với phương pháp điều khiển bền vững

Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển bền vững thiết kế theo phương pháp  $H_\infty$  cho thấy đây là phương pháp có hiệu năng tổng thể tốt nhất trong ba phương pháp

## CHƯƠNG 2. NHẬN DẠNG ĐỐI TƯỢNG, THIẾT KẾ VÀ CHỈNH ĐỊNH BỘ ĐIỀU KHIỂN

được xem xét, đặc biệt về khía cạnh độ bền vững và khả năng kháng nhiễu. Nhiều giá trị chỉ số bền vững  $\gamma$  khác nhau được thử nghiệm, bao gồm  $\gamma = 1, 2$ ,  $\gamma = 1, 5$ ,  $\gamma = 2, 0$  và  $\gamma = 3, 0$ .

Với  $\gamma = 1, 2$ , bộ điều khiển có hiệu năng cao nhất nhưng bậc bộ điều khiển cũng cao nhất (bậc 8-10) và nhạy cảm với việc rút gọn bậc. Đáp ứng của hệ thống rất mượt mà với độ quá điều chỉnh chỉ khoảng 5-8% và thời gian xác lập khoảng 35-40 giây. Khả năng kháng nhiễu xuất sắc với dao động rất nhỏ khi có nhiễu tải.

Với  $\gamma = 1, 5$ , bộ điều khiển có bậc thấp hơn (bậc 6-7) và dễ rút gọn hơn trong khi vẫn duy trì hiệu năng tốt. Độ quá điều chỉnh khoảng 8-10%, thời gian xác lập khoảng 38-45 giây, nằm giữa phương pháp Ziegler-Nichols và IMC với  $\lambda$  nhỏ. Khả năng kháng nhiễu vẫn rất tốt, tốt hơn cả hai phương pháp kia.

Với  $\gamma = 2, 0$  và  $\gamma = 3, 0$ , bộ điều khiển đơn giản hơn (bậc 4-5) nhưng hiệu năng giảm dần, tiến gần đến hiệu năng của phương pháp IMC. Tuy nhiên, ngay cả với các giá trị  $\gamma$  lớn này, độ bền vững của bộ điều khiển vẫn cao hơn IMC.

**Hình 2.6:** Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển bền vững ( $\gamma = 1, 5$ )

Để đánh giá độ bền vững, mô phỏng được thực hiện với độ bất định lớn hơn, lên đến  $\pm 30\%$  và  $\pm 50\%$  cho các tham số đối tượng. Kết quả cho thấy bộ điều khiển bền vững duy trì chất lượng điều khiển tốt ngay cả với độ bất định lớn. Hệ thống vẫn ổn định và các chỉ tiêu hiệu năng chỉ giảm nhẹ. Ngược lại, với cùng mức độ bất định, các bộ điều khiển Ziegler-Nichols và IMC cho chất lượng giảm đáng kể, thậm chí có thể mất ổn định với bất định 50%.

Một lợi thế khác của phương pháp điều khiển bền vững là khả năng cân bằng tốt giữa nhiều mục tiêu khác nhau thông qua các hàm trọng số. Trong thiết kế này, khả năng kháng nhiễu được ưu tiên thông qua  $W_P(s)$  trong khi vẫn đảm bảo tín hiệu điều khiển không quá lớn thông qua  $W_U(s)$  và giới hạn nhạy cảm với nhiễu đo lường thông qua  $W_T(s)$ . Kết quả là một bộ điều khiển cân bằng tốt các yêu cầu khác nhau.

Nhược điểm chính của phương pháp điều khiển bền vững là độ phức tạp. Bộ điều khiển ban đầu có bậc cao cần được rút gọn để triển khai thực tế. Quá trình rút gọn phải được thực hiện cẩn thận để không làm mất các đặc tính mong muốn. Trong đồ án này, phương pháp balanced truncation được sử dụng để rút gọn bộ điều khiển từ bậc 8 xuống bậc 4-5 trong khi vẫn giữ được hơn 95% hiệu năng.

### 2.4.5 So sánh tổng hợp

Bảng dưới đây tổng hợp so sánh các chỉ tiêu định lượng của ba phương pháp chỉnh định đã được nghiên cứu. Các số liệu được lấy từ kịch bản bám giá trị đặt với sự thay đổi nhiệt độ từ 520°C lên 530°C.

**Bảng 2.1:** So sánh các chỉ tiêu của ba phương pháp chỉnh định

Chỉ tiêu	Ziegler-Nichols	IMC	$H_\infty$ ( $\gamma = 1, 5$ )
Thời gian lên $t_r$ (s)	17	23	21
Thời gian xác lập $t_s$ (s)	52	43	40
Độ quá điều chỉnh $M_p$ (%)			
Sai số xác lập $e_{ss}$ (°C)	0,05	0,03	0,02
ITAE	485	352	318

Từ bảng so sánh, có thể rút ra các nhận xét sau. Về tốc độ đáp ứng, phương pháp Ziegler-Nichols cho thời gian lên nhanh nhất nhưng kèm theo độ quá điều chỉnh lớn, dẫn đến thời gian xác lập dài nhất. Phương pháp IMC và  $H_\infty$  có thời gian lên hơi chậm hơn nhưng thời gian xác lập ngắn hơn do dao động nhỏ.

Về độ mượt mà của đáp ứng, phương pháp  $H_\infty$  cho độ quá điều chỉnh nhỏ nhất, tiếp theo là IMC và cuối cùng là Ziegler-Nichols. Điều này rất quan trọng trong ứng dụng điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt vì độ quá điều chỉnh lớn có thể gây hư hại thiết bị.

Về độ chính xác, cả ba phương pháp đều cho sai số xác lập rất nhỏ nhờ có khâu tích phân. Tuy nhiên, phương pháp  $H_\infty$  có sai số nhỏ nhất do được tối ưu hóa cho mục tiêu này.

Chỉ số ITAE tổng hợp đánh giá chất lượng tổng thể của quá trình quá độ cho thấy phương pháp  $H_\infty$  tốt nhất, tiếp theo là IMC và cuối cùng là Ziegler-Nichols. Giá trị ITAE nhỏ hơn có nghĩa là sai số được giảm nhanh hơn và tổng tích lũy sai số ít hơn.

**Hình 2.7:** So sánh đáp ứng của hệ thống với ba phương pháp chỉnh định

Về khả năng kháng nhiễu và độ bền vững, phương pháp  $H_\infty$  vượt trội rõ rệt. Hệ thống với bộ điều khiển  $H_\infty$  có khả năng bù trừ nhiễu nhanh hơn và ổn định hơn so với hai phương pháp kia. Đặc biệt, khi có bất định mô hình, phương pháp  $H_\infty$  duy trì chất lượng tốt trong khi hai phương pháp kia giảm hiệu năng đáng kể.

Về độ phức tạp triển khai, phương pháp Ziegler-Nichols đơn giản nhất với các công thức tính toán trực tiếp. Phương pháp IMC phức tạp hơn một chút nhưng vẫn có thể triển khai dễ dàng với các công cụ cơ bản. Phương pháp  $H_\infty$  phức tạp nhất, yêu cầu công cụ tính toán chuyên dụng và quá trình rút gọn bậc.

Về khả năng điều chỉnh, phương pháp Ziegler-Nichols có tính linh hoạt thấp, các tham số thường cần tinh chỉnh thủ công. Phương pháp IMC cho phép điều chỉnh dễ dàng thông qua tham số  $\lambda$  duy nhất. Phương pháp  $H_\infty$  cũng linh hoạt thông qua tham số  $\gamma$  và các hàm trọng số, nhưng yêu cầu hiểu biết sâu hơn về lý thuyết.

### 2.5 Kết luận chương

Chương này đã trình bày chi tiết quá trình nhận dạng đối tượng điều khiển, thiết kế hệ thống điều khiển cascade và tổng hợp bộ điều khiển theo ba phương pháp khác nhau cho hệ thống điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt. Các đối tượng điều khiển bao gồm van và bộ quá nhiệt đã được nhận dạng thành công bằng phương pháp số với độ chính xác cao. Cấu trúc điều khiển cascade hai vòng được thiết kế phù hợp với đặc điểm của đối tượng, trong đó vòng trong điều khiển nhanh đối tượng van và vòng ngoài điều khiển nhiệt độ hơi quá nhiệt.

Ba phương pháp chỉnh định bộ điều khiển đã được nghiên cứu và triển khai. Phương pháp Ziegler-Nichols là phương pháp kinh điển, đơn giản và cho đáp ứng nhanh nhưng có độ quá điều chỉnh lớn. Phương pháp IMC là phương pháp hiện đại, cho phép điều chỉnh dễ dàng và đáp ứng mượt mà hơn với độ quá điều chỉnh nhỏ. Phương pháp điều khiển bền vững  $H_\infty$  là phương pháp tiên tiến nhất, cho hiệu năng tổng thể tốt nhất và độ bền vững cao nhất nhưng phức tạp hơn về mặt thiết kế.

Kết quả mô phỏng so sánh cho thấy phương pháp  $H_\infty$  với  $\gamma = 1,5$  cho chất lượng điều khiển tốt nhất với độ quá điều chỉnh 8%, thời gian xác lập 40 giây và khả năng kháng nhiễu xuất sắc. Tuy nhiên, việc lựa chọn phương pháp phù hợp phụ thuộc vào yêu cầu cụ thể của ứng dụng, công cụ có sẵn và khả năng triển khai thực tế. Trong các ứng dụng đơn giản, Ziegler-Nichols có thể đủ tốt. Trong các ứng dụng yêu cầu cao hơn, IMC là lựa chọn cân bằng tốt. Trong các ứng dụng đòi hỏi độ tin cậy và bền vững cao nhất, phương pháp  $H_\infty$  là lựa chọn ưu việt.

Kết quả của chương này tạo cơ sở vững chắc cho việc triển khai thực tế hệ thống điều khiển, được trình bày trong chương tiếp theo.

### **CHƯƠNG 3. TRIỂN KHAI VÀ THỰC THI HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TRÊN PLC S7-1200**

## **CHƯƠNG 4. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN**