

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

HOÀNG DUY KHÁNH

**THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ
LÒ ĐIỆN TRỞ SỬ DỤNG
PHƯƠNG PHÁP PID TỰ CHỈNH**

**Chuyên ngành: Kỹ Thuật Điều Khiển và Tự Động Hóa
Mã số: 60 52 02 16**

TÓM TẮT LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

Đà Nẵng – Năm 2016

Công trình được hoàn thành tại

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

Người hướng dẫn khoa học: **PGS. TS Đoàn Quang Vinh**

Phản biện 1: **TS. Nguyễn Lê Hòa**

Phản biện 2: **TS. Nguyễn Hoàng Mai**

Luận văn được bảo vệ trước Hội đồng chấm Luận văn tốt nghiệp thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa họp tại Đại học Đà Nẵng vào ngày 27 tháng 08 năm 2016

Có thể tìm hiểu luận văn tại:

- Trung tâm Thông tin – Học liệu, Đại học Đà Nẵng

MỞ ĐẦU

1. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

Trong thực tế công nghiệp và sinh hoạt hàng ngày, năng lượng nhiệt đóng một vai trò rất quan trọng. Năng lượng nhiệt có thể được dùng trong các quá trình công nghệ khác nhau, vì vậy việc sử dụng nguồn năng lượng này một cách hợp lý và hiệu quả là rất cần thiết. Lò điện trở là một trong những ứng dụng hiện đại và phổ biến của nguồn năng lượng này, nó được sử dụng trong công nghiệp, trong phòng thí nghiệm và trong gia đình. Ở lò điện trở, để đáp ứng các điều kiện mà nhu cầu sản xuất đặt ra đòi hỏi phải khống chế được nhiệt độ và điều khiển sao cho nhiệt độ bằng hoặc xấp xỉ nhiệt độ đặt.

Có nhiều phương pháp để điều khiển nhiệt độ như phương pháp điều khiển ON/OFF, phương pháp điều khiển mờ (Fuzzy), phương pháp điều khiển bằng khâu tỉ lệ P, phương pháp điều khiển bằng khâu tích phân tỉ lệ PI, phương pháp điều khiển bằng khâu vi tích phân tỉ lệ PID,... Trong các đối tượng lò nhiệt có đặc tính là khâu quán tính bậc nhất có trễ nên trên thực tế các bộ điều khiển PID được sử dụng phổ biến để điều khiển nhiệt độ cho lò nhiệt. Việc xác định các tham số của bộ điều khiển PID quyết định đến chất lượng của bộ điều khiển.

Có rất nhiều phương pháp được đưa ra nhằm xác định các tham số bộ điều khiển PID. Có 2 hướng chính: Hướng thứ nhất sử dụng mô hình toán học của đặc tính đối tượng, tiêu biểu cho hướng thứ nhất là phương pháp Chien – Hrones – Reswch hoặc phương pháp của Ziegler – Nichols. Hướng thứ hai sử dụng các phương pháp thực nghiệm, phổ biến trong hướng nghiên cứu thứ hai này là phương pháp xác định hệ số khuếch đại K_U tới hạn.

Tuy nhiên trong thực tế rất khó xác định các tham số của bộ điều khiển PID đúng, nó đòi hỏi người sử dụng phải có kiến thức và kinh nghiệm về điều khiển PID. Nhu cầu của việc tự động xác định các tham số của bộ điều khiển PID là thiết yếu do đó tôi đề xuất phương pháp tự chỉnh để xác định các tham số của bộ điều khiển PID. PID tự chỉnh là chức năng dò tự động các tham số cho bộ điều khiển PID.

Thực trạng các bộ điều khiển nhiệt độ chính xác, chất lượng cao thì đồng thời giá thành hệ thống cũng quá cao. Bên cạnh đó việc làm chủ công nghệ là điều cần thiết trong thời đại hội nhập kinh tế thế giới hiện nay.

Chính vì lý do này nên tôi lựa chọn đề tài “Thiết kế bộ điều khiển nhiệt độ lò điện trở sử dụng phương pháp PID tự chỉnh”.

2. MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU

Với phương pháp điều khiển PID tự chỉnh mong muốn trong việc tự dò tham số bộ điều khiển PID cho nhiều đối tượng lò nhiệt có thông số khác nhau mà không biết trước.

Bộ điều khiển cho kết quả không chế được nhiệt độ, điều khiển nhiệt độ bằng nhiệt độ đặt, thời gian đạt tới nhiệt độ đặt có thể chấp nhận được, độ quá điều chỉnh rất nhỏ, đáp ứng nhanh với nhiễu tác động.

3. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU

Điều khiển nhiệt độ của lò điện trở có công suất vừa và nhỏ.

Lò nhiệt có đặc tính là khâu quán tính bậc cao được xấp xỉ về khâu quán tính bậc nhất có trễ với hàm truyền là:

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-L \cdot s}}{(1 + T \cdot s)}$$

Thực hiện mô phỏng trên matlab để đánh giá kết quả.

4. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu lý thuyết điều khiển tự động.

Thu thập, nghiên cứu tài liệu liên quan đến đề tài, các bài báo, các công trình khoa học đã được công bố, các phương pháp đo lường nhiệt độ, cảm biến nhiệt độ nhằm xác định rõ mục tiêu và nhiệm vụ.

Nghiên cứu lý thuyết để xây dựng mô hình thuật toán.

Mô phỏng hệ thống điều khiển nhiệt độ bằng phần mềm matlab simulink nhằm kiểm chứng thuật toán điều khiển, chất lượng của bộ điều khiển.

Phân tích kết quả và so sánh các kết quả đạt được.

Đánh giá toàn bộ luận văn, đề nghị hướng phát triển của đề tài.

5. BỐ CỤC ĐỀ TÀI

Luận văn gồm có 3 chương

Chương 1: Tổng quan về lò điện trở và hệ thống đo lường nhiệt độ

Chương 2: Tổng quan về các phương pháp điều khiển nhiệt độ

Chương 3: Thiết kế bộ điều khiển PID tự chỉnh

6. TỔNG QUAN TÀI LIỆU NGHIÊN CỨU

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ LÒ ĐIỆN TRỞ VÀ HỆ THỐNG ĐO LƯỜNG NHIỆT ĐỘ

1.1. TỔNG QUAN VỀ LÒ ĐIỆN TRỞ

1.1.1. Giới thiệu lò điện trở

a. Định nghĩa

b. Phân loại lò điện trở

c. Yêu cầu đối với vật liệu làm dây đốt

1.1.2. Vật liệu làm dây điện trở

- a. Dây điện trở bằng hợp kim*
- b. Dây điện trở bằng kim loại*
- c. Điện trở nung nóng bằng vật liệu kim loại*

1.1.3. Tính toán kích thước dây điện trở

- a. Với dây điện trở có tiết diện tròn*
- b. Với dây điện trở có tiết diện chữ nhật ($m = b/a$)*

1.1.4. Khống chế và ổn định nhiệt độ lò điện trở

1.2. HỆ THỐNG ĐO LƯỜNG NHIỆT ĐỘ

1.2.1. Tổng quan về đo lường

1.2.2. Các phương pháp đo nhiệt độ

1.2.3. Các loại cảm biến dùng trong đo lường nhiệt độ

- a. Nhiệt điện trở kim loại (RTD)*
- b. Điện trở oxit kim loại (Thermistor)*
- c. Cảm biến nhiệt bán dẫn*
- d. Cặp nhiệt điện (thermocouple)*

1.2.4. Bù nhiệt của môi trường

1.2.5. Tổng quát của hệ thống điều khiển nhiệt độ

1.3. KẾT LUẬN

Chương 1 nhằm mục đích nghiên cứu tổng quan về đối tượng lò điện trở, các loại điện trở nhiệt, từ đó xây dựng mô hình đối tượng trong mô phỏng lò nhiệt. Khái niệm về hệ thống đo lường điều khiển nhiệt độ, các loại cảm biến nhiệt độ, các phương pháp đo lường nhiệt độ. Qua tìm hiểu phân tích sẽ giúp người thực hiện có cơ sở lựa giải pháp điều khiển, lựa chọn cảm biến nhiệt độ phù hợp với yêu cầu.

CHƯƠNG 2

TỔNG QUAN VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ

2.1. XÂY DỰNG HÀM TRUYỀN ĐỐI TƯỢNG

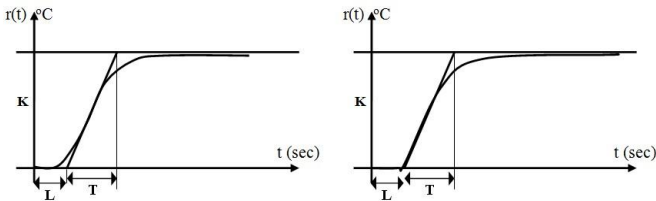
Lò nhiệt là mô hình phi tuyến. Đặc trưng của lò nhiệt là khâu quán tính nhiệt. Từ khi bắt đầu cung cấp năng lượng đầu vào lò nhiệt, nhiệt độ của lò bắt đầu tăng lên từ từ. Để nhiệt độ lò đạt tới giá trị nhiệt độ cần thiết phải mất một khoảng thời gian khá dài. Đây chính là đặc tính quán tính lò nhiệt. Khi tuyến tính hóa mô hình lò nhiệt, ta xem hàm truyền của lò nhiệt như là một khâu quán tính bậc nhất nối tiếp khâu trễ.



Hình 2.1. Mô hình lò nhiệt

2.1.1. Hàm truyền của lò nhiệt được xác định bằng phương pháp thực nghiệm

Từ mô hình lò nhiệt như hình 2.1, cấp công suất tối đa cho lò (công suất vào $P = 100\%$) nhiệt độ tăng dần, sau một khoảng thời gian nhất định nhiệt độ lò đạt đến giá trị bão hòa. Đặc tính theo thời gian được gọi là đặc tính tự nhiên của lò nhiệt.



Đặc tính chính xác của lò nhiệt

Đặc tính gần đúng của lò nhiệt

Hình 2.2. Đặc tính của lò nhiệt

2.1.2. Mô phỏng đặc tính tự nhiên của lò nhiệt trên matlab simulink

2.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ TRUYỀN THỐNG

2.2.1. Điều khiển ON/OFF

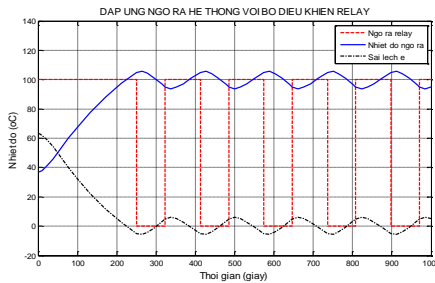
a. Phương pháp điều khiển

Điều khiển ON/OFF là lặp lại trạng thái ON/OFF của hệ thống điều khiển theo điểm đặt. Với ngõ ra của bộ điều khiển ON/OFF chỉ có hai vị trí, nếu ngõ ra ON cấp điện cho sợi nung khi giá trị nhiệt độ hiện tại trong lò dưới giá trị đặt, ngõ ra OFF khi giá trị nhiệt độ hiện tại trong lò trên giá trị đặt.

b. Mô phỏng bộ điều khiển ON/OFF

c. Kết quả mô phỏng điều khiển ON/OFF

Mô phỏng trên matlab simulink với bộ điều khiển ON/OFF cho lò nhiệt có thông số cho biết trước là $K = 400^{\circ}\text{C}$, $T = 450\text{s}$, $L=60\text{s}$. Nhiệt độ đặt $SP = 200^{\circ}\text{C}$ có kết quả như hình 2.8



Hình 2.8. Đáp ứng ngõ ra hệ thống với bộ điều khiển ON/OFF

❖ Nhận xét kết quả

Bộ điều khiển ON/OFF cho chất lượng ngõ ra chưa tốt, với ngõ ra chỉ dao động quanh giá trị đặt mà chưa thể ổn định tại giá trị đặt. Tuy nhiên độ dao động sẽ được hạn chế với đối tượng có sự đáp ứng chậm. Do đó bộ điều khiển phù hợp với những đối tượng cho

phép khoảng nhiệt rộng như máy điều hòa, lò ấp trứng...

2.2.2. Tổng quan về bộ điều khiển PID và các phương pháp xác định tham số bộ điều khiển PID

a. Tổng quan về bộ điều khiển PID

b. Các phương pháp xác định tham số bộ điều khiển PID điều khiển nhiệt độ

2.3. GIẢI PHÁP ANTI-WINDUP

2.3.1. Định nghĩa “Windup”

“Windup” là một hiện tượng gây ra do tương tác của khâu tích phân trong bộ PID và sự bão hòa. Trong một hệ thống điều khiển với dải tần hoạt động rộng, các biến điều khiển có thể đạt tới giới hạn của cơ cấu chấp hành. Khi điều này xảy ra, vòng phản hồi bị phá vỡ, và hệ thống hoạt động như hệ hở, vì cơ cấu chấp hành vẫn ở giới hạn của nó không phụ thuộc vào đầu vào của quá trình. Nếu một bộ điều khiển có khâu tích phân được sử dụng, thì sai lệch tiếp tục được tích phân lên. Điều này có nghĩa là đại lượng tích phân có thể trở nên rất lớn, hay nói cách khác, nó “windup”. Khi đó, nó yêu cầu sai lệch phải có dấu ngược lại trong một khoảng thời gian dài trước khi mọi thứ trở lại bình thường. Kết quả là với một bộ điều khiển bất kỳ khâu tích phân có thể đưa ra khoảng quá độ lớn khi cơ cấu chấp hành bão hòa.

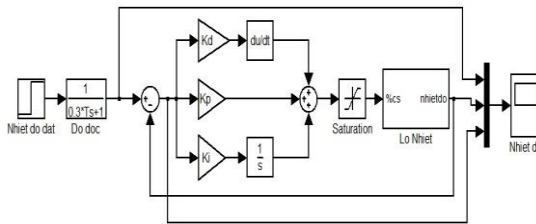
2.3.2. Các biện pháp chống bão hòa tích phân (Anti-windup)

a. Phương pháp PID sử dụng tích phân có điều kiện

b. Phương pháp tăng điểm đặt với độ dốc thích hợp

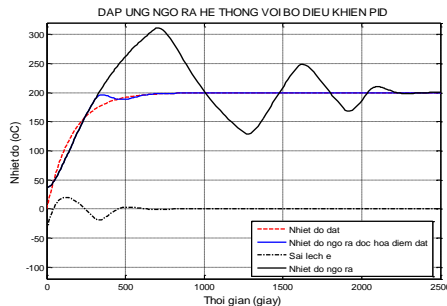
Với phương pháp này mục đích là để điểm đặt được tăng từ nhiệt độ môi trường đến giá trị đặt một cách chậm để đầu ra của tín hiệu điều khiển nằm trong giới hạn cho phép không vượt quá điều chỉnh, và điều này làm tránh hiện tượng bão hòa tích phân.

Trong phương pháp này ta đưa vào sau khối nhiệt độ đặt một hàm truyền có khâu quán tính bậc nhất như hình 2.20. Chọn thời gian trễ cho khâu quán tính bậc nhất khoảng 30% thời gian quán tính T . Khi có khâu này giúp tránh sự tăng đột ngột của tín hiệu đặt điều đó làm tín hiệu sai lệch giữa giá trị đặt và giá trị đo thay đổi theo độ dốc thích hợp. Với phương pháp này giúp tránh được hiện tượng bão hòa tích phân tuy nhiên nó cũng làm hệ thống tác động chậm hơn và do đó thời gian quá độ sẽ được kéo dài.



Hình 2.20. Mô hình mô phỏng hệ thống PID ổn định nhiệt độ

Kết quả mô phỏng của bộ điều khiển PID có khâu bão hòa và kết quả của bộ điều khiển PID kết hợp giải pháp dốc hóa điểm đặt để so sánh đánh giá kết quả.



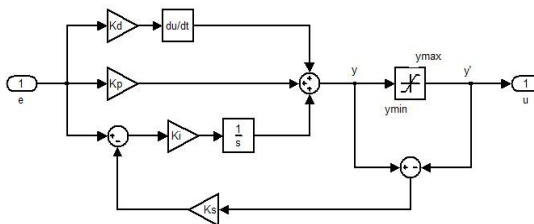
Hình 2.21. Đáp ứng hệ thống với bộ điều khiển PID

Ta thấy kết quả đáp ứng ngõ ra hệ thống ổn định nhiệt độ có bộ điều khiển PID kết hợp giải pháp dốc hóa điểm đặt khắc phục được đáng kể độ quá điều chỉnh, thời gian xác lập nhanh ở thời điểm

$t = 940s$. Tuy nhiên ở phương pháp này khi thay đổi nhiệt độ đặt hoặc thay đổi đối tượng điều khiển đồng nghĩa là phải lựa chọn lại thời gian trễ cho khâu quán tính bậc nhất để thay đổi độ dốc phù hợp. Việc lựa chọn thông số này cũng làm ảnh hưởng đến chất lượng của hệ thống.

c. Phương pháp PID sử dụng tracking anti-windup

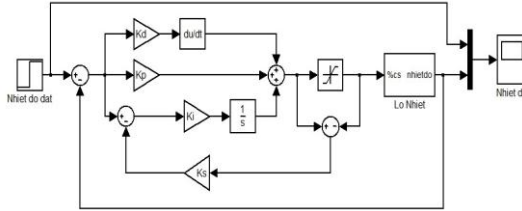
Phương pháp PID sử dụng tracking anti-windup hoạt động như sau: Theo dõi giá trị thực của tín hiệu điều khiển bị giới hạn phản hồi về bộ điều khiển để thực hiện thuật toán bù nhằm giảm thành phần tích phân. Mục đích nhằm thay đổi giá trị K_I trong bộ điều khiển PID sao cho tác động điều khiển nhanh chậm theo yêu cầu để hạn chế hoặc chống bão hoà tích phân. Giá trị đầu ra của bộ điều khiển trước và sau khâu hạn chế được tính toán so sánh phản hồi về thành phần tích phân để thực hiện thuật toán bù chống bão hoà tích phân. Mức độ bão hoà được mô tả như hình 2.22.



Hình 2.22. Sơ đồ bộ điều khiển PID có tracking anti-windup

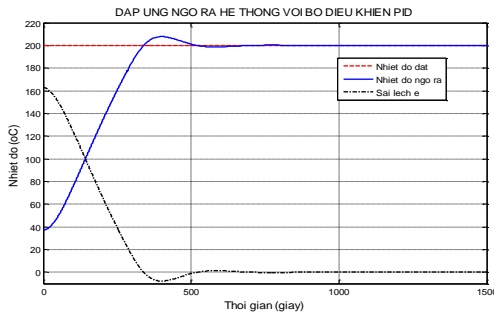
Giá trị ở trạng thái ổn định của (y) được dùng để chọn K_s phù hợp. Giả sử xảy ra trạng thái $y > y_{max}$ các quan hệ sau có thể được suy ra để xác định trạng thái ổn định và sự biến thiên của bộ điều khiển PID có bão hoà với sự tham gia của tracking anti-windup.

Mô hình mô phỏng hệ thống PID tracking anti-windup ổn định nhiệt độ với đối tượng lò nhiệt có thông số $K = 400^{\circ}C$, $L = 60s$, $T = 450s$ trong matlab simulink được 2.23.



Hình 2.23. Mô hình mô phỏng hệ thống PID tracking anti-windup

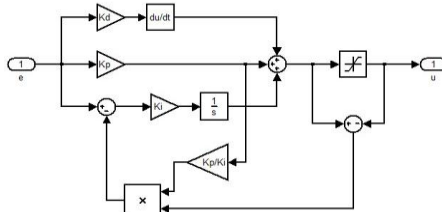
Chọn $K_S = 20$ tiến hành chạy mô phỏng thu được kết quả như hình 2.24. Ta nhận thấy với tác dụng “anti-windup” trong sơ đồ đã được cải thiện hơn, hệ thống đáp ứng tốt, nhiệt độ ngõ ra có thời gian ổn định nhiệt độ nhanh $t = 600s$, độ quá điều chỉnh giảm đáng kể so với điều khiển PID thường, sai số xác lập không còn.



Hình 2.24. Đáp ứng hệ thống với bộ điều khiển PID anti-windup

Tuy nhiên để đạt được trạng thái ổn định phụ thuộc vào giá trị K_S . Giá trị K_S đạt được trạng thái ổn định dưới bão hòa nhanh chóng giá trị K_S phải lớn. Do vậy việc chọn K_S phải cân nhắc giữa việc nhanh chóng đạt ổn định và khả năng vượt bão hòa. Ngoài ra việc chọn giá trị K_S phụ thuộc vào đối tượng điều khiển.

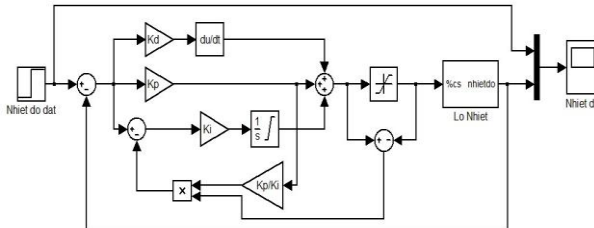
Trong phương pháp này khi thay đổi đối tượng điều khiển đồng nghĩa phải chọn lại giá trị K_S cho phù hợp do đó phương pháp tạo tracking anti-windup cải biên được đưa ra như hình 2.25 để giải quyết những vấn đề trên.



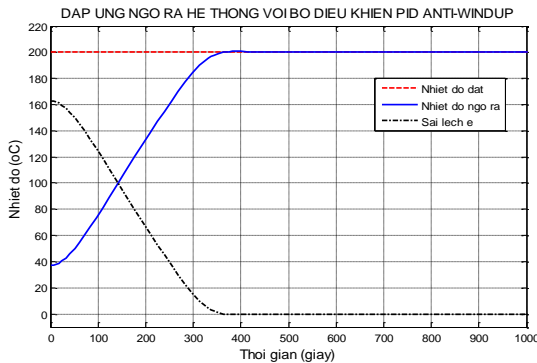
Hình 2.25. Sơ đồ điều khiển PID có tracking anti-windup cải biên

Theo sơ đồ này vòng hồi tiếp về khâu tích phân được tạo bởi tích của sai lệch e được khuếch đại lên với hệ số (K_p^2 / K_i) lần nhân với sai lệch giữa đầu ra bộ điều khiển trước khâu bão hòa và sau khâu bão hòa. Sơ đồ hình 2.25 cho phép hạn chế khâu tích phân nhanh chóng tùy theo tín hiệu sai lệch e .

Mô hình mô phỏng hệ thống với bộ điều khiển PID tracking anti-windup cải biên như hình 2.26.



Hình 2.26. Hệ thống PID tracking anti-windup cải biên



Hình 2.27. Đáp ứng hệ thống với bộ điều khiển PID anti-windup

Kết quả mô phỏng của hệ thống được thể hiện ở hình 2.27. Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển PID có tracking anti-windup có thời gian đáp ứng của hệ thống nhanh hơn sơ với đặc tính tự nhiên của lò nhiệt, $t = 400s$ và độ quá điều chỉnh đã được loại bỏ hoàn toàn. Do đó phương pháp điều khiển PID với tracking anti-windup cải biên được dùng để khống chế hoạt động của khâu tích phân.

Với các phương pháp chống bão hòa tích phân thì phương pháp PID tracking anti-windup cho kết quả tốt nhất, nó không phụ thuộc nhiều vào đối tượng điều khiển.

2.3.3. Mô phỏng bộ điều khiển PID với các biện pháp chống windup

a. Phương pháp tăng điểm đặt với độ dốc thích hợp

b. Phương pháp PID tracking anti-windup

2.4. KẾT LUẬN

Bộ điều khiển PID được áp dụng cho hệ thống điều khiển nhiệt độ cho ra chất lượng điều khiển tốt, tiết kiệm năng lượng, đơn giản, dễ thực thi. Tuy nhiên điều chỉnh PID là bài toán khó, nó đòi hỏi phải điều chỉnh 3 tham số (độ lợi, tích phân, vi phân) chính xác. Nếu các tham số này chọn sai cho ra kết quả điều khiển không tốt thậm chí có thể dẫn đến hệ thống mất ổn định. Trong các phương pháp tìm tham số bộ điều khiển PID thường được dò tìm theo cách thủ công và điều chỉnh theo kinh nghiệm được trình bày ở mục 2.2.2.b. Do đó kết quả tìm được chỉ gần đúng dẫn đến hệ thống có độ quá điều chỉnh lớn. Tuy nhiên hiện tượng độ quá điều chỉnh lớn này do hiện tượng bão hòa tích phân gây ra vì vậy để khắc phục sai số này dùng bộ điều khiển PID kết hợp với giải pháp chống bão hòa tích phân được trình bày ở mục 2.3.2 được áp dụng để khắc phục hiện tượng này.

Từ kết quả ta thấy với bộ điều khiển PID để điều khiển đối tượng lò nhiệt có đặc tính khâu quán tính bậc nhất có trễ cho kết quả tốt. Do đó với bộ điều khiển PID có tracking anti-windup cải biên được áp dụng vào việc điều khiển nhiệt độ. Tuy nhiên việc tính toán, xác định tham số bộ điều khiển PID theo những phương pháp trình bày ở mục 2.2.2.b gặp nhiều khó khăn, nó đòi hỏi người sử dụng phải có kiến thức về điều khiển tự động và kinh nghiệm về điều khiển PID. Vì vậy việc tự động dò tìm các tham số của bộ điều khiển PID là cần thiết cho bộ điều khiển nhiệt độ.

CHƯƠNG 3

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN PID TỰ CHỈNH

3.1. GIỚI THIỆU BỘ ĐIỀU KHIỂN PID TỰ CHỈNH

PID tự chỉnh là chức năng tự động xác định các tham số K_P , K_I , K_D cho bộ điều khiển PID ổn định nhiệt độ mà ta chưa biết trước các thông số của đối tượng điều khiển.

3.2. ỨNG DỤNG PID TỰ CHỈNH TRONG ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ

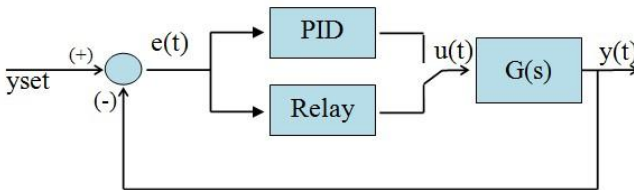
Bộ điều khiển PID được sử dụng rộng rãi trong việc điều khiển nhiệt độ với đối tượng là các bộ trao đổi nhiệt. Tuy nhiên trong thực tế rất khó xác định các tham số của bộ điều khiển PID đúng, nó đòi hỏi người sử dụng phải có kiến thức và kinh nghiệm về điều khiển PID, ngoài ra nhiễu tác động, sự lão hóa của điện trở nhiệt sau một thời gian dài sử dụng dẫn đến làm thay đổi đối tượng điều khiển làm cho hệ thống mất ổn định với các tham số của bộ điều khiển PID hiện tại. Vì vậy nhu cầu của việc tự động xác định các tham số của bộ điều khiển PID là thiết yếu.

3.3. THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN PID TỰ CHỈNH TRONG ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ Lò ĐIỆN TRỞ

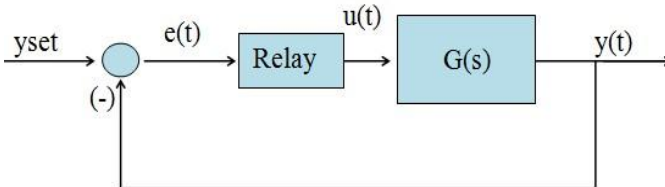
3.3.1. Phương pháp relay-feedback

Khi cần tự động dò tham số của bộ điều khiển PID, ta thay thế bộ điều khiển PID bởi bộ điều khiển relay 2 vị trí như hình 2.2. Lúc này đầu ra $y(t)$ của hệ thống dao động điều hòa. Khi đó, ta xác định được hệ số khuếch đại tới hạn K_U và chu kỳ dao động tới hạn T_U , từ hai hệ số này tính toán chọn tham số cho bộ điều khiển PID. Sau đó, ta đưa các tham số đã được xác định vào bộ PID trở lại điều khiển hệ thống.

Phương pháp relay – feedback được thể hiện trong hình vẽ cụ thể sau:



Hình 3.1. Mô hình hệ thống với bộ điều khiển PID tự chỉnh

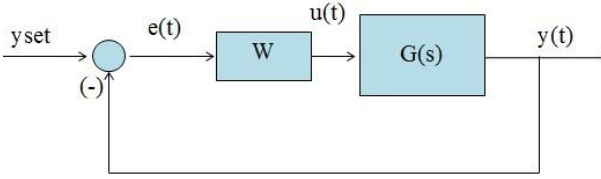


Hình 3.2. Mô hình hệ thống với bộ điều khiển relay hai vị trí

3.3.2. Xác định tham số bộ điều khiển PID cho hệ thống điều khiển nhiệt độ lò điện trở

a. Xác định phương trình trạng thái của bộ điều khiển PID

Bộ trao đổi nhiệt độ là đối tượng điều khiển có hàm truyền là khâu quán tính bậc nhất có trễ. Xét trong miền thời gian liên tục, mô hình hệ thống

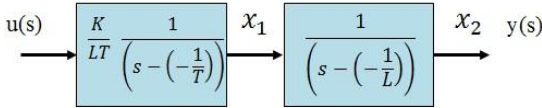


Hình 3.4. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển nhiệt độ

Xét đối tượng bộ trao đổi nhiệt hàm truyền dạng hàm quán tính bậc nhất có trễ xấp xỉ mô hình quán tính bậc 2

$$G(s) = \frac{K}{(1 + T \cdot s)(1 + L \cdot s)} = \frac{K}{LT \left(s + \frac{1}{T}\right) \left(s + \frac{1}{L}\right)} \quad (3.17)$$

Phân tích theo (3.17) ta có:



$$\text{Đặt: } x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Suy ra phương trình trạng thái:

$$\begin{aligned} (x &= Ax + Bu) \\ (y &= Cx) \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$\text{Với: } A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T} & 0 \\ 1 & -\frac{1}{L} \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} \frac{K}{LT} & 0 \end{bmatrix}; \quad C = [0 \quad 1]$$

Xét miền thời gian rời rạc với thời gian lấy mẫu T_s

Xấp xỉ vi phân ta có:

$$x = \frac{\Delta x}{T_s} = \frac{x(i+1) - x(i)}{T_s} \quad (3.19)$$

Thay (3.18) vào (3.19) ta được:

$$\begin{aligned} x(i+1) &= T_s Ax(i) + TBu(i) \\ y(i) &= Cx(i) \end{aligned} \quad (3.20)$$

Ở đây viết tắt $i = iT_s$ thời điểm lấy mẫu thứ i

Suy ra:

$$\begin{aligned}x(i+1) &= A_d x(i) + B_d u(i) \\y(i) &= C_d x(i)\end{aligned}\quad (3.21)$$

Với:

$$A_d = T_s A + I = \begin{bmatrix} -\frac{T_s}{T} + 1 & 0 \\ 1 & -\frac{T_s}{L} + 1 \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$$B_d = T_s B = \begin{bmatrix} \frac{T_s K}{LT} & 0 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

$$C_d = C = [0 \quad 1] \quad (3.24)$$

Từ phương trình (3.21) ta tính được giá trị đầu ra y của hệ thống trong miền thời gian rời rạc.

b. Thuật toán xác định các tham số PID của bộ điều khiển lò nhiệt

Cho hệ thống giá trị đặt trước SP, bộ điều khiển relay 2 vị trí u , đầu ra y . Trong thực tế ngõ ra bộ điều khiển relay 2 vị trí có hệ số trễ hys dạng như sau:

$$u(i) = \begin{cases} 0 & \text{nếu } y - SP > hys \\ h & \text{nếu } y - SP < -hys \end{cases} \quad (3.25)$$

Trong mô phỏng chọn $hys = 0.222$

Các bước tiến hành:

Bước 1: $i = 0, x(0) = \begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$

Bước 2: $i = i + 1$

$$\begin{aligned}x(i+1) &= A_d x(i) + B_d u(i) \\y(i) &= C_d x(i)\end{aligned}$$

Với:

$$A_d = T_s A + I = \begin{bmatrix} -\frac{T_s}{T} + 1 & 0 \\ 1 & -\frac{T_s}{L} + 1 \end{bmatrix}$$

$$B_d = T_s B = \begin{bmatrix} \frac{T_s K}{LT} & 0 \end{bmatrix}$$

$$C_d = C = [0 \quad 1]$$

$$u(i) = \begin{cases} 0 & \text{nếu } y(t) - SP > hys \\ h & \text{nếu } y(t) - SP < -hys \end{cases}$$

Bước 3: Lặp lại bước 2 cho đến hết thời điểm cần mô phỏng.

Bước 4: Xác định biên độ a của tín hiệu sai lệch.

Chọn nửa sau của mảng giá trị đầu ra y (đoạn khi y dao động ổn định quanh giá trị SP).

$$a = (y_{\max} - y_{\min})/2$$

Bước 5: Xác định K_U

$$K_U = \frac{4 \cdot h}{\pi \cdot a} \quad (3.26)$$

Bước 6: Xác định chu kỳ dao động T_U của tín hiệu đầu ra

Chu kỳ dao động của tín hiệu đầu ra bằng với chu kỳ dao động của tín hiệu điều khiển từ relay u .

Xác định thời điểm u lật trạng thái lần thứ nhất t_{start} , bắt đầu thời điểm tính chu kỳ dao động.

Cho qua thời điểm u lật trạng thái lần thứ hai.

Đợi đến thời điểm u lật trạng thái lần thứ ba t_{end} .

$$P_U = t_{\text{end}} - t_{\text{start}}$$

Bước 7: Xác định các tham số bộ điều khiển PID

$$K_P = 0.6K_U, \quad T_I = \frac{T_U}{2}, \quad T_D = \frac{T_U}{8}$$

3.3.3. Lập trình tính toán tham số bộ điều khiển

a. Đối tượng

Hàm truyền đối tượng lò nhiệt có dạng khâu quán tính bậc 1 có trễ như sau

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-L \cdot s}}{(1 + T \cdot s)} \approx \frac{K}{(1 + T \cdot s)(1 + L \cdot s)}$$

b. Chương trình

c. Kết quả mô phỏng

Để đánh giá kết quả của việc sử dụng phương pháp relay-feedback để tự động xác định tham số bộ điều khiển PID ổn định nhiệt độ được lập trình trong matlab và mô phỏng trong matlab simulink.

Trên thực tế một lò nhiệt điện trở được xem như một hộp đen, không biết thông số mà chỉ biết được đáp ứng tự nhiên của ngõ ra khi đưa vào ngõ vào một hàm nấc đơn vị. Ở đây ta mô phỏng trên matlab simulink, nên việc dò tham số bộ điều khiển được hoạt động khi có một đối tượng cụ thể. Do đó các thông số lò nhiệt như thời gian trễ L , thời gian quán tính T , hệ số khuếch đại hệ thống K phải có cụ thể. Tuy nhiên các thông số này không được dùng để tính toán các tham số của bộ điều khiển PID. Với bộ điều khiển PID tự chỉnh cho kết quả ngõ ra có chất lượng tốt, có thể điều khiển được nhiều đối tượng lò nhiệt khác nhau mà không cần biết trước thông số của lò.

Để kiểm nghiệm lại bộ điều khiển PID tự chỉnh cho nhiều đối tượng lò nhiệt khác nhau. Ta cho bộ điều khiển hoạt động trên 3 mô hình đối tượng khác nhau, từ đó đánh giá chất lượng cho bộ điều khiển.

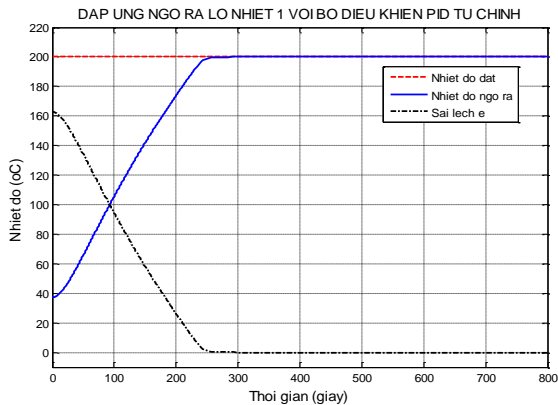
Cho 3 lò nhiệt có thông số cụ thể như bảng sau

Bảng 3.1. Thông số các đối tượng lò nhiệt

Thông số Lò nhiệt	Nhiệt độ đặt SP (°C)	Hệ số khuếch đại K	Thời gian trễ L (s)	Thời gian quá độ T (s)
Lò nhiệt 1	200	400	20	380
Lò nhiệt 2	200	400	200	1200
Lò nhiệt 3	400	800	200	1200

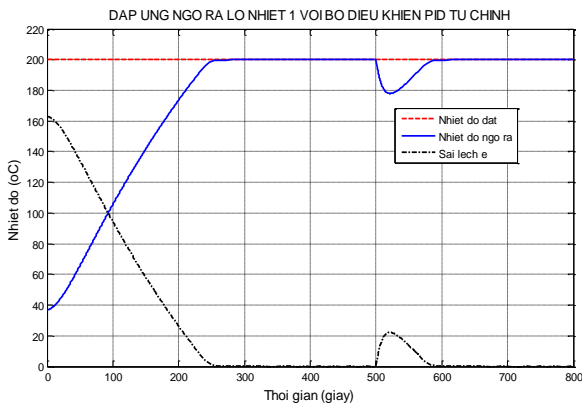
❖ Mô phỏng với bộ điều khiển PID tự chỉnh cho lò nhiệt 1

Kết quả xác định được hệ số khuếch đại tới hạn $K_U = 1.5253$, chu kỳ dao động tới hạn $T_U = 32.25s$. Từ hai kết quả này ta có thể tính được tham số K_p , K_i , K_D của bộ điều khiển PID. Sau đó đưa kết quả vào mô hình matlab simulink để tiến hành mô phỏng. Những công việc trên được thực hiện trong file “pid_autotuning.m”.



Hình 3.10. Đáp ứng ngõ ra hệ thống với bộ điều khiển PID tự chỉnh

Tại thời điểm $t = 500s$ có nhiễu tác động (tương ứng với việc mở cửa lò hoặc đưa sản phẩm vào lò) với nhiệt độ $- 20^{\circ}C$.



Hình 3.11. Đáp ứng ngõ ra hệ thống có nhiễu tại $t=500s$

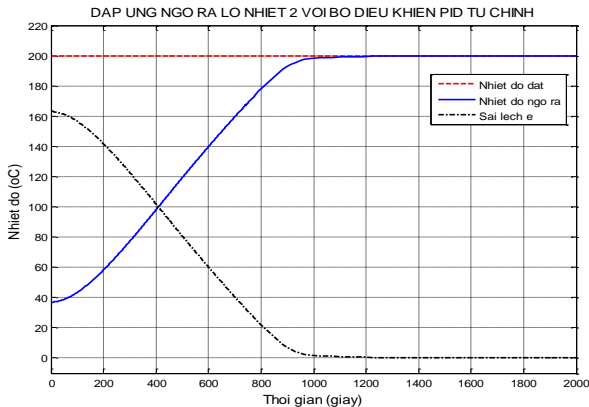
Ta nhận thấy với bộ điều khiển PID tự chỉnh cho thông số lò nhiệt 1 cho đáp ứng ngõ ra chất lượng tốt, thời gian đáp ứng nhanh, khắc phục được độ quá điều chỉnh, không có sai số xác lập, khắc phục được với nhiễu tác động nhanh sau thời gian 80s.

❖ Mô phỏng với bộ điều khiển PID tự chỉnh cho lò nhiệt 2

Kết quả xác định được hệ số khuếch đại tới hạn $K_U = 0.5229$, chu kỳ dao động tới hạn $T_U = 280s$. Từ hai kết quả này ta có thể tính được tham số K_P , K_I , K_D của bộ điều khiển PID. Sau đó đưa kết quả vào mô hình matlab simulink để tiến hành mô phỏng.

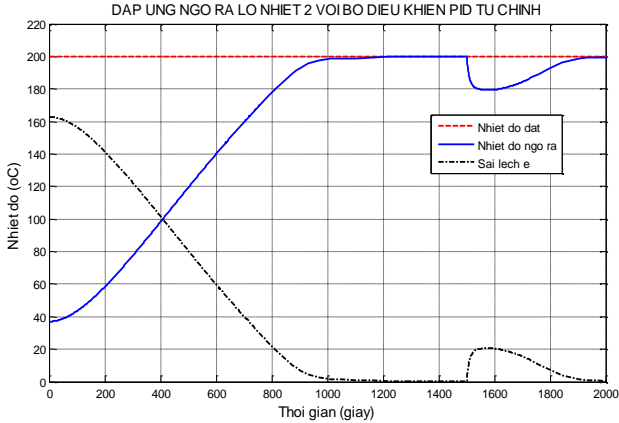
Kết quả ngõ ra của hệ thống với bộ điều khiển PID tự chỉnh được thể hiện như hình 3.13 và có nhiễu tác động được thể hiện như hình 3.14.

Ta nhận thấy với bộ điều khiển PID tự chỉnh điều khiển lò nhiệt 2, cho đáp ứng ngõ ra chất lượng tốt, thời gian đáp ứng nhanh, không xảy ra độ quá điều chỉnh, không có sai số xác lập, khắc phục được với nhiễu tác động nhanh sau thời gian 350s.



Hình 3.13. Đáp ứng ngõ ra hệ thống với bộ điều khiển PID tự chỉnh

Tại thời điểm $t = 1500s$ có nhiễu tác động (tương ứng với việc mở cửa lò hoặc đưa sản phẩm vào lò) với nhiệt độ $- 20^{\circ}C$.

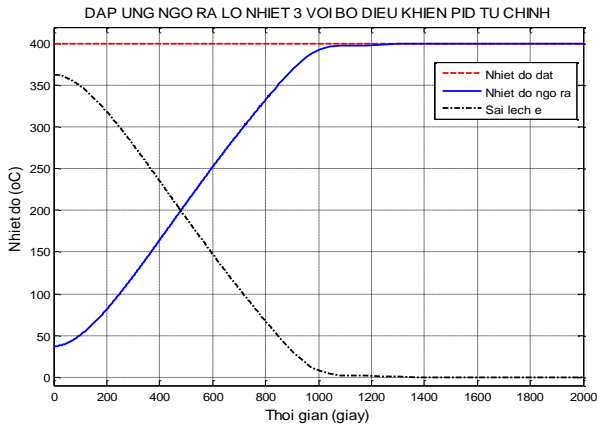


Hình 3.14. Đáp ứng ngõ ra hệ thống có nhiễu tại $t=1500s$

❖ Mô phỏng với bộ điều khiển PID tự chỉnh cho lò nhiệt 3

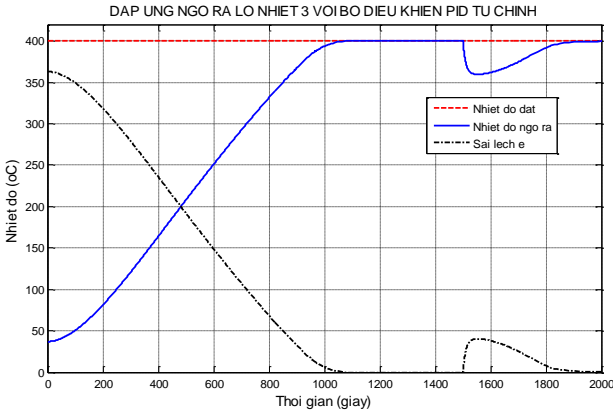
Kết quả xác định được hệ số khuếch đại tới hạn $K_U = 0.2914$, Chu kỳ dao động tới hạn $T_U = 262.98s$. Từ hai kết quả này ta có thể tính được tham số K_P , K_I , K_D của bộ điều khiển PID. Sau đó đưa kết quả vào mô hình matlab simulink để tiến hành mô phỏng.

Kết quả ngõ ra của hệ thống với bộ điều khiển PID tự chỉnh được thể hiện như hình 3.16.



Hình 3.16. Đáp ứng ngõ ra hệ thống với bộ điều khiển PID tự chỉnh

Kết quả ngõ ra có nhiễu tác động tại thời điểm $t=1500s$ được thể hiện như hình 3.17.



Hình 3.17. Đáp ứng ngõ ra hệ thống có nhiễu tại $t=1500s$

Ta nhận thấy với bộ điều khiển PID tự chỉnh điều khiển lò nhiệt 3, cho đáp ứng ngõ ra chất lượng tốt, thời gian đáp ứng nhanh, không xảy ra độ quá điều chỉnh, không có sai số xác lập, đáp ứng nhanh với nhiễu tác động nhanh sau thời gian 350s.

3.4. KẾT LUẬN

Từ những kết quả trên ta thấy với bộ điều khiển PID tự chỉnh kết hợp tracking anti-windup cải biên cho kết quả tốt với hệ thống điều khiển nhiệt độ, khắc phục được độ quá điều chỉnh của bộ điều khiển PID truyền thống, thời gian xác lập nhanh, đáp ứng được với nhiễu tác động.

Ngoài ra bộ điều khiển PID tự chỉnh ổn định nhiệt độ cho phép tự dò tham số của bộ điều khiển một cách tự động mà không cần biết trước thông số lò, khi thay đổi lò nhiệt có thể dò lại thông số của bộ điều khiển PID một cách tự động. Sau thời gian dài thông số của lò nhiệt thay đổi ta cũng có thể dò lại thông số của bộ điều khiển PID một cách tự động với bộ điều khiển này.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

❖ Kết luận

Luận văn đã trình bày các phương pháp điều khiển nhiệt độ truyền thống, mô phỏng đánh giá ưu khuyết điểm của từng từng phương pháp. Để nâng cao chất lượng điều khiển vấn đề bão hòa tích phân xảy ra trong bộ điều khiển PID ổn định nhiệt độ và trình bày các biện pháp chống bão hòa tích phân. Mô phỏng và so sánh đánh giá kết quả giữa bộ điều khiển PID truyền thống với bộ điều khiển PID có các biện pháp chống bão hòa tích phân. Bộ điều khiển PID tracking anti-windup cải biên có khả năng điều chế hoạt động của khâu tích phân tốt hơn trong việc điều khiển nhiệt độ lò nhiệt.

Luận văn đã thiết kế bộ điều khiển PID tự chỉnh ổn định nhiệt độ, sử dụng phương pháp relay-feedback kết hợp giải pháp “anti-windup”. Kết quả mô phỏng cho thấy đáp ứng được chất lượng đặt ra với bộ điều khiển ổn định nhiệt độ của lò nhiệt. Bộ điều khiển PID tự chỉnh này có nhiều ưu điểm so với bộ điều khiển PID truyền thống, ưu điểm nổi bật của bộ điều khiển là điều khiển cho nhiều đối tượng lò nhiệt khác nhau mà chưa biết thông số lò, giúp cho người vận hành không tốn nhiều thời gian để tìm hiểu đối tượng mà vẫn đảm bảo được chất lượng bộ điều khiển, hạn chế được độ quá điều chỉnh (điều này rất quan trọng đối với điều khiển nhiệt độ), thời gian đáp ứng nhanh, không còn sai số xác lập.

Bộ điều khiển PID tự chỉnh dùng phương pháp relay-feedback đơn giản, kết hợp “anti-windup” có thể áp dụng vào điều khiển ổn định nhiệt độ trong thực tế của lò nhiệt. Chương trình trên matlab có thể áp dụng vào vi điều khiển, kết hợp thêm bộ công suất, bộ đo lường để điều khiển nhiệt độ đối tượng thực trong thực tế.

Luận văn trình bày thuật toán điều khiển PID tự chỉnh, ứng

dụng thuật toán viết chương trình trên matlab thực hiện lại việc mô phỏng, đánh giá chất lượng của bộ điều khiển PID tự chỉnh kết hợp “anti-windup” cho nhiều đối tượng lò nhiệt khác nhau mà không biết thông số lò. Kết quả mô phỏng đảm bảo tính ổn định của hệ thống.

Bộ điều khiển PID tự chỉnh kết hợp “anti-windup” có thể ứng dụng điều khiển ổn định nhiệt độ. Chương trình trên matlab có thể áp dụng vào điều khiển nhiệt độ trong thực tế.

❖ Kiến nghị

Đề tài mới chỉ dừng lại ở việc mô phỏng trong matlab simulink. Việc đánh giá chất lượng mới chỉ dựa trên 3 đối tượng lò nhiệt khác nhau.

Trên thực tế trong hệ thống điều khiển nhiệt độ, khâu đo lường từ ngõ ra hệ thống hồi tiếp về thực tế có tỷ lệ và có thời gian trễ, do đó để áp dụng vào đối tượng thực cần phải thêm khâu đo lường.

Hướng phát triển đề tài là đưa chương trình trên matlab vào vi điều khiển kết hợp nghiên cứu khâu đo lường nhiệt độ, phát triển phần công suất để áp dụng bộ điều khiển này trên lò nhiệt thực có công suất vừa và nhỏ.