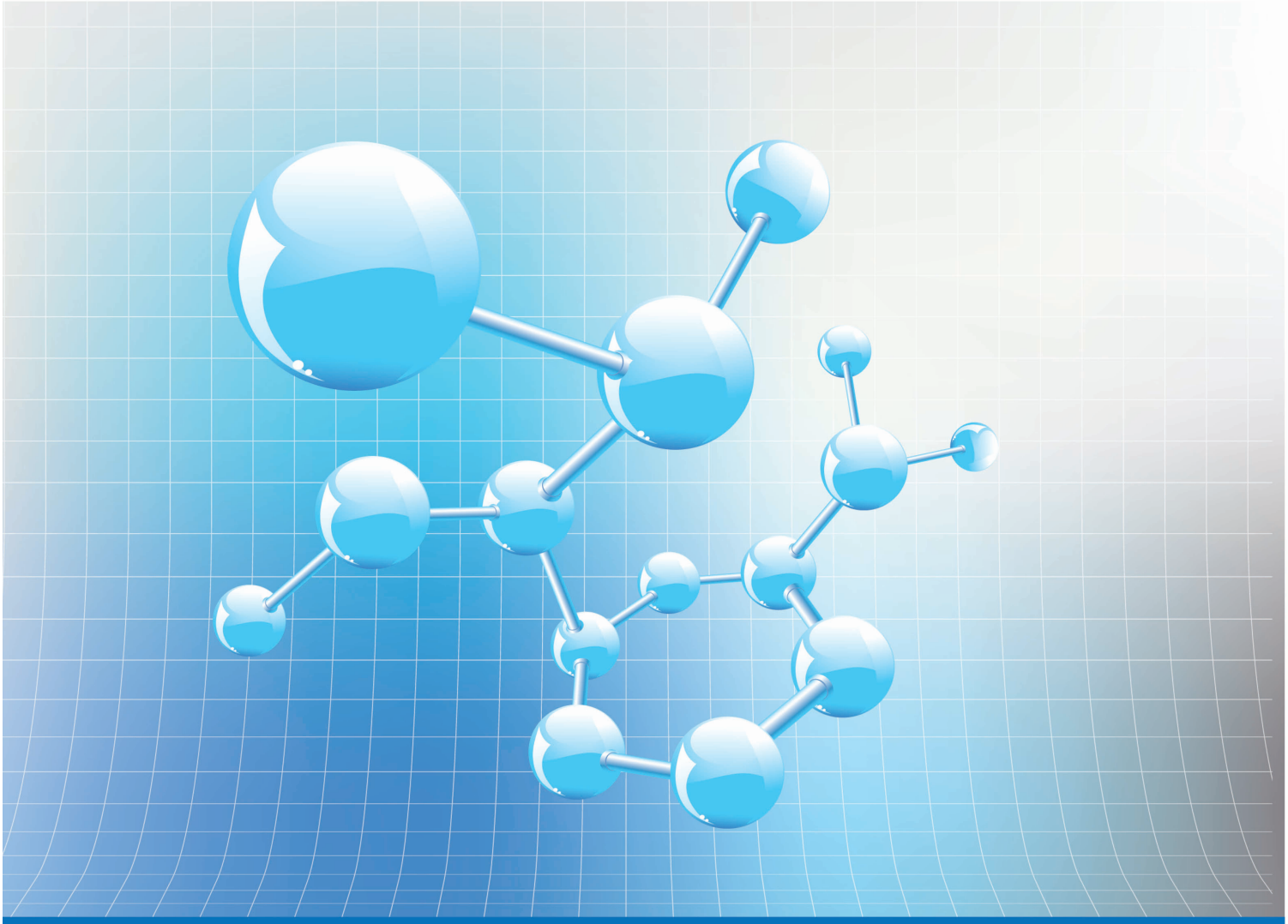
Tạp chí
NGHIÊN CỨU KHOA HỌC
ĐẠI HỌC SAO ĐỎ
SCIENTIFIC JOURNAL - SAO DO UNIVERSITY

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X



Số 4 (92)
2025

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

Tổng Biên tập
TS. Đỗ Văn Đỉnh

Phó Tổng biên tập
TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên

Thư ký Tòa soạn
PGS.TS. Ngô Hữu Mạnh

Hội đồng Biên tập

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên - Chủ tịch Hội đồng
GS.TS. Phạm Thị Ngọc Yến
PGS.TSKH. Trần Hoài Linh
PGS.TS. Nguyễn Văn Liễn
GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn
GS.TSKH. Bành Tiến Long
GS.TS. Nguyễn Đức Toàn
PGS.TS. Lê Thu Quý
GS.TS. Lê Anh Tuấn
GS.TS. Đinh Văn Sơn
PGS.TS. Trương Thị Thủy
PGS.TS. Nguyễn Thị Bất
GS.TS. Đỗ Quang Kháng
PGS.TS. Ngô Sỹ Lương
PGS.TS. Khuất Văn Ninh
GS.TSKH. Phạm Hoàng Hải
PGS.TS. Đoàn Ngọc Hải
PGS.TS. Nguyễn Ngọc Hà
GS.TS. Yu Ming Zhang
GS.TS. Nguyễn Văn Anh

Ban Biên tập
TS. Vũ Văn Đông - Trưởng ban
ThS. Đoàn Thị Thu Hằng - Phó Trưởng ban

Editor-in-Chief
Dr. Do Van Dinh

Vice Editor-in-Chief
Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen

Office Secretary
Assoc.Prof.Dr. Ngo Huu Manh

Editorial Board

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen - Chairman
Prof.Dr. Pham Thi Ngoc Yen
Assoc.Prof.Dr.Sc. Tran Hoai Linh
Assoc.Prof.Dr. Nguyen Van Lien
Prof.Dr.Sc. Than Ngoc Hoan
Prof.Dr.Sc. Banh Tien Long
Prof.Dr. Nguyen Duc Toan
Assoc.Prof.Dr. Le Thu Quy
Prof.Dr. Le Anh Tuan
Prof.Dr. Dinh Van Son
Assoc.Prof.Dr. Truong Thi Thuy
Assoc.Prof.Dr. Nguyen Thi Bat
Prof.Dr. Do Quang Khang
Assoc.Prof.Dr. Ngo Sy Luong
Assoc.Prof.Dr. Khuat Van Ninh
Prof.Dr.Sc. Pham Hoang Hai
Assoc.Prof.Dr. Doan Ngoc Hai
Assoc.Prof.Dr. Nguyen Ngoc Ha
Prof.Dr. Yu Ming Zhang
Prof.Dr. Nguyen Van Anh

Editorial
Dr. Vu Van Dong - Head
MSc. Doan Thi Thu Hang - Deputy Head

Địa chỉ Tòa soạn:
Trường Đại học Sao Đỏ.
Số 76, Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, P. Chu Văn An, TP. Hải Phòng.
Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.
Website: http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.
In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.

TẠP CHÍ
NGHIÊN CỨU KHOA HỌC
ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

TRONG SỐ NÀY

Số 4(92) 2025

LIÊN NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA

Thiết kế bộ điều khiển có tham số thay đổi	5	Nguyễn Thu Hà Trần Tiến Đức Nguyễn Đức Quang
Ứng dụng phương pháp MPC để bù trễ truyền thông	11	Nguyễn Trọng Các
Ảnh hưởng của điện mặt trời áp mái nhà tới điện áp lưới điện phân phối	17	Nguyễn Đình Thắng Nguyễn Việt Đức Nguyễn Đức Thuận Nguyễn Thị Thu Hương Phạm Văn Nam Lê Viết Sơn Nguyễn Văn Hùng Nguyễn Đức Minh Đỗ Văn Đỉnh
Ứng dụng mạng neural tích chập kết hợp với bộ điều khiển khả trình PLC để hỗ trợ thực hiện tránh va tự động cho tàu thủy	26	Đinh Anh Tuấn Đoàn Hữu Khánh Mạc Trung Phúc Nguyễn Phương Tỵ
Nghiên cứu ứng dụng thị giác máy trong tự động hóa hệ thống rót than cho toa xe tại Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV)	32	Lê Văn Thông Phương Mạnh Tuấn Phạm Thị Thu Hương Phạm Văn Nam Đỗ Văn Đỉnh

LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC

Mô phỏng ứng suất, chuyển vị, biến dạng và hệ số an toàn trong lắp ghép mặt bích ống chịu tải trọng phức hợp	39	Vũ Hoa Kỳ
Nghiên cứu ứng dụng ngôn ngữ lập trình Python tối ưu hóa chế độ cắt khi tiện CNC thép không gỉ AL-6XN	45	Mạc Thị Nguyên Nguyễn Thị Thảo Đào Văn Kiên
Phân tích đa vật lý về Điện - Nhiệt - Cơ của Vi kết nối	52	Mạc Văn Giang

TẠP CHÍ
NGHIÊN CỨU KHOA HỌC
ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

TRONG SỐ NÀY

Số 4(92) 2025

LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC

Nghiên cứu tối ưu hóa tấm phẳng hợp kim nhôm 6061-T6 theo hai phương pháp hình dạng và cấu trúc	58	Nguyễn Văn Hinh
Mô phỏng và phân tích ứng suất, biến dạng trên dao phay carbide K10 khi phay mặt bên thép SKD61 theo hai sơ đồ tiếp xúc	65	Mạc Thị Nguyên Mạc Văn Giang

NGÀNH KINH TẾ

Giải pháp thúc đẩy phát triển sản phẩm dịch vụ trong thời kỳ chuyển đổi số ở Việt Nam hiện nay	72	Ngô Thị Luyện
Chi phí logistics và năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp Việt Nam	78	Nguyễn Minh Tuấn
Tiến tới Net Zero -Thực trạng phát triển thị trường Các-bon tại Việt Nam	84	Lương Thị Hoa Nguyễn Thị Thủy
Truyền thông số trong Marketing du lịch địa phương: Trường hợp khu di tích Côn Sơn - Kiếp Bạc, Thành phố Hải Phòng	90	Vũ Thị Hường
Chính sách thuế dưới giác độ cảm nhận của hộ kinh doanh	96	Phạm Thị Hồng Hoa

LIÊN NGÀNH TRIẾT HỌC - XÃ HỘI HỌC - CHÍNH TRỊ HỌC

Ứng dụng chuyển đổi số trong giảng dạy học phần tư tưởng Hồ Chí Minh ở Trường Đại học Sao Đỏ hiện nay	104	Nguyễn Thị Hải Hà
Lý luận năng suất lao động của Mác-Lênin và quan điểm của Đảng Cộng sản Việt Nam trong bối cảnh chuyển đổi số ngày nay	109	Vũ Văn Đông
Tư tưởng Hồ Chí Minh về xây dựng đội ngũ nhà giáo và sự vận dụng của Đảng Cộng sản Việt Nam trong thời kỳ công nghiệp hóa, hiện đại hóa hiện nay	114	Đặng Thị Dung
Tư tưởng Hồ Chí Minh về nhà nước pháp quyền xã hội chủ nghĩa và sự vận dụng của Đảng Cộng sản Việt Nam hiện nay	120	Vũ Văn Đông Trần Thị Hồng Nhung
Phát triển nguồn nhân lực trong kỷ nguyên số thông qua mô hình hợp tác đào tạo giữa nhà trường và doanh nghiệp - Hướng đi mới cho quản lý giáo dục và nâng cao chất lượng lao động	125	Đỗ Thị Thùy

SCIENTIFIC JOURNAL
SAO DO UNIVERSITY

CONTENTS

No 4(92) 2025

TITLE FOR ELECTRICITY - ELECTRONICS - AUTOMATION

Design of a variable parameter controller	5	Nguyen Thu Ha Tran Tien Duc Nguyen Duc Quang
Application of Model predictive control for communication delay compensation	11	Nguyen Trong Cac
Effects of rooftop photovoltaic systems on distribution grid voltage	17	Nguyen Dinh Thang Nguyen Viet Duc Nguyen Duc Thuan Nguyen Thi Thu Huong Pham Van Nam Le Viet Son Nguyen Van Hung Nguyen Duc Minh Do Van Dinh
Application of convolutional neural network (CNN) combined with programmable logic controller (PLC) to support automatic collision avoidance for ships	26	Dinh Anh Tuan Doan Huu Khanh Mac Trung Phuc Nguyen Phuong Ty
A Study on the application of Machine vision in automating coal loading Systems for Railcars at Vietnam National Coal and Mineral Industries Group (TKV)	32	Le Van Thong Phuong Manh Tuan Pham Thị Thu Huong Pham Van Nam Do Van Dinh

TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING

Stress, displacement, strain and safety factor simulation in flange pipe assembly under complex loading	39	Vu Hoa Ky
Python based optimization of cutting parameters in CNC turning of AL-6XN stainless steel	45	Mac Thi Nguyen Nguyen Thi Thao Dao Van Kien
Multiphysics Analysis of Electro - Thermo - Mechanical Interactions in Micro - Interconnects	52	Mac Van Giang

SCIENTIFIC JOURNAL
SAO DO UNIVERSITY

CONTENTS

No 4(92) 2025

TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING

Research on optimizing 6061-T6 aluminum alloy flat plate using two methods shape and structure	58	Nguyen Van Hinh
Simulation and analysis of stress and strain on carbide K10 end mills for SKD61 steel side milling under two contact schemes	65	Mac Thi Nguyen Mac Van Giang

TITLE FOR ECONOMICS

Solutions to promote service products development in the current digital transformation period in Vietnam	72	Ngo Thi Luyen
Logistics costs and competitiveness of Vietnamese enterprises	78	Nguyen Minh Tuan
Toward Net Zero - The current development of the Carbon market in Vietnam	84	Luong Thi Hoa Nguyen Thi Thuy
Digital communication in Local Tourism Marketing: The Case of the Con Son - Kiep Bac Historical Site, Hai Phong City	90	Vu Thi Huong
Tax policy from the perspective of business households	96	Pham Thi Hong Hoa

TITLE FOR PHILOSOPHY - SOCIOLOGY - POLITICAL SCIENCE

The application of digital transformation in teaching the subject of Ho Chi Minh's thought at Sao Do University today	104	Nguyen Thi Hai Ha
The theory of labor productivity of Marx-Lenin and the viewpoint of the Communist Party of Vietnam in the context of today's digital transformation	109	Vu Van Dong
Ho Chi Minh's thoughts on building a team of teachers and its application by the Communist Party of Vietnam in the current period of industrialization and modernization	114	Dang Thi Dung
Ho Chi Minh's thought on the socialist rule of law state and its application by the Communist Party of Vietnam today	120	Vu Van Dong Tran Thi Hong Nhung
Developing human resources in the digital era through a training cooperation model between schools and businesses - A new direction for educational management and improving labor quality	125	Do Thi Thuy

Thiết kế bộ điều khiển có tham số thay đổi

Design of a variable parameter controller

Nguyễn Thu Hà[1*], Trần Tiến Đức[2], Nguyễn Đức Quang[1]

**Tác giả liên hệ: ha.nguyenthu3@hust.edu.vn*

[1]Đại học Bách khoa Hà Nội

[2]Trường Cao đẳng nghề Bách khoa Hà Nội

Ngày nhận bài: 11/3/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 28/9/2025

Ngày chấp nhận đăng: 26/11/2025

Tóm tắt

Lý thuyết điều khiển kinh điển đã đề xuất nhiều phương pháp xác định tham số bộ điều khiển PID (Tỷ lệ - Vi phân - Tích phân) dựa trên mô hình đối tượng như Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, tối ưu độ lớn, tối ưu đối xứng,... Tuy nhiên, việc xây dựng mô hình chính xác cho hệ thống động có tham số biến đổi theo điều kiện làm việc là khó khăn, khiến bộ điều khiển PID với tham số cố định không còn đảm bảo hiệu quả. Bài báo này đề xuất một phương pháp chỉnh định tham số bộ điều khiển tỷ lệ tích phân (PI) bằng giải tích dựa trên tiêu chí sai lệch tối thiểu, giúp bộ điều khiển thích nghi tốt với sự thay đổi của hệ thống. Khi sai lệch lớn, hệ số khuếch đại tỷ lệ được tăng cường để cải thiện tốc độ đáp ứng, trong khi hằng số thời gian tích phân được điều chỉnh để giảm dao động và sai số tĩnh.Thuật toán điều khiển đã được kiểm chứng trên đối tượng lò gió nóng trong phòng thí nghiệm, cho thấy chất lượng hệ thống được cải thiện đáng kể.

Từ khóa: *Bộ điều khiển PI; phương pháp giải tích; lò gió nóng.*

Abstract

Classical control theory provides multiple model-based methodologies for PID (Proportional - Integral - Derivative) parameter identification, such as Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Magnitude Optimum (MO), and Symmetric Optimum (SO). However, accurately modeling a dynamic system with parameters that vary under different operating conditions is challenging, which limits the effectiveness of fixed-parameter PID controllers. This paper proposes an analytical tuning method for PI controllers based on a minimum error criterion, allowing adaptive adjustment to system variations. When the system error is large, the proportional gain is increased to enhance response speed, while the integral time constant is adjusted to minimize overshoot and steady-state error. Simulation results demonstrate that the PI controller maintains good performance despite system parameter variations. The control algorithm has been validated through experiments on a hot air furnace in a laboratory, demonstrating significant improvements in control performance.

Keywords: *PI controller; analytical method; hot air furnace.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bộ điều khiển PID (Proportional - Integral - Derivative) là một trong những phương pháp điều khiển phổ biến nhất trong các hệ thống tự động hóa nhờ cấu trúc đơn giản và hiệu quả trong nhiều ứng dụng công nghiệp [1], [2]. Tuy nhiên, trong các hệ thống có đặc tính phi tuyến, nhiễu lớn hoặc tham số thay đổi theo thời gian, bộ PID với tham số cố định thường không đảm bảo chất lượng điều khiển tối ưu.

Các phương pháp chỉnh định PID cổ điển như Ziegler-Nichols [1] và Cohen-Coon [2] đưa ra quy tắc xác định nhanh thông số dựa trên đặc tính quá độ của hệ thống. Mặc dù đơn giản và dễ áp dụng, các phương pháp này giả định đối tượng tuyến tính và không thay đổi, khiến chất lượng điều khiển giảm rõ rệt trong các hệ thống thực tế có tính phi tuyến hoặc chịu nhiễu.

Các phương pháp chỉnh định PID hiện đại, bao gồm điều khiển mờ, điều khiển thích nghi và tối ưu hóa tiến hóa, đã được chứng minh là có khả năng cải thiện chất lượng điều khiển. Tuy nhiên, các phương pháp này thường đòi hỏi mô hình hệ thống chính xác hoặc cấu trúc phức tạp, gây khó khăn khi áp dụng trong môi trường công nghiệp [3], [4].

Trong nhánh điều khiển thông minh, bộ điều khiển PI mờ tự chỉnh đã được đề xuất, trong đó tham số được điều chỉnh theo trạng thái hệ thống nhờ luật suy

Người phản biện: 1. GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn
2. PGS.TS. Bùi Đăng Thảnh

diễn, mang lại hiệu quả cao đối với các hệ phi tuyến [5]. Một bộ PI mờ thích nghi đã được phát triển, cho phép cải thiện rõ rệt tốc độ đáp ứng [6]. Sự kết hợp giữa logic mờ và thuật toán di truyền cũng đã được áp dụng nhằm tối ưu tham số điều khiển, đạt chất lượng cao nhưng lại yêu cầu cấu trúc phức tạp và tài nguyên phần cứng lớn [7].

Các phương pháp thích nghi dựa trên phản hồi thời gian thực đã được xây dựng, cho phép tham số được cập nhật liên tục để đáp ứng sự biến đổi của hệ thống [8]. Ngoài ra, khả năng điều khiển mờ đã được tích hợp vào PID thích nghi, phù hợp với các hệ thống phi tuyến nhưng vẫn gặp hạn chế về độ phức tạp tính toán [9].

Trong lĩnh vực điều khiển nhiệt tại Việt Nam, các thuật toán PID tự chỉnh đã được phát triển cho lò nhiệt, nhằm giảm sai số và nâng cao độ chính xác [10]. Các bộ PID số cũng đã được thiết kế, tập trung vào việc cải thiện chất lượng điều khiển [11]. Bộ PID tự chỉnh cho lò điện trở đã được triển khai, hướng tới sự đơn giản và khả năng ứng dụng trong môi trường công nghiệp [12].

Tuy nhiên, các phương pháp nói trên, dù hiện đại hay cổ điển, đều là quá đơn giản để đáp ứng yêu cầu thực tế có biến động lớn, hoặc quá phức tạp để triển khai hiệu quả trong môi trường công nghiệp hạn chế về phần cứng, chi phí hoặc thời gian xử lý.

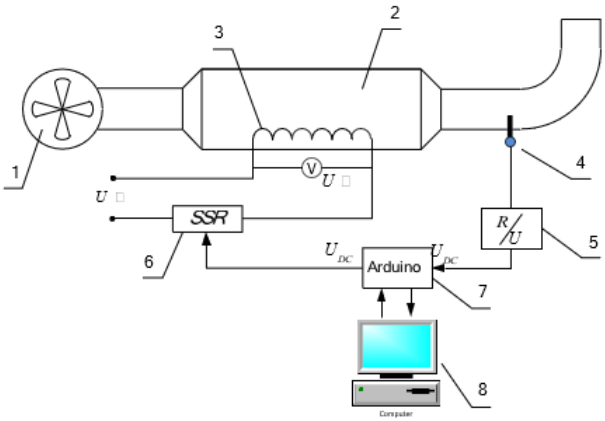
Để khắc phục những nhược điểm đó, bài báo này đề xuất một phương pháp chỉnh định bộ điều khiển PI theo quy luật giải tích đơn giản, không dựa vào mô hình đối tượng hoặc thuật toán tối ưu phức tạp. Thay vào đó, hệ số khuếch đại K_m và hằng số thời gian tích phân T_i được điều chỉnh trực tiếp theo sai lệch $e(t)$: Khi sai lệch lớn, K_m được tăng để cải thiện tốc độ đáp ứng và T_i được điều chỉnh để hạn chế dao động; khi sai lệch nhỏ, K_m giảm nhằm hạn chế quá điều chỉnh, còn T_i được giảm để hệ nhanh chóng đạt trạng thái xác lập.

Điểm khác biệt nổi bật của phương pháp đề xuất là cấu trúc điều khiển đơn giản, dễ cài đặt và triển khai trên các hệ thống nhúng hoặc vi điều khiển phổ thông như Arduino. Phương pháp đã được kiểm chứng qua mô phỏng và thực nghiệm với hệ thống lò gió nóng, cho thấy hiệu quả điều khiển tương đương các phương pháp hiện đại nhưng có chi phí tính toán và thiết kế thấp hơn đáng kể.

2. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN LÒ GIÓ NÓNG

2.1. Cấu tạo của hệ thống

Lò gió nóng được sử dụng để làm khô vật liệu hoặc sản phẩm nhằm đạt được mức độ ẩm yêu cầu. Một mô hình lò gió nóng đã được thiết kế và lắp đặt tại Nhóm Điều khiển tự động, Đại học Bách khoa Hà Nội. Hệ thống bao gồm các thành phần chính, như thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. *Hệ thống điều khiển lò gió nóng*

Các thành phần chính:

1. Quạt
2. Buồng gia nhiệt
3. Dây nhiệt
4. Cảm biến nhiệt độ
5. Mạch chuyển đổi R/U
6. Rơle bán dẫn
7. Bo mạch Arduino
8. Máy tính

Quạt ly tâm cung cấp luồng khí vào buồng gia nhiệt, hoạt động ở 220 V, 2.850 vòng/phút và công suất 2,4 kW. Buồng gia nhiệt được làm từ vật liệu chịu nhiệt, hoạt động ở 220 V, công suất 2 kW, và chứa ba dây nhiệt. Dây nhiệt là dây hợp kim Ni-Cr tạo nhiệt nhờ hiệu ứng Joule. Cảm biến nhiệt điện trở bạch kim PT-100 đo nhiệt độ trong khoảng 0-50°C. Mạch chuyển đổi R/U chuyển đổi tín hiệu điện trở thành tín hiệu điện áp (0-5V). Rơle bán dẫn (SSR) điều khiển công suất cấp cho lò qua Thyristor. Bo mạch Arduino UNO chuyển đổi và truyền tín hiệu điều khiển giữa hệ thống và máy tính. Máy tính chạy MATLAB để điều khiển và giao tiếp với hệ thống thông qua Arduino.

Nguyên lý hoạt động: Không khí lạnh được quạt thổi vào buồng gia nhiệt, nơi nó được làm nóng bởi các dây nhiệt. Cảm biến PT-100 đo nhiệt độ khí nóng và gửi tín hiệu đến máy tính thông qua mạch chuyển đổi R/U và Arduino. Máy tính xử lý dữ liệu và điều chỉnh công suất cấp cho dây nhiệt thông qua SSR, giúp duy trì nhiệt độ khí nóng theo yêu cầu.

2.2. Nhận dạng đối tượng

Việc nhận dạng đối tượng được thực hiện bằng cách sử dụng tín hiệu bước có giá trị cố định là 0,1 để phân tích đặc tính hệ thống tại điểm hoạt động ổn định. Tại thời điểm 1.000 giây, với tín hiệu bước tăng lên 0,2, đầu ra của quá trình được ghi lại và phân tích.

Hàm truyền của đối tượng được xác định bằng cách đánh giá đường đặc tính thu được từ dữ liệu thực nghiệm. Nhiệt độ của lò được đo bằng độ C (°C), trong khi tín hiệu điều khiển đầu vào được tính bằng điện áp (V). Từ đồ thị trên Hình 2 ta sẽ xác định đây là khâu quán tính bậc nhất và các tham số của đối tượng như sau:

Hệ số khuếch đại:

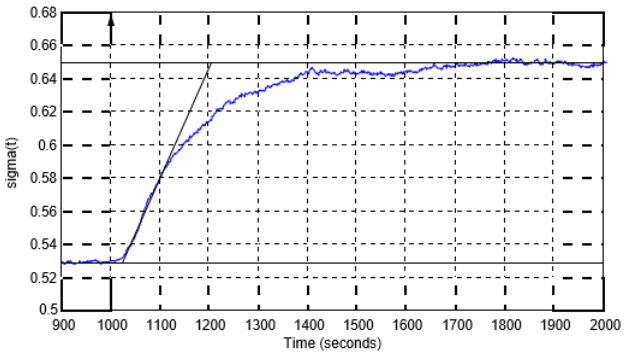
$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta U} = \frac{0.65 - 0.53}{0.2 - 0.1} = 1.2$$

Độ trễ thời gian: L = 20 s

Hằng số thời gian: T = 185 s

Hàm truyền của hệ thống:

$$G(s) = \frac{1.2}{185s + 1} e^{-20s} \quad (1)$$



Hình 2. *Đáp ứng nhiệt độ của lò gió nóng*

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

Nguyên tắc điều chỉnh tham số của bộ điều khiển PI được xây dựng dựa trên sai lệch *e(t)*. Khi sai lệch *e(t)* lớn, cần tác động điều khiển mạnh và nhanh. Do đó, hệ số tỷ lệ K_m được đặt ở giá trị lớn, trong khi hằng số thời gian tích phân T_i cũng lớn để hạn chế ảnh hưởng của thành phần tích phân. Để hạn chế hiện tượng quá điều chỉnh do tác động của thành phần tỷ lệ, tại thời điểm ban đầu, hệ số K_m được đặt cao, nhưng khi hệ thống tiến gần trạng thái xác lập, giá trị này sẽ giảm dần.

Ngược lại, khi sai lệch *e(t)* nhỏ, hệ thống tiệm cận trạng thái xác lập. Khi đó, yếu tố quyết định trạng thái ổn định không phải là thành phần tỷ lệ mà là thành phần tích phân. Do đó, cần tăng tác động tích phân để đảm bảo hệ thống đạt trạng thái xác lập nhanh chóng.

Thông số bộ điều khiển PI được tinh chỉnh theo hai trường hợp:

Trường hợp 1: Sử dụng bộ điều khiển PI với K_m cố định và T_i thay đổi.

Trường hợp 2: Sử dụng bộ điều khiển PI với T_i cố định và K_m thay đổi.

3.1. Chỉnh định thông số *Ti* của bộ điều khiển PI

Việc điều chỉnh hằng số thời gian tích phân T_i được thực hiện dựa trên nguyên tắc khi sai lệch *e(t)* lớn, hệ số K_m quyết định sự phản hồi của hệ thống, do đó T_i cần được đặt lớn để đảm bảo hệ thống nhanh chóng tiến đến trạng thái xác lập. Ngược lại, khi *e(t)* nhỏ, T_i cần giảm đi nhằm giúp hệ thống nhanh chóng đạt giá trị mong muốn mà không tạo ra hiện tượng quá điều chỉnh. Tuy nhiên, T_i không giảm về 0 mà cần duy trì ở một giá trị giới hạn T_{i0}. Giá trị T_{i0} tối ưu là giá trị giúp hệ thống tiến dần đến trạng thái xác lập mà không gây dao động quá mức. Công thức xác định T_i được biểu diễn như sau:

Và giá trị T_i được xác định theo công thức:

$$T_i = \alpha \left| e(t) \right| + T_{i0} \quad (2)$$

Tín hiệu điều khiển được xác định theo công thức:

$$u = K_m e(t) + \frac{K_m}{\alpha \left| e(t) \right| + T_{i0}} \int e(\tau) d\tau \quad (3)$$

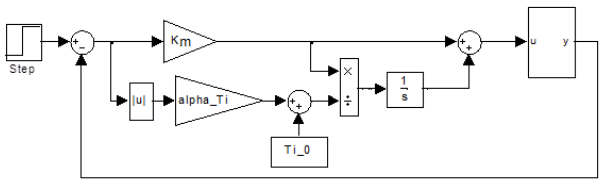
Cấu trúc bộ điều khiển mới được mô tả trên Hình 3.

3.2. Chỉnh định thông số K_m của bộ điều khiển PI

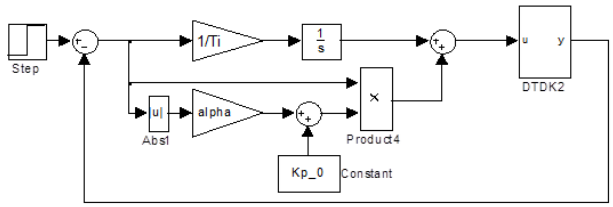
Để rút ngắn thời gian đáp ứng của hệ thống, thành phần tỷ lệ K_m được điều chỉnh theo nguyên tắc: Khi sai lệch *e(t)* lớn, hệ số K_m cần được tăng cao nhằm đảm bảo hệ thống nhanh chóng tiến đến giá trị đặt. Tuy nhiên, khi *e(t)* nhỏ và hệ thống tiến gần đến trạng thái xác lập, K_m cần giảm đi để hạn chế quá điều chỉnh. Km không được giảm về 0 mà phải giảm đến một giá trị giới hạn K_{m0} thích hợp. Giá trị K_{m0} tối ưu là giá trị giúp hệ thống ổn định mà không gây dao động dư thừa. Cấu trúc trên là một dạng cải tiến thành phần tỷ lệ của bộ điều khiển PI: Cấu trúc bộ điều khiển mới được mô tả trong Hình 4.

Tín hiệu điều khiển được tính theo công thức:

$$u = \alpha \left| e(t) \right| + K_{m0} \ .e(t) + \frac{K_m}{T_i} \int e(\tau) d\tau \quad (4)$$



Hình 3. *Cấu trúc bộ điều khiển PI chỉnh định thành phần Ti*



Hình 4. *Cấu trúc bộ điều khiển PI chỉnh định thành phần Km*

4. MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

4.1. Kết quả mô phỏng

4.1.1. Sử dụng bộ PI cố định

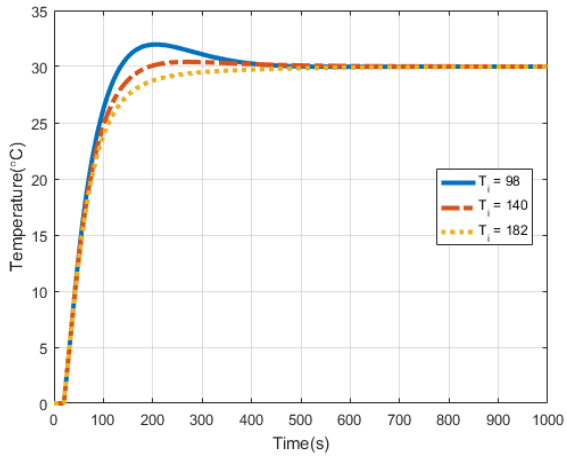
Sử dụng phương pháp phân miền nghiệm số [13], ta xác định được tham số bộ điều khiểm PI là: K_m = 2.25; T_i = 140. Kết quả đáp ứng hệ thống được thể hiện trong Hình 6.

4.1.2. Sử dụng bộ điều khiển PI với Km cố định T_i thay đổi

Trước tiên khảo sát sự ảnh hưởng của hệ số T_{i0} lên chất lượng hệ thống trong 3 trường hợp.

Khi sử dụng giá trị T_{i0} = 0.7×T_i, hệ thống có thời gian đáp ứng nhanh hơn nhưng xuất hiện độ quá điều chỉnh lớn. Điều này phù hợp với nhận định của Astrom & Hägglund [1], trong đó hệ thống PID với T_i thấp có xu hướng đáp ứng nhanh nhưng dễ gây dao động.

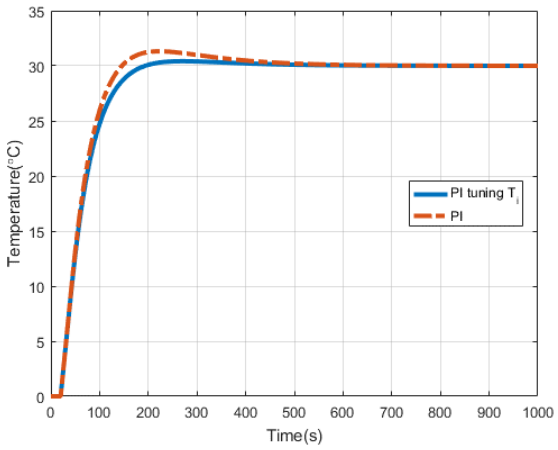
Khi sử dụng T_{i0} = 1.3×T_i, hệ thống đạt được trạng thái ổn định mà không có quá điều chỉnh đáng kể, tuy nhiên thời gian xác lập kéo dài hơn (Hình 5). Đây là sự đánh đổi giữa tốc độ đáp ứng và độ ổn định hệ thống.



Hình 5. *Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển PI chỉnh định thành phần T_{io} khác nhau*

Bằng cách chỉnh định thành phần T_i với hệ số $\alpha = T_i$, giá trị $T_{i0} = T_i$ được lựa chọn và đánh giá thông qua mô phỏng.

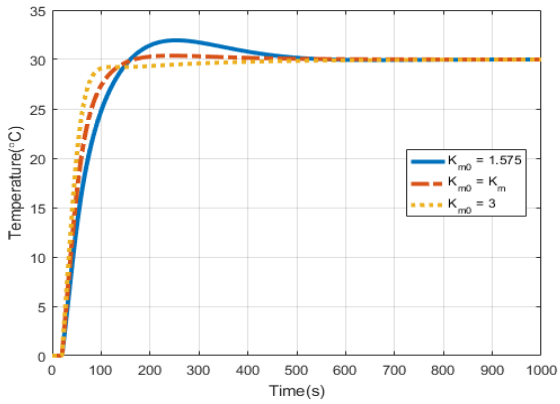
Kết quả điều khiển nhiệt độ của lò gió nóng khi sử dụng bộ điều khiển PI thích nghi với tham số T_i được điều chỉnh động theo quy luật thích nghi được thể hiện trên Hình 6. Quan sát kết quả thu được, ta nhận thấy rằng khi hằng số T_i được thay đổi theo trạng thái hệ thống, độ quá điều chỉnh giảm đáng kể so với phương pháp PID truyền thống.



Hình 6. *Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển PI chỉnh định thành phần Ti*

4.1.3. Sử dụng bộ điều khiển PI với T_i cố định K_m thay đổi

Thay đổi hệ số K_{m0} trong ba trường hợp: K_{m0}= 1.575; K_{m0}= 2.25 và K_{m0} = 3 ta có chất lượng của hệ thống biểu diễn trên Hình 7 khi K_{m0} càng nhỏ thì hệ thống càng dao động, độ quá điều chỉnh lớn. Dựa vào kết quả mô phỏng ta thấy, khi hiệu chỉnh thành phần K_m thì đáp ứng của hệ tăng nhanh hơn khi chưa hiệu chỉnh. Độ quá điều chỉnh của hệ có giảm. Thời gian xác lập của hệ gần như bằng với thời gian xác lập khi sử dụng bộ điều khiển PI kinh điển.



Hình 7. *Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển PI chỉnh định thành phần Km0 khác nhau*

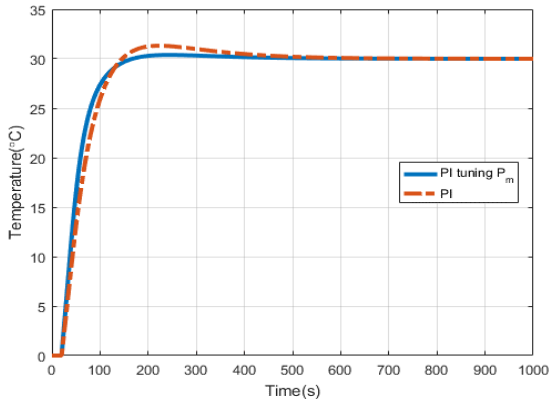
Hình 8 minh họa đáp ứng hệ thống khi thay đổi tham số K_m trong bộ điều khiển PI. Khi đó bộ điều khiển PI chỉnh định thành phần K_m với α=K_m; K_{m0} = K_m ta thu được đường đáp ứng trên Hình 8 khi K_m được điều chỉnh thích nghi:

Ở giai đoạn đầu, khi *e(t)* lớn, K_m cao giúp hệ thống đạt trạng thái mong muốn nhanh hơn, giảm sai số điều khiển.

Khi *e(t)* giảm, việc giảm K_m giúp hệ thống ổn định hơn và hạn chế độ quá điều chỉnh.

So sánh với các nghiên cứu trước như Araki (2005) [4], việc sử dụng hệ số K_m động giúp được điều chỉnh

linh hoạt theo công thức (4). Kết quả mô phỏng cho thấy tốc độ đáp ứng của hệ thống được cải thiện đáng kể, đồng thời giảm hiện tượng quá điều chỉnh (Hình 8).

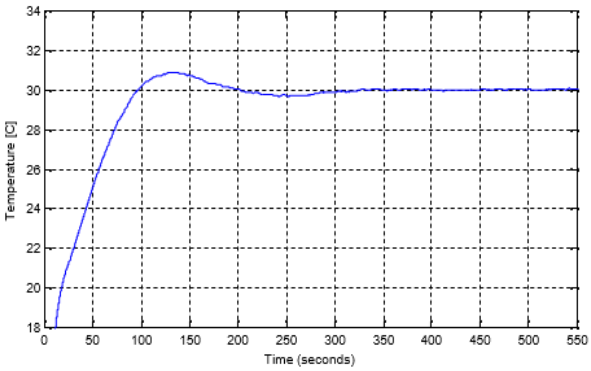


Hình 8. *Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển PI chỉnh định thành phần K_m*

4.2. Kết quả thực nghiệm

4.2.1. Bộ điều khiển PI cố định

Tiến hành khảo sát thực nghiệm với K_m= 2.25 và T_i = 140 giống như phần mô tả lý thuyết, ta được đáp ứng trên Hình 9.

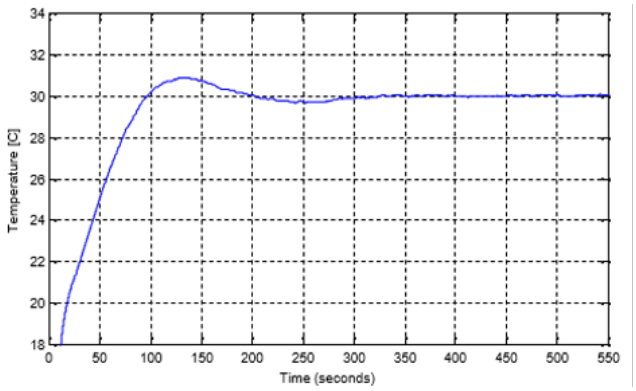


Hình 9. *Đáp ứng của hệ thống khi sử dụng phương pháp giải tích thay đổi Ti*

Hệ thống xác lập sau khoảng thời gian 300 s, độ quá điều chỉnh là 10%. Chất lượng điều khiển của hệ thống khi sử dụng bộ điều khiển PI theo phương pháp phân miền nghiệm số cho kết quả tốt.

4.2.2. Thay đổi hằng số tích phân T_i

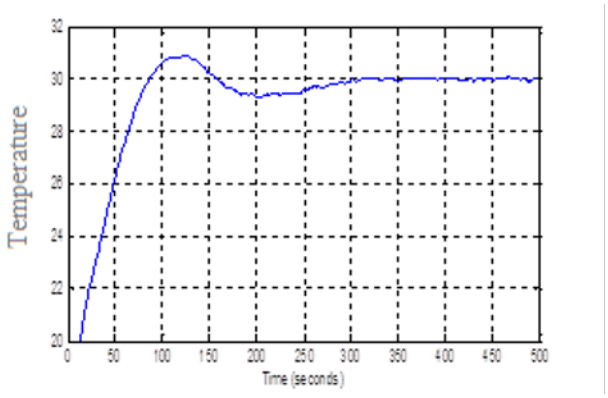
Hệ thống điều khiển nhiệt độ lò gió nóng được thiết lập với thông số: K_m= 2.25; T_{i0} = 90 và α = 140. Kết quả điều khiển được trình bày trong Hình 10. Hệ thống xác lập sau khoảng thời gian 330 s, độ quá điều chỉnh là 1,67%. Chất lượng điều khiển của hệ thống khi sử dụng bộ điều khiển PI thay đổi T_i theo phương pháp giải tích cho kết quả tốt.



Hình 10. *Đáp ứng của hệ thống khi sử dụng phương pháp giải tích thay đổi Ki*

4.2.3. Thay đổi hệ số khuếch đại Km

Hệ thống điều khiển nhiệt độ lò gió nóng được thiết lập với thông số: K_{m0}= 1.2; T_i = 140 và α = 2.25. Kết quả điều khiển được mô tả trên Hình 11.



Hình 11. *Đáp ứng của hệ thống khi sử dụng phương pháp giải tích thay đổi Km*

Hệ thống đạt xác lập sau 300 s với độ quá điều chỉnh 3%. Thời gian đáp ứng nhanh hơn so với khi thay đổi, nhưng vẫn có dao động nhỏ.

So sánh với các phương pháp điều chỉnh PID hiện đại như PID thích nghi sử dụng mạng nơ-ron [5] hoặc thuật toán di truyền [6], phương pháp này cho thấy ưu điểm về tính đơn giản trong thiết kế và khả năng triển khai thực tế, đồng thời vẫn đảm bảo hiệu suất điều khiển tốt.

Kết quả của nghiên cứu trong bài báo này cũng tương đồng với phương pháp đề xuất về thiết kế bộ điều khiển nhiệt độ lò điện trở sử dụng PID tự chỉnh là hiệu chỉnh động tham số K_m giúp cải thiện tốc độ đáp ứng và giảm dao động hệ thống [10].

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một phương pháp chỉnh định tham số bộ điều khiển PI dựa trên giải tích theo sai lệch *e(t)*, giúp bộ điều khiển thích nghi tốt với sự thay đổi của hệ thống. Phương pháp được triển khai trong hai trường hợp: Điều chỉnh hằng số thời gian tích phân

T_i và điều chỉnh hệ số khuếch đại K_m, với kết quả thực nghiệm trên hệ thống lò gió nóng cho thấy khi sử dụng T_i tự chỉnh, hệ thống đạt trạng thái xác lập với độ quá điều chỉnh giảm đáng kể (chỉ còn khoảng 1,67%), đảm bảo đáp ứng mượt và ổn định hơn so với PI cố định. Trong khi đó, khi sử dụng K_m tự chỉnh, thời gian đáp ứng được rút ngắn, hệ nhanh đạt giá trị đặt với độ quá điều chỉnh thấp (khoảng 3%). Như vậy, T_i tự chỉnh tối ưu về ổn định và chất lượng tín hiệu, còn K_m tự chỉnh tối ưu về tốc độ đáp ứng. Tùy yêu cầu thực tế, người thiết kế có thể lựa chọn hoặc kết hợp cả hai để đạt hiệu quả điều khiển tối ưu.

So với các phương pháp điều khiển PID truyền thống cũng như các kỹ thuật PID thích nghi dựa trên mô hình phức tạp như mạng nơ-ron hoặc thuật toán tiến hóa, phương pháp được đề xuất thể hiện những ưu điểm nổi bật khi không phụ thuộc vào mô hình đối tượng, nhờ đó phù hợp với các hệ thống khó nhận dạng hoặc có đặc tính thay đổi liên tục; cấu trúc điều khiển đơn giản, dễ lập trình và có thể triển khai trực tiếp trên các nền tảng vi điều khiển phổ biến như Arduino; khả năng phản ứng thời gian thực thông qua cơ chế điều chỉnh trực tiếp dựa trên sai lệch, giúp hệ thống đáp ứng nhanh trước biến đổi đầu vào hoặc tác động nhiễu; đồng thời đã được kiểm chứng qua thực nghiệm, cho thấy tính ứng dụng cao trong công nghiệp và giáo dục. Kết quả nghiên cứu không chỉ khẳng định giá trị thực tiễn của phương pháp mà còn mở ra hướng phát triển các bộ điều khiển PID tự điều chỉnh dựa trên giải tích, cũng như tạo tiền đề cho việc tích hợp các kỹ thuật tiên tiến như học máy, điều khiển mờ hoặc điều khiển dự báo trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Ziegler, J. G., & Nichols, N. B. (1942), *Optimum settings for automatic controllers*, Transactions of the ASME, 64, 759-768.

[2]. Cohen, G. H., & Coon, G. A. (1953), *Theoretical consideration of retarded control*, *Trans, ASME*, 75, 827-834.

[3]. Åström, K. J., & Hägglund, T. (2006), *Advanced PID Control*, ISA.

[4]. O'Dwyer, A. (2003), *Handbook of PI and PID controller tuning rules*, Imperial College Press.

[5]. Mudi, R. K., & Pal, N. R. (1999), *A robust self-tuning scheme for PI- and PD-type fuzzy controllers*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 7(1), 2-16.

[6]. Tan, K. K., Zhao, S., & Lee, T. H. (2004), *Development of a self-tuning fuzzy PI controller*, Control Engineering Practice, 12(2), 183-193.

[7]. Wang, L. X., Mendel, J. M., & Liang, Q. (2010), *Combining fuzzy logic and genetic algorithms for PI controller optimization*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 30(2), 229-238.

[8]. Åström, K. J., & Wittenmark, B. (1995), *Adaptive Control*, Addison-Wesley.

[9]. Li, X., Zhou, J., & Li, Y. (2012), *Adaptive fuzzy PID control for nonlinear uncertain systems*, *Journal of Control Theory and Applications*, 10(1), 78-85.

[10]. Phùng Tiến Duy et al., (2012), *Thiết kế bộ điều khiển tự chỉnh định tham số PID cho lò nhiệt*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ.

[11]. Đặng Thế Nhân, Nguyễn Phong Lưu, Nguyễn Văn Đông Hải (2019), *Điều khiển nhiệt độ lò nhiệt ứng dụng giải thuật PID số*, Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp.

[12]. Hoàng Duy Khánh (2015), *Thiết kế bộ điều khiển nhiệt độ lò điện trở sử dụng PID tự chỉnh*, Luận văn Thạc sĩ, Đại học Đà Nẵng.

[13]. Nguyễn Văn Hòa (2006), *Cơ sở Lý thuyết điều khiển tự động*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Thu Ha[1*], Tran Tien Duc[2], Nguyen Duc Quang[1]

**Corresponding author: ha.nguyenthu3@hust.edu.vn*

[1]Hanoi University of Science and Technology;

[2]Hanoi Vocational College of Technology.

THỂ LỆ GỬI BÀI
TẠP CHÍ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC, TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ (P. ISSN 1859-4190, E. ISSN 2815-553X), thường xuyên công bố kết quả, công trình nghiên cứu khoa học và công nghệ của các nhà khoa học, cán bộ, giảng viên, nghiên cứu sinh, học viên cao học, sinh viên ở trong và ngoài nước.

1. Tạp chí xuất bản 01 số/quý bằng hai ngôn ngữ tiếng Việt và tiếng Anh. Tạp chí nhận đăng các bài báo khoa học thuộc các lĩnh vực: Điện - Điện tử - Tự động hóa; Cơ khí - Động lực; Kinh tế; Triết học - Xã hội học - Chính trị học; Các lĩnh vực khác gồm: Công nghệ thông tin; Hóa học - Công nghệ thực phẩm; Ngôn ngữ học; Toán học; Vật lý; Văn hóa - Nghệ thuật - Thể dục thể thao...
2. Bài nhận đăng là những công trình nghiên cứu khoa học chưa công bố trong bất kỳ ấn phẩm khoa học nào.
3. Tòa soạn chỉ nhận bài báo gửi online trên website http://tapchikhcn.saodo.edu.vn. Bài báo gửi về toà soạn dưới dạng file điện tử (*.doc *.docx và *.pdf); cuối bài báo, tác giả ghi rõ thông tin địa chỉ liên hệ, số điện thoại, email và cập nhật thông tin trên website. Bài báo phải được trình bày đúng định dạng, rõ ràng; Trường hợp bài báo phải chỉnh sửa theo thể lệ hoặc theo yêu cầu của Phản biện thì tác giả sẽ cập nhật trên website. Người phản biện sẽ do tòa soạn mời. Tòa soạn không gửi lại bài nếu không được đăng.
4. Các công trình thuộc đề tài nghiên cứu có Cơ quan quản lý cần kèm theo giấy phép cho công bố của cơ quan (Tên đề tài, mã số, tên chủ nhiệm đề tài, cấp quản lý,...).
5. Tên bài báo trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 14, in đậm, căn giữa.
6. Tên tác giả (không ghi học hàm, học vị), font Arial, cỡ chữ 10, in đậm, căn lề phải; cơ quan công tác của các tác giả, font Arial, cỡ chữ 9, in nghiêng, căn lề phải.
7. Chữ "Tóm tắt" in đậm, font Arial, cỡ chữ 10; Nội dung tóm tắt của bài báo không quá 10 dòng, trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 10, in thường.
8. Chữ "Từ khóa" in đậm, nghiêng, font Arial, cỡ chữ 10; Có từ 03÷05 từ khóa, font Arial, cỡ chữ 10, in nghiêng, ngăn cách nhau bởi dấu chấm phẩy, cuối cùng là dấu chấm.
9. Nội dung bài báo viết bằng tiếng Việt hoặc tiếng Anh; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Việt: Tiêu đề tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Tóm tắt tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Từ khóa tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Anh: Tiêu đề tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Tóm tắt tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Từ khóa tiếng Anh trước, tiếng Việt sau.
10. Bài báo được đánh máy trên khổ giấy A4 (21 × 29,7cm) có độ dài không quá 8 trang, font Arial, cỡ chữ 10, giãn dòng At least 12pt, Before 3pt, After 3pt; căn lề trên 2.5cm, dưới 2.5cm, trái 3cm, phải 2cm; hình vẽ phải rõ ràng, đủ nét và được định dạng dưới dạng file ảnh (*.jpg); Phương trình, công thức phải soạn thảo bằng Mathtype hoặc Equation; Phần nội dung bài báo được chia thành 02 cột, khoảng cách cột là 1cm; Trong trường hợp hình vẽ, hình ảnh có kích thước lớn, bảng biểu có độ rộng lớn hoặc công thức, phương trình dài thì cho phép trình bày dưới dạng 01 cột.
11. Tài liệu tham khảo được sắp xếp theo thứ tự tài liệu được trích dẫn trong bài báo.

    - Nếu là sách/luận án: Tên tác giả (năm), Tên sách/luận án/luận văn, Nhà xuất bản/Trường/Viện, lần xuất bản/tái bản.

    - Nếu là bài báo/báo cáo khoa học: Tên tác giả (năm), Tên bài báo/báo cáo, Tạp chí/Hội nghị/Hội thảo, Tập/Kỷ yếu, số, trang.

    - Nếu là trang web: Phải trích dẫn đầy đủ tên website và đường link, ngày cập nhật.
12. Định dạng mẫu bài báo tham khảo tại địa chỉ http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/news/detail/198/format_paper

    Bài báo sau khi xuất bản sẽ được công bố trên http://tapchikhcn.saodo.edu.vn.

THÔNG TIN LIÊN HỆ:

Ban Biên tập Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ

Phòng 203, Tầng 2, Nhà B1, Trường Đại học Sao Đỏ.

Địa chỉ: Số 76, Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, P. Chu Văn An, TP. Hải Phòng.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: http://tapchikhcn.saodo.edu.vn

Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn

BỘ CÔNG THƯƠNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Địa chỉ:
- **Số 1:** Số 76, đường Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.
- **Số 2:** Số 72, đường Nguyễn Thái Học, quốc lộ 37, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.
- **Điện thoại:** (0220) 3882 269 **Fax:** (0220) 3882 921 **Website:** http://saodo.edu.vn **Email:** info@saodo.edu.vn

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

Số 4 (92)
2025

Địa chỉ Tòa soạn:
Trường Đại học Sao Đỏ
Số 76, đường Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.
Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.
Website: http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.
In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.