



TẠP CHÍ

ISSN 2185-6145

KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUI

TẬP 01-SỐ 04

12/2023

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY QUI

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP QUẢNG NINH – QUANG NINH UNIVERSITY OF INDUSTRY



CHÀO MỪNG 65 NĂM NGÀY THÀNH LẬP
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP QUẢNG NINH
25/11/1958-25/11/2023



MỤC LỤC

TỔNG BIÊN TẬP

TS. Bùi Thanh Nhu

PHÓ TỔNG BIÊN TẬP

TS. Hoàng Hùng Thắng

ỦY VIÊN BAN BIÊN TẬP

TS. Giang Quốc Khánh

TS. Phạm Đức Thang

ThS. Hà Thị Ngọc Mai

ThS. Cao Hải An

ThS. Đặng Đình Đức

Nguyễn Thị Mai Hương

TÒA SOẠN

Trường Đại học Công
nghiệp Quảng Ninh.

Phường Yên Thọ, Thị xã
Đông Triều, tỉnh Quảng Ninh

Điện thoại: 0203.3871.092

Email: nckh@qui.edu.vn

Website: <https://jstqui.vn>

Giấy phép xuất bản:

Số 606/GP-BTTTT của Bộ
Thông tin và Truyền thông,
ngày 29 tháng 12 năm 2022

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ MỎ

- * Nghiên cứu đề xuất điều kiện tính toán và áp dụng phương án bố trí đường lò dọc vỉa dưới trụ bảo vệ khi khai thác các vỉa than gần nhau
Vũ Đức Quyết
Vũ Ngọc Thuần 6
- * Nghiên cứu phát triển phần mềm tự động thiết kế hộ chiếu khoan nổ mìn trong autocad cho đường hầm
Nguyễn Ngọc Minh
Nguyễn Văn Đức
Hò Trung Sỹ
Nguyễn Mạnh Tường 14

KINH TẾ

- * Áp dụng mô hình ARDL để xác định mối quan hệ giữa FDI, tiến trình công nghiệp hóa và tăng trưởng kinh tế của tỉnh Quảng Ninh
Nguyễn Thị Mơ
Lu Shi Chang 22
- * Xây dựng định mức năng suất và tiêu hao vật tư cho thiết bị khai thác và tuyển quặng tại tổ hợp dự án bô-xit Tân Rai và Nhân Cơ - TKV
Đặng Thị Thu Giang 30

ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA

- * Mô hình động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu với hệ điều khiển relay trên phần mềm Matlab - Simulink
Phạm Anh Mai
Trần Thanh Tuyền
Nguyễn Thị Phúc 40
- * Phân tích và thiết kế bộ điều khiển hệ thống phân loại sản phẩm ứng dụng Logic mờ
Nguyễn Tiến Phúc
Hoàng Thị Minh Hồng 49
- * Nghiên cứu giải pháp nâng cao chất lượng điều khiển trực tiếp công suất chỉnh lưu tích cực trong hệ thống truyền động điện điều khiển trực tiếp momen
Nguyễn Thị Mến 56

MỤC LỤC

NỘI DUNG CHUYÊN ĐỀ CỦA TẠP CHÍ

- Khoa học về trái đất và mỏ;
- Kỹ thuật môi trường;
- Điện tử-tự động hóa;
- Tiết kiệm năng lượng-Cơ khí;
- Công nghệ thông tin;
- Khoa học tự nhiên;
- Khoa học kinh tế;
- Chính trị, xã hội.

TẦN SUẤT XUẤT BẢN

Tạp chí điện tử Khoa học và Công nghệ QUI được xuất bản với phiên bản điện tử, định kỳ với 4 số báo trong 1 năm (vào các tháng 3, 6, 9 và 12)

Thiết kế trang bìa 1:

TS. Giang Quốc Khánh

Ảnh bìa 1: Các tân thạc sĩ chụp ảnh lưu niệm tại Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh.

(Ảnh: ĐHCNQN)

* Tìm hiểu một số máy điện đặc biệt mới có xu hướng phát triển hiện nay trên thế giới
Vũ Hữu Quảng
Trần Thanh Tuyên
Ngô Văn Hà 64

QUẢN LÝ GIÁO DỤC

* Hợp tác quốc tế của Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh: Bối cảnh, thực trạng và giải pháp thúc đẩy phát triển
Giang Quốc Khánh
Vũ Thị Duyên 76

* Thực trạng và giải pháp khắc phục vấn đề thụ động trong học tập của sinh viên Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh
Nguyễn Thị Hải Ninh 84

* Nghiên cứu mô hình blended learning trong dạy học toán cao cấp tại Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh
Phạm Ngọc Hải 92

* Nghiên cứu giảng dạy vật lí đại cương có hướng dẫn theo module: Phát triển năng lực tự học cho sinh viên
Lê Thị Thanh Hoa
Nguyễn Thị Như Hoa 101

* Một số giải pháp nâng cao chất lượng hoạt động ngoại khóa môn học giáo dục quốc phòng và an ninh cho sinh viên Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh
Đoàn Quang Hậu
Đương Khắc Mạnh 113

CHÍNH TRỊ, XÃ HỘI

* Đấu tranh, phản bác các quan điểm sai trái, thù địch trên không gian mạng: Ý thức, trách nhiệm của cán bộ, giảng viên và sinh viên
Trần Quốc Hưng
Trương Thị Khánh Ly 121

CONTENTS

EDITOR-IN-CHIEF

Ph.D. Bui Thanh Nhu

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Ph.D. Hoang Hung Thang

EDITORIAL BOARD

Ph.D. Giang Quoc Khanh

Ph.D. Pham Đức Thang

M.A. Ha Thi Ngoc Mai

M.A. Cao Hai An

M.E. Dang Dinh Duc

Nguyen Thi Mai Huong

EDITORIAL OFFICE

Quang Ninh University of
 Industry, Yen Tho Ward, Dong
 Trieu Town, Quang Ninh
 Province

Phone: 0203.3871.092

Email: nckh@qui.edu.vn

Website: <https://jstqui.vn>

License:

№ 606/GP-BTTTT of the
 Ministry of Information and
 Communications, December
 29, 2022

SCIENCE OF EARTH AND MINES

- * Research to propose calculation and application in different location options for longitudinal level under protective pillar when excavating closed coal seams
Vu Duc Quyet
Vu Ngoc Thuan 6
- * Study on developing an automatic software to design tunnel blasting passport in autocad
Nguyen Ngoc Minh
Nguyen Van Đức
Ho Trung Sy
Nguyen Manh Tuong 14

ECONOMICS

- * Applying the ardl model to determine the relationship between fdi, industrialization process and economic growth of Quang Ninh province
Nguyen Thi Mo
Lu Shi Chang 22
- * Building productivity norms and material consumption for mining and ore beneficiation equipment at the Tan Rai and Nhan Co bauxite project complex - TKV
Dang Thi Thu Giang 30

ELECTRONICS-AUTOMATION

- * Permanent magnet synchronous motor model with relay control system on Matlab - Simulink
Pham Anh Mai
Tran Thanh Tuyen
Nguyen Thi Phuc 40
- * Analysis and design of a classification product system control application Fuzzy Logic
Nguyen Tien Phuc
Hoang Thi Minh Hong 49
- * Researching solutions to improve the quality of direct power control for active rectification in electric drive systems using direct torque control
Nguyen Thi Men 56

CONTENTS

THEMATIC CONTENT OF THE JOURNAL

- Science of earth and mines;
- Environmental engineering;
- Electrical engineering, Electronics-automation;
- Energy saving-mechanical;
- Information technology;
- Basic science;
- Economics;
- Political and social Science.

PUBLICATION FREQUENCY

QUI Journal of Science and Technology is published with an electronic version, periodically with 4 issues in 1 year (in March, June, September and December).

Cover photo 1:

Ph.D. Giang Quoc Khanh

Cover photo 1: New masters take souvenir photos at the Quang Ninh University of Industry.

(Source: QUI)

- * The overview of new special electrical machines that are currently developing in the world
**Vũ Hữu Quang
 Trần Thanh Tuyền
 Ngô Văn Hà** 64

EDUCATION MANAGEMENT

- * International cooperation of Quang Ninh University of Industry: Context, current situation and solutions to promote development
**Giang Quoc Khanh
 Vũ Thị Duyên** 76

- * Current situation and solutions to overcoming the passivity in learning of students of Quang Ninh University of Industry
Nguyễn Thị Hải Ninh 84

- * Research on Blended learning model in teaching advanced mathematics at Quang Ninh University of Industry
Phạm Ngọc Hải 92

- * Research on teaching general physics with guided modules: Developing self-study capacity for students
**Le Thi Thanh Hoa
 Nguyễn Thị Như Hoa** 101

- * Solution for improving the quality of extracurricular activities in national defense and security education for students at Quang Ninh University of Industry
**Doan Quang Hau
 Duong Khắc Mạnh** 113

POLITICAL AND SOCIAL SCIENCE

- * Fighting and refuting wrong and hostile views in cyberspace: Awareness and responsibility of officers, lecturers and students
**Trần Quốc Hưng
 Trương Thị Khanh Ly** 121



MÔ HÌNH ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU VỚI HỆ ĐIỀU KHIỂN RELAY TRÊN PHẦN MỀM MATLAB - SIMULINK

Phạm Anh Mai^{1,*}, Trần Thanh Tuyền², Nguyễn Thị Phúc¹

¹Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

²Trường Đại học Trung Nam, Hồ Nam, Trung Quốc

* Email: phamanhmai@qui.edu.vn

TÓM TẮT

Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM) là một trong những động cơ được quan tâm nhất hiện nay trong lĩnh vực điều khiển servo công nghiệp, đặc biệt là trong các ứng dụng có độ chính xác cao. Ưu điểm nổi bật của động cơ PMSM là hiệu suất động cơ cao, hệ số công suất cao và tốc độ đầu ra không phụ thuộc vào điện áp. Do đó, việc nghiên cứu một cấu trúc điều khiển đơn giản cho động cơ PMSM có thể giảm chi phí sản xuất một cách hiệu quả. Nhóm tác giả sử dụng điều khiển Relay đơn giản làm thuật toán điều khiển động cơ PMSM. Điều khiển Relay giúp đầu ra của bộ điều khiển ổn định tăng tốc độ điều chỉnh và hạn chế nhiễu nội tại không phụ thuộc thông số động cơ. Bài báo này trình bày xây dựng hệ thống điều khiển Relay cho động cơ PMSM và mô phỏng kết quả trên phần mềm Matlab/Simulink. Kết quả mô phỏng cho thấy đáp ứng tốc độ và momen của hệ thống trong cả thời gian liên tục và thời gian rời rạc đều đạt hiệu suất tốt.

Từ khóa: Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu, điều khiển động cơ, điều khiển Relay, mô hình hoá.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cùng với sự phát triển của vật liệu từ chế tạo nam châm vĩnh cửu (NCVC) [1] và công nghệ điều khiển, với những ưu điểm của động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM) [2] như: tỷ số mô-men xoắn/quán tính cao, mật độ công suất cao, hiệu suất cao, đáng tin cậy và dễ bảo trì, được sử dụng rộng rãi trong máy CNC công cụ, robot công nghiệp, v.v. [3]. Vì vậy, việc thiết lập mô hình mô phỏng động cơ PMSM, hệ thống điều khiển của động cơ PMSM có ý nghĩa rất lớn trong việc kiểm chứng nhiều thuật toán điều khiển và tối ưu hóa toàn bộ hệ thống điều khiển.

Trong nội dung bài báo, nhóm tác giả dựa trên việc phân tích mô hình toán học của động cơ PMSM, sử dụng tư duy mô đun, với khả năng mô phỏng linh hoạt của Matlab/Simulink, các thuật toán điều khiển dòng trễ xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống điều khiển PMSM. Thông qua việc mô phỏng một động cơ cụ thể, nhóm tác giả phân tích nhiều dạng sóng mô phỏng ở các điều kiện làm việc khác nhau. Từ kết quả của mô hình

đánh giá tính đúng đắn với lý thuyết điều khiển động cơ PMSM đã biết từ đó xây dựng các bài toán phức tạp hơn.

2. CƠ SỞ NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình toán học động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu

Khi phân tích và mô phỏng động cơ PMSM, chúng ta cần đưa ra một số giả thiết để mô hình hoá lý tưởng động cơ:

- Bảo hoà của lõi thép trong động cơ không đáng kể;
- Bỏ qua tổn hao dòng điện xoáy phụ cơ hoặc tổn thất phụ trong lõi thép.
- Các thông số của động cơ PMSM không đổi trong quá trình nghiên cứu;
- Động cơ có dây quấn ba pha đối xứng.

Dựa trên các giả thiết trên, các phương trình điện áp, mô men trục d-q của stato của động cơ PMSM trong hệ quy chiếu quay đồng bộ, ta có phương trình điện áp stato:



$$\begin{cases} u_q = R_s i_q + \omega_e \Psi_d + \frac{d(\Psi_q)}{dt} \\ u_d = R_s i_d - \omega_e \Psi_q + \frac{d(\Psi_d)}{dt} \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: Ψ_q , Ψ_d lần lượt là từ thông móc vòng stato dọc trục và ngang trục. ω_e là tốc độ góc điện roto. R_s là điện trở của stato, i_d , i_q lần lượt là dòng điện dọc trục và ngang trục của phần ứng.

Phương trình từ thông stato:

$$\begin{cases} \Psi_q = L_q i_q \\ \Psi_d = L_d i_d + \Psi_m \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó: L_d , L_q tương ứng là điện cảm dây quấn phần ứng dọc trục và ngang trục. Ψ_m là từ thông móc vòng stato do NCVC sinh ra.

Từ các phương trình trên ta đưa ra được hệ phương trình tính toán dòng điện trên roto [4]:

$$\begin{cases} \frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L_d} (u_d + L_q \omega_e i_q - R_s i_d) \\ \frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_q} (u_q - R_s i_q - L_d \omega_e i_d - \Psi_m \omega_e) \end{cases} \quad (3)$$

Phương trình xác định mô men điện từ của động cơ PMSM:

$$T_e = \frac{3}{2} p [\psi_f i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (4)$$

Trong đó: p là số đôi cực của roto.

Phương trình cân bằng mô men của động cơ:

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{J} (T_e - B\omega_m - T_L) \quad (5)$$

Trong đó: T_L là mô men cản, J là mô men quán tính của roto, ω_m là tốc độ góc cơ roto, trong đó thì $\omega_e = p \omega_m$.

Trong nghiên cứu, nhóm tác giả sử dụng động cơ PMSM có NCVC gắn bề mặt do đó độ tự cảm ngang trục và dọc trục trong hệ trục tọa độ dq bằng nhau, $L_d = L_q = L$. Như vậy trong phương trình (4), thành phần mô men từ trở không tồn tại. Khi đó mô men điện từ động cơ tỉ lệ thuận với dòng điện ngang trục i_q .

2.2. Bộ điều khiển Relay cho động cơ PMSM

2.2.1. Điều khiển động cơ PMSM

Công nghệ điều khiển véc tơ [5] dựa trên nguyên lý dòng điện phần ứng động cơ và dòng điện kích từ làm việc vuông góc với nhau, giữa chúng không có sự ràng buộc nên có thể được điều khiển độc lập, dựa trên lý thuyết biến đổi hệ tọa độ, điều khiển biên độ và hướng của dòng điện stato động cơ trong hệ trục tọa độ đồng bộ dq thông qua việc giải các thành phần ngang trục và dọc trục giúp giải quyết bài toán động cơ xoay chiều (AC) tương tự như bài toán động cơ một chiều (DC). Điều khiển véc tơ có ý nghĩa nghiên cứu rất lớn đối với điều khiển động cơ, đưa công nghệ điều khiển động cơ bước sang một kỷ nguyên phát triển mới. Các nhà nghiên cứu đã đưa điều khiển vectơ vào động cơ PMSM ba pha, nhận thấy rằng do động cơ đồng bộ không có hiện tượng trượt nên việc thực hiện điều khiển vectơ của PMSM ba pha sẽ thuận tiện hơn. Đối với công nghệ điều khiển véc tơ PMSM ba pha thường bao gồm ba phần chính: vòng điều khiển tốc độ, vòng điều khiển dòng điện và thuật toán điều khiển động cơ PMSM. Trong đó, chức năng của vòng điều khiển tốc độ là điều khiển tốc độ của động cơ sao cho nó có thể vừa điều chỉnh tốc độ vừa ổn định tốc độ; còn chức năng của vòng điều khiển dòng điện là tăng tốc quá trình điều chỉnh động của hệ thống sao cho dòng điện stato của động cơ có thể xấp xỉ tốt hơn vectơ dòng điện đã đặt trước. Đối với hệ thống điều khiển được cấp nguồn bằng bộ biến tần nguồn điện áp, việc điều khiển vòng dòng điện có thể được chia đơn giản thành điều khiển dòng điện trong hệ tọa độ tĩnh và điều khiển dòng điện trong hệ tọa độ quay đồng bộ. Hiện nay, các bộ điều khiển Relay và điều khiển dòng điện PI sử dụng phổ biến trong các bộ điều khiển dòng điện động cơ PMSM. Nhóm tác giả sẽ giới thiệu ngắn gọn nguyên lý làm việc cơ bản cùng phương pháp mô hình hóa mô phỏng điều khiển Relay cho động cơ PMSM.

2.2.2. Nguyên lý cơ bản của bộ điều khiển Relay

Trong các hệ điều khiển nghịch lưu nguồn điện áp, điều khiển relay hay còn gọi là điều khiển dòng điện trễ cung cấp một phương pháp điều khiển đầu ra dòng điện nhất thời. Ý tưởng cơ bản là so sánh tín hiệu dòng điện tham chiếu với tín

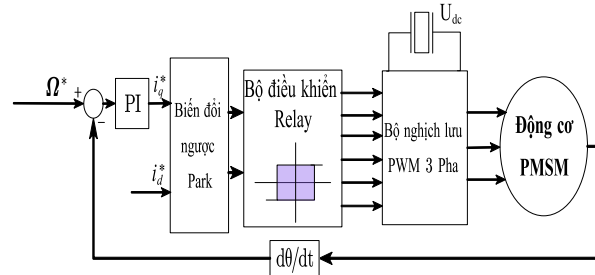


hiệu dòng điện đầu ra thực tế được phát hiện của bộ nghịch lưu. Nếu giá trị dòng điện thực tế lớn hơn giá trị đã cho thì trạng thái chuyển mạch của bộ nghịch lưu sẽ được thay đổi để giảm nó và ngược lại. Bằng cách này, dòng điện thực tế thay đổi theo hình răng cưa xung quanh dạng sóng dòng điện nhất định và độ lệch được giới hạn trong một phạm vi nhất định. Vì vậy, hệ thống nghịch lưu sử dụng điều khiển dòng điện trễ (relay) bao gồm một vòng điều khiển tốc độ và một vòng kín dòng điện sử dụng điều khiển relay sẽ tăng tốc độ điều chỉnh động triệt tiêu nhiễu loạn nội vòng, và phương pháp điều khiển dòng điện này rất đơn giản, không phụ thuộc vào thông số động cơ và có độ bền tốt.

Nhược điểm của bộ điều khiển Relay là: tần số chuyển mạch của biến tần thay đổi theo các điều kiện hoạt động khác nhau của động cơ, phạm vi thay đổi rất lớn, hoạt động không đều, dạng sóng dòng điện đầu ra có xung lớn và những thay đổi này sẽ gây ra nhiễu. Mặc dù những thiếu sót trên có thể được khắc phục bằng cách đưa ra liên kết khóa tần số hoặc chuyển sang phương pháp triển khai kỹ thuật số loại chuyển mạch đồng bộ, nhưng việc triển khai tương đối phức tạp. Trên thực tế, do sự kết nối giữa ba pha, giá trị gợn sóng của dòng điện có thể đạt gấp đôi kích thước của vòng trễ.

Trong nội dung bài báo, nhóm tác giả đưa ra mô hình điều khiển relay cho động cơ PMSM như hình 1. Để hiểu rõ nguyên lý của bộ điều khiển relay, ta lấy pha A làm ví dụ. Khi có sự chênh lệch tức thời giữa dòng điện phản hồi i_a và dòng điện tham chiếu cho trước, sai số này đạt đến giá trị giới hạn trên của vòng trễ theo điều kiện $i_{abc}^* - i_{abc} \geq \varepsilon/2$ (ε là chiều rộng của vòng trễ). Khi chuyển mạch pha trên pha A ngắt và chuyển mạch nhánh dưới pha A được mở ra, điện áp pha A của động cơ lúc này là $-u_a$, dòng điện i_a giảm; ngược lại, khi đó sự chênh lệch tức thời giảm xuống $i_{abc}^* - i_{abc} \leq \varepsilon/2$, chuyển mạch nhánh trên pha A mở ra, và chuyển mạch nhánh dưới pha A đóng lại, lúc này điện áp động cơ là $+u_a$, dòng điện i_a tăng lên, bằng nguyên lý tương tự với các pha B, C và chuyển mạch tuần tự xen kẽ phía trên và phía dưới tương ứng của các pha đó,

sao cho thỏa mãn điều kiện $i_{abc}^* - i_{abc} \leq \varepsilon/2$ như ở pha A, sao cho dòng điện i_a bám theo i_a^* (mục đích là kiểm soát độ sai lệch trong phạm vi trễ theo lý thuyết).



Hình 1. Sơ đồ khối điều khiển Relay của động cơ PMSM 3 pha

3. PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ MÔ PHÒNG

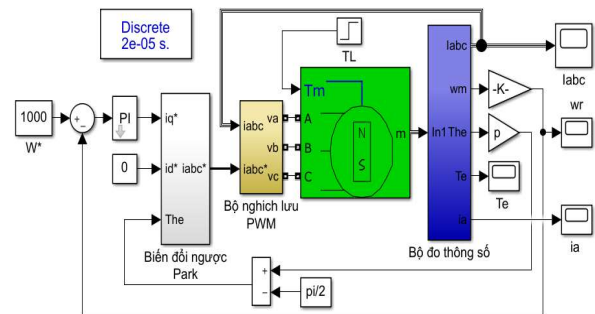
3.1. Thiết lập mô hình mô phỏng

Mô hình mô phỏng thuật toán điều khiển Relay động cơ PMSM trên phần mềm MATLAB/Simulink [6], các thông số động cơ trong mô phỏng được thiết lập như sau [7].

Bảng 1. Thông số mô phỏng hệ thống điều khiển và động cơ PMSM

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Điện trở stato R_s	2,875	Ω
Điện cảm dọc trục L_d	8,5	mH
Điện cảm ngang trục L_q	8,5	mH
Số đôi cực p	4	
Từ thông của NCVC ψ_f	0,175	Wb
Điện áp một chiều U_{dc}	311	VDC
Tần số cắt PWM f_{pwm}	10	kHz
Mô men quán tính J	0,008	Kg.m ²
Hệ số giảm chấn B	0	Ns/m
Chu kỳ trích mẫu T_s	20	μs

Dưới đây nhóm tác giả xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống điều khiển của động cơ PMSM với các phương trình có thông số đã tính toán trên.



Hình 2. Mô hình điều khiển Relay của động cơ PMSM

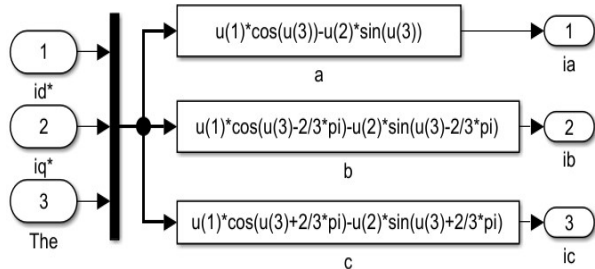


Trong đó, ta có các khối mô hình mô phỏng như biến đổi ngược Park (hình 3) và bộ nghịch lưu PWM (hình 4).

Biến đổi ngược Park [8] với dòng điện trên hệ trục tọa độ idq sang dòng điện 3 pha với phương trình dưới đây:

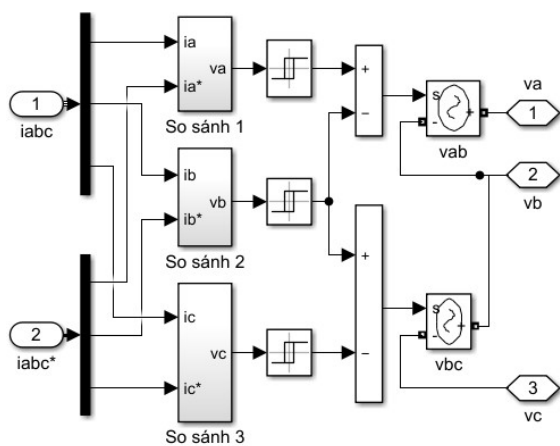
$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \cos(\theta - 2\pi/3) & -\sin(\theta - 2\pi/3) \\ \cos(\theta + 2\pi/3) & -\sin(\theta + 2\pi/3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (6)$$

Trong đó i_a, i_b, i_c lần lượt là dòng điện 3 pha cấp cho dây quấn stato.



Hình 3. Mô hình khối biến đổi ngược Park

Đối với mô hình bộ nghịch lưu PWM ta dựa vào lý thuyết đã mô tả phần 2.2 để đưa ra thuật toán như hình 4.



Hình 4. Mô hình điều khiển bộ nghịch lưu 3 pha PWM của động cơ PMSM

Ngoài ra, điểm chuyển mạch của điều khiển trễ (Relay) là $[0,05 - 0,05]$ và đầu ra là $[150 - 150]$. Các thông số của bộ điều chỉnh PI vòng tốc độ được đặt thành $K_p = 0,1, K_i = 1,66$.

3.2. Đánh giá kết quả mô phỏng

Để kiểm tra tính đúng đắn của bộ điều khiển trễ được thiết kế, các điều kiện mô phỏng được thiết lập các tham số của bộ điều khiển trễ được như trên.

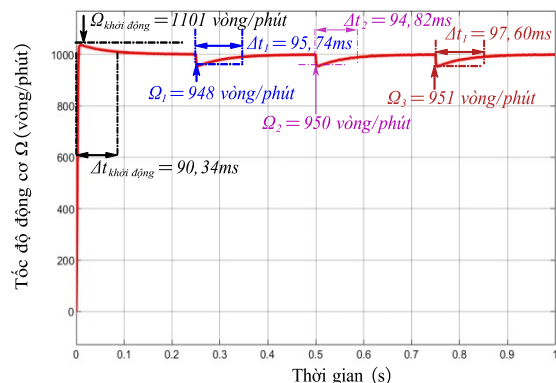
3.2.1. Trường hợp động cơ PMSM chạy các tải T_L khác nhau với tốc độ Ω_m không đổi

Trong trường hợp này ta mô phỏng động cơ từ khi khởi động đến tốc độ $\Omega_m = 1000$ vòng/phút với mô men tải TL thay đổi như bảng 2:

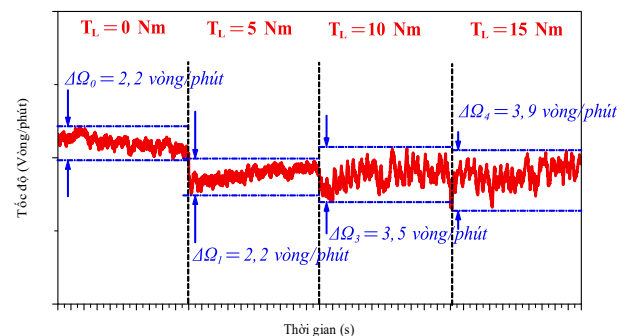
Bảng 2. Bảng thay đổi tải theo thời gian khi mô phỏng

Thời gian đặt t(s)	Mô men tải T_L (Nm)
0,00	0,0
0,25	5,0
0,50	10,0
0,75	15,0

Dưới đây là các kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink với sự thay đổi phụ tải theo thời gian với tốc độ không đổi $\Omega_m = 1000$ vòng/phút (hình 5, 6).



(a) Tốc độ động cơ từ 0s đến 1s

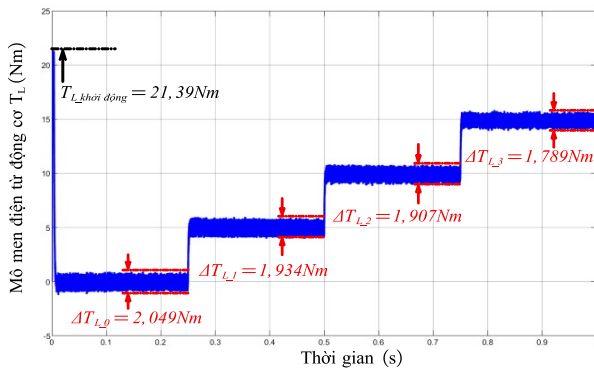


(b) Độ dao động tốc độ ở các mức tải T_L khác nhau khi ổn định với tốc độ $\Omega_m = 1000$ vòng/phút

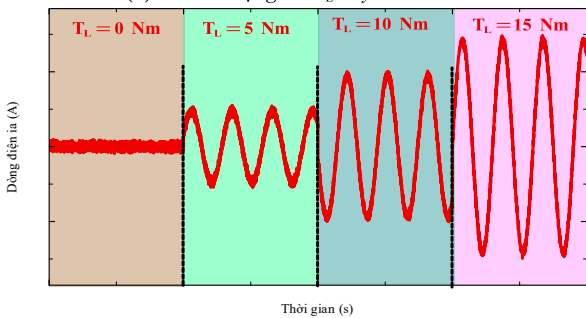
Hình 5. Kết quả mô phỏng tốc độ động cơ PMSM chạy tải thay đổi với tốc độ không đổi 1000 vòng/phút



Trong hình 5a, động cơ PMSM cho ta thấy đặc tính tốc độ động cơ theo thời gian từ khi khởi động đến ổn định ở chế độ không tải, tốc độ khởi động lớn nhất là 1101 vòng/phút (lớn hơn 10% so với tốc độ tham chiếu) và thời gian khởi động là 90,34 ms. Chu kỳ thay đổi tải là 0,25ms ta thấy thời gian dao động các lần đều tương đương nhau với giá trị thời gian là 95,74ms, 94,82ms và 97,60ms tương ứng với TL là 5Nm, 10Nm và 15Nm. Trong đó tốc độ biến động giảm xuống cũng tương đương nhau với mức tương ứng là 948 vòng/phút (sai số 5,2%), 950 vòng/phút (sai số 5,0%) và 951 vòng/phút (sai số 4,9%). Điều này cho thấy sự ổn định của động cơ PMSM khi sử dụng bộ điều khiển Relay trong mô hình thay đổi tải với tốc độ không đổi.



(a) Mô men động cơ T_L thay đổi từ 0s đến 1s



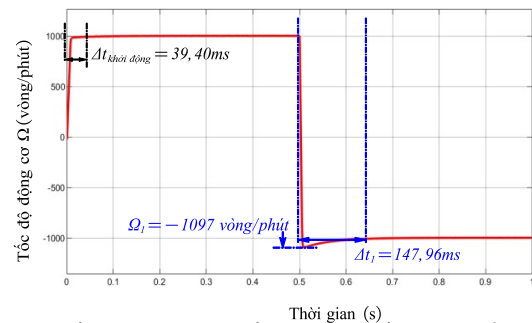
(b) Đồ thị dòng điện pha A ở các mức tải T_L khác nhau với tốc độ $\Omega_m = 1000$ vòng/phút

Hình 6. Kết quả mô phỏng mô men T_L và dạng sóng dòng điện pha A của động cơ PMSM chạy tải thay đổi với tốc độ không đổi 1000 vòng/phút

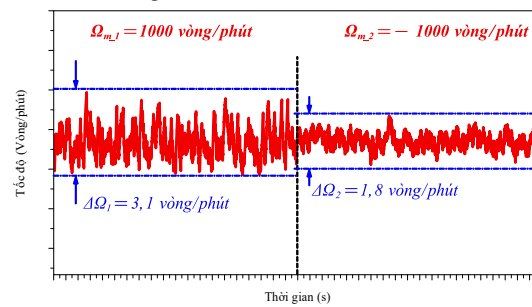
Trong hình 5b cho thấy độ dao động của tốc độ ở chế độ ổn định trong mỗi trường hợp tải khác nhau. Từ kết quả có thể thấy trường hợp tải nhỏ thì độ dao động thấp, không tải đến 5Nm thì độ dao động tốc độ nhỏ là 2,2 vòng/phút, khi tải tăng dần thì độ dao động tốc độ càng tăng với T_L

= 10Nm thì độ dao động là 3,5 vòng/phút và với $T_L = 15$ Nm thì độ dao động là 3,9 vòng/phút. Điều này cho thấy hệ thống đạt độ ổn định nhất với mô men tải ở trong khoảng từ 0 - 5Nm và nếu tăng tải thì độ dao động tốc độ khi làm việc sẽ tăng lên giảm độ tin cậy của hệ thống.

Trong hình 6a, ta thấy mô men khi khởi động có giá trị rất lớn là 21,39Nm đây là 1 xung lực rất lớn, sẽ ảnh hưởng đến phần cơ khí của động cơ PMSM, tuy nhiên khi ổn định ta thấy được độ dao động mô men của động cơ PMSM tương ứng gần như nhau với các giá trị 2,049Nm, 1,934Nm, 1,907Nm và 1,789Nm. Ngoài ra, hình 6b mô tả đồ thị dòng điện pha A của động cơ PMSM. Ta thấy tải thấp thì đặc tính không hình sin và khi mô men tăng thì cũng cải thiện được dạng sin của dòng điện pha A. Tuy nhiên do trong nội dung nghiên cứu hạn chế nên nhóm tác giả chưa đánh giá sâu về nội dung này.



(a) Tốc độ động cơ từ 0s đến 1s có đảo chiều tại thời điểm 0,5s



(b) Độ dao động tốc độ ở tải $T_L = 10$ Nm khi ổn định với tốc độ $\Omega_{m1} = 1000$ vòng/phút và $\Omega_{m2} = -1000$ vòng/phút

Hình 7. Kết quả mô phỏng tốc độ động cơ PMSM chạy đảo chiều với tải không đổi $T_L = 10$ Nm và tốc độ đảo chiều là 1000 vòng/phút

3.2.2. Trường hợp động cơ PMSM chạy có tải $T_L=10$ Nm và đảo chiều tốc độ Ω_m

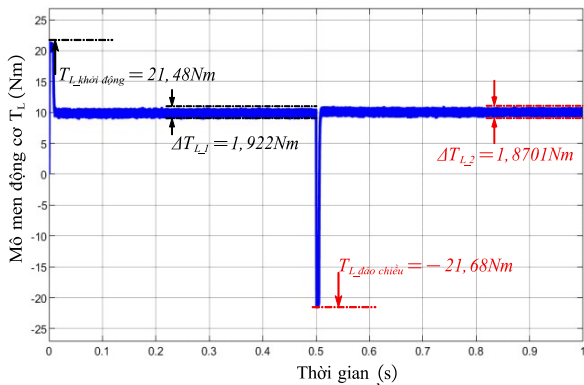
Trong trường hợp này ta mô phỏng động cơ từ khi khởi động đến tốc độ $\Omega_m = 1000$ vòng/phút với mô men tải $T_L = 10$ Nm sau đó tại thời điểm



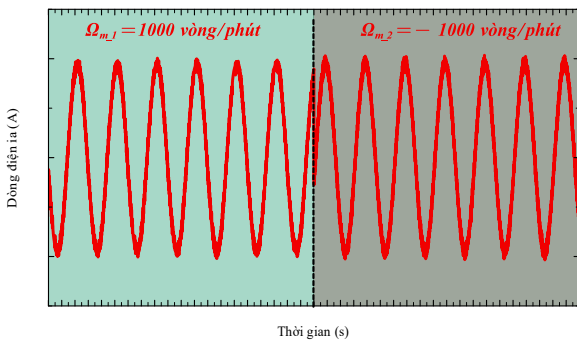
0,5s, ta đảo chiều tốc độ động cơ với mô men tải không đổi. Kết quả mô phỏng như hình 7-8.

Trong hình 7a, cho thấy thời gian khởi động khi có tải $T_L = 10\text{Nm}$ của động cơ PMSM thì thời gian khởi động chỉ là 39,40ms ngắn hơn so với thời gian khởi động khi không tải ở hình 6a, đồng thời tốc độ quá độ không có so với khi không tải là 1100 vòng/phút. Khi đảo chiều thì thời gian đảo chiều gần gấp 3,76 lần so với thời gian khởi động là 147,96ms và tốc độ quá độ cũng cao hơn khi đạt 1097 vòng/phút.

Độ dao động tốc độ ở hình 7b cho ta thấy chênh lệch khá lớn giữa tốc độ quay thuận và tốc độ quay ngược tương ứng là 3,1 vòng/phút với chiều thuận và 1,8 vòng/phút với chiều quay ngược. Điều này cho thấy sự ổn định của động cơ PMSM với bộ điều khiển Relay ở chiều nghịch tốt hơn khi quay thuận.



(a) Mô men động cơ T_L có đảo chiều tại thời gian 0,5s



(b) Đồ thị dòng điện pha a ở mức tải T_L không đổi với tốc độ $\Omega_m = 1000$ vòng/phút và $\Omega_m = -1000$ vòng/phút

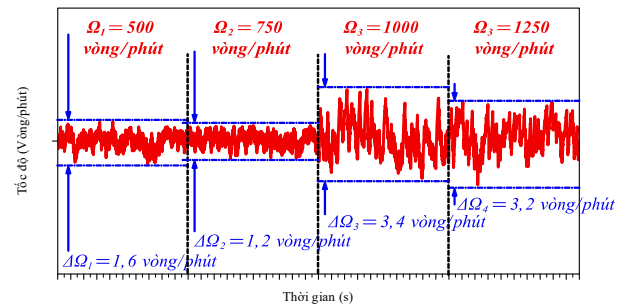
Hình 8. Kết quả mô phỏng mô men và dạng sóng dòng điện pha A của động cơ PMSM chạy đảo chiều với tải không đổi $T_L = 10\text{Nm}$ và tốc độ đảo chiều là 1000 vòng/phút

Trong hình 8a, cho thấy mô men khởi động và đảo chiều có biên độ dao động lớn tương tự như ở hình 6a tương ứng là 21,48Nm và 21,68Nm. Đây là nhược điểm chưa khắc phục

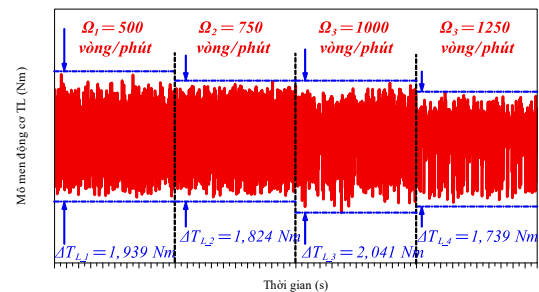
được của mô hình. Ngoài ra thì có thể thấy giá trị mô men trung bình của chiều thuận lớn hơn 1 chút so với chiều ngược lại nhưng độ dao động của mô men chiều thuận lại lớn hơn so với chiều ngược tương ứng là 1,922Nm và 1,870Nm. Điều này khẳng định lại độ ổn định của hệ thống khi làm việc ở chế độ nghịch. Hình 8b, kết quả cho thấy đồ thị dòng điện đầu ra của động cơ tương ứng với chiều thuận và chiều nghịch. Đồ thị dòng điện pha A ở cả hai chiều quay đều có dạng hình sin.

3.2.3. Trường hợp động cơ PMSM chạy có tải T_L không đổi với tốc độ Ω_m khác nhau

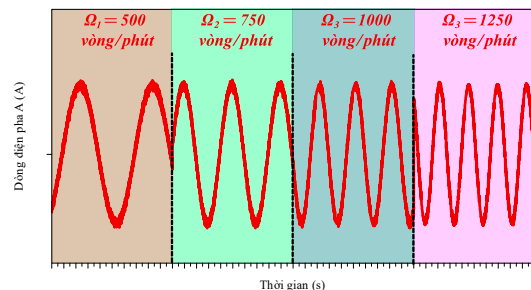
Dưới đây là các kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink với tốc độ khác nhau: 500 vòng/phút, 750 vòng/phút, 1000 vòng/phút, 1250 vòng/phút và mô men tải không đổi $T_L = 10\text{Nm}$ (hình 9).



(a) Độ dao động tốc độ ở các mức tốc độ Ω_m khác nhau khi ổn định với mô men tải $T_L = 10\text{ Nm}$



(b) Độ dao động mô men T_L ở các mức tốc độ Ω_m khác nhau khi ổn định với mô men tải $T_L = 10\text{ Nm}$



(c) Đồ thị dòng điện pha A ở các mức tốc độ Ω_m khác nhau khi ổn định với mô men tải $T_L = 10\text{ Nm}$

Hình 9. Kết quả mô phỏng các thông số động cơ PMSM chạy tốc độ khác nhau với tải không đổi $T_L = 10\text{Nm}$



Trong hình 9a, nhóm tác giả chỉ ra kết quả mô phỏng của động cơ PMSM với các tốc độ khác nhau và mô men tải không đổi. Đối với hình 9a có thể thấy độ dao động của tốc độ động cơ khi ở các tốc độ khác nhau với tải $T_L = 10\text{Nm}$ tương ứng 1,6 vòng/phút (sai số với tốc độ tham chiếu là 0,32%), 1,2 vòng/phút (sai số với tốc độ tham chiếu là 0,16%), 3,4 vòng/phút (sai số với tốc độ tham chiếu là 0,34%) và 3,2 vòng/phút (sai số với tốc độ tham chiếu là 0,256%). Ở đây có thể thấy tốc độ động cơ của hệ thống điều khiển động cơ PMSM với bộ điều khiển trễ sẽ tối ưu với độ dao động tốc độ thấp. Trong hình 9b, ta thấy độ dao động của dòng điện i_q với các mức tốc độ khác nhau, ta thấy khi tốc độ thấp thì độ dao động của mô men càng cao còn khi tốc độ cao thì độ dao động của mô men càng nhỏ. Điều này sẽ ảnh hưởng đến mô men đầu ra của động cơ PMSM. Còn hình 9c cho ta thấy được đặc tính dòng điện pha A của động cơ PMSM và cả bốn trường hợp đều có dạng hình sin.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nội dung bài báo đã trình bày mô hình toán học của động cơ PMSM trên hệ trục tọa độ dq, đưa ra phương pháp và thiết kế điều khiển Relay. Từ đó đưa ra mô hình mô phỏng hệ thống điều khiển động cơ PMSM với bộ điều khiển Relay. Từ các kết quả mô phỏng với đánh giá có thể thấy bộ điều khiển Relay được thiết kế có hiệu quả tốt có khả năng chống nhiễu và đáp ứng cho một hệ điều khiển động cơ PMSM thực tế.

Ứng dụng của bộ điều khiển Relay cho hệ thống điều khiển động cơ PMSM giúp nâng cao chất lượng điều khiển của hệ thống. Tuy nhiên, loại bộ điều chỉnh này có một số nhược điểm trong đó có thể thấy được dao động của mô men điện từ khi ổn định cũng như khi khởi động và đảo chiều lớn, đây là do ảnh hưởng một phần của sóng hài trong hệ thống. Nhóm tác giả tiếp tục nghiên cứu sâu hơn nhằm cải thiện đặc tính tốt hơn, hạn chế được sóng hài trong hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lewis, L. H., & Jiménez-Villacorta, F. (2013). "Perspectives on permanent magnetic materials for energy conversion and power generation". *Metallurgical and Materials Transactions A*, 44, 2-20.
2. Liu, C. (2018). "Emerging electric machines and drives—An overview". *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 33(4), 2270-2280.
3. Morimoto, S., Asano, Y., Kosaka, T., & Enomoto, Y. (2014, May). "Recent technical trends in PMSM". In *2014 International Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014-ECCE ASIA)* (pp. 1997-2003). IEEE.
4. Rana Vrajesh, Khan Sahal, Ashish Singh Rajawat, Rakholiya Tirth, Shah Dhruvil (2018), "Modeling, Simulation and Speed Control of PMSM Motor by using MATLAB/Simulink", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 7, Issue 12, December 2018.
5. V. M. Bida, D. V. Samokhvalov and F. S. Al-Mahturi (2018), "PMSM vector control techniques — A survey," 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), Moscow and St. Petersburg, Russia, 2018, pp. 577-581.
6. Nguyễn Phùng Quang (2006), "MATLAB & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động", Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Hà Nội 2006.
7. Feng, L., Deng, M., Xu, S., & Huang, D. (2020). Speed regulation for PMSM drives based on a novel sliding mode controller. *IEEE Access*, 8, 63577-63584.
8. Phạm Văn Bình (2011), "Máy điện tổng quát", Nhà xuất bản giáo dục Việt Nam, Hà Nội 2011.

**Thông tin của tác giả:****ThS. Phạm Anh Mai**

Trung tâm đào tạo nghề, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh
Điện thoại: + (84).912 521 075 Email: phamanhmai@qui.edu.vn

ThS. Trần Thanh Tuyền

NCS. Trường Đại học Trung Nam, Hồ Nam 410083, Trung Quốc
Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh
Điện thoại: +(84).977 386 134 Email: tuyentt@qui.edu.vn

ThS. Nguyễn Thị Phúc

Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh
Điện thoại: +(84).977 512 911 Email: phucqui.edu.vn@gmail.com

PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR MODEL WITH RELAY CONTROL SYSTEM ON MATLAB - SIMULINK

Information about authors:

Pham Anh Mai, M.Eng., Vocational Training Center, Quang Ninh University of Industry.

Email: phamanhmai@qui.edu.vn

Tran Thanh Tuyen, PhD Student, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China; Faculty of Electricity, Quang Ninh University of Industry.

Nguyen Thi Phuc, M.Eng., Faculty of Electricity, Quang Ninh University of Industry.

ABSTRACT:

Permanent magnet synchronous motors (PMSM) are one of the most popular motors today in the field of industrial servo control, especially in high-precision applications. The outstanding advantages of PMSM motors are high motor efficiency, high power factor, and output speed independent of voltage. Therefore, researching a simple control structure for the PMSM motor can effectively reduce production costs. The authors use simple relay control as the PMSM motor control algorithm. Relay control helps stabilize the controller's output, increase adjustment speed, and limit internal noise, regardless of motor parameters. This article presents the construction of a relay control system for a PMSM motor and simulates the results on Matlab/Simulink software. Simulation results show that the system's speed and torque response in both continuous time and discrete time have good performance.

Keywords: *Permanent magnet synchronous motors (PMSM), motor control, relay control,, simulation model.*

REFERENCES

1. Lewis, L. H., & Jiménez-Villacorta, F. (2013). "Perspectives on permanent magnetic materials for energy conversion and power generation". *Metallurgical and Materials Transactions A*, 44, 2-20.
2. Liu, C. (2018). "Emerging electric machines and drives—An overview". *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 33(4), 2270-2280.



3. Morimoto, S., Asano, Y., Kosaka, T., & Enomoto, Y. (2014, May). "Recent technical trends in PMSM". In *2014 International Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014-ECCE ASIA)* (pp. 1997-2003). IEEE.
4. Rana Vrajesh, Khan Sahal , Ashish Singh Rajawat, Rakholiya Tirth, Shah Dhrumil (2018), "Modeling, Simulation and Speed Control of PMSM Motor by using MATLAB/Simulink", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 7, Issue 12, December 2018.
5. V. M. Bida, D. V. Samokhvalov and F. S. Al-Mahturi (2018), "PMSM vector control techniques — A survey," *2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, Moscow and St. Petersburg, Russia, 2018, pp. 577-581.
6. Nguyen Phung Quang (2006), "MATLAB & Simulink for automatic control engineers", In Vietnamese, Science and Technics Publishing House, Hanoi 2006.
7. Feng, L., Deng, M., Xu, S., & Huang, D. (2020). Speed regulation for PMSM drives based on a novel sliding mode controller. *IEEE Access*, 8, 63577-63584.
8. Pham Van Binh (2011), "General electrical machines", In Vietnamese, Vietnam Educational Publishing House, Hanoi 2011.

Ngày nhận bài: 30/11/2023;

Ngày gửi phản biện: 04/12/2023;

Ngày nhận phản biện: 22/12/2023;

Ngày chấp nhận đăng: 26/12/2023.



MỘT SỐ HÌNH ẢNH HOẠT ĐỘNG NỔI BẬT CHÀO MỪNG 65 NĂM NGÀY THÀNH LẬP TRƯỜNG 25/11



Lễ công bố Quyết định bổ nhiệm Phó hiệu trưởng Nhà trường nhiệm kỳ 2022-2027 – TS. Phạm Đức Thang



Nhóm tác giả ĐT đạt giải nhì trong Cuộc thi sáng tạo KT tỉnh lần thứ IX

Nghiệm thu đề tài NCKH cấp Trường của TS. Lê Hồ Hiếu

Nghiệm thu đề tài NCKH cấp Trường của ThS. Trần Thị Hoàn



Hội thảo Khoa học Khoa KHCB

Hội thảo Khoa học Khoa CKDL

Hội thảo Khoa học Khoa Mỏ - Công trình



Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh hợp tác với ĐH Soonchunhyang – Hàn Quốc

Trường ĐH Công nghiệp QN hợp tác với ĐH KH&CN Quốc gia Cao Hùng – Đài Loan

Trường ĐH Công nghiệp QN hợp tác với ĐH Bách khoa Saskatchewan – Canada



MỘT SỐ HÌNH ẢNH HOẠT ĐỘNG NỔI BẬT CHÀO MỪNG 65 NĂM NGÀY THÀNH LẬP TRƯỜNG 25/11



Nhà trường gặp mặt và hợp tác với Công ty TNHH Kỹ thuật điện tử TONY - TLC



Nhà trường trong cuộc họp về hợp tác NCKH và chuyển giao công nghệ với Công ty TNHH Công ty TNHH Đầu tư và Thương mại Quang Minh



Trường ĐH Công nghiệp Quảng Ninh tổ chức Lễ cắt băng khánh thành Nhà điều hành A2 và O2 sân bóng cỏ nhân tạo



Lễ trao Học bổng TOYOTA và Học bổng năng lượng tương lai cho SV Nhà trường



Tập huấn kỹ năng số cho SV Nhà trường



Nhạc hội chào Tân SV K16



Hội trại truyền thống chào mừng 65 sinh nhật Trường



Ngày hội hiến máu nhân tạo tại Trường

TẠP CHÍ ĐIỆN TỬ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUI

Cơ quan chủ quản: Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh
Địa chỉ: Phường Yên Thọ, thị xã Đông Triều, tỉnh Quảng Ninh

Website: <https://jstqui.vn> | Email: jstqui@qui.edu.vn | Tel: 0203.3871.092