

mới, công nghệ mới của sinh viên và giảng viên ngành CNKT Điện, Điện tử và CNKT ĐK và TĐH. Người học được từng bước tiếp cận với công nghệ sản xuất hiện đại trong thực tế, góp phần nâng cao chất lượng nguồn nhân lực đầu ra của chương trình đào tạo.

5. Kết luận

Nhóm tác giả đã ứng dụng Webserver kết hợp bộ điều khiển logic khả trình PLC thực hiện điều khiển từ xa mô hình mạch điện truyền động chính máy doa 2620 và giám sát các thông số điện năng trên mô hình. Chức năng điều khiển qua Webserver được thực hiện linh hoạt, chức năng giám sát các thông số điện năng qua Webserver trực quan phù hợp với xu hướng phát triển công nghiệp hiện nay.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Vũ Quang Hồi, Nguyễn Văn Chất, Nguyễn Thị Liên Anh, (2012). “Trang bị điện – điện tử máy công nghiệp dùng chung”, *NXB Giáo dục*.
- [2]. Vũ Quang Hồi, (2015). “Trang bị điện – điện tử các máy công nghiệp, Tập 1,2”, *NXB Giáo dục*.
- [3]. Phạm Văn Chới, Bùi Tín Hữu, Nguyễn Tiến Tôn, (2008). “Khí cụ điện”, *Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật*.
- [4]. Trần Văn Hiếu, (2019). “Tự động hóa PLC S7-1200 với TIA PORTAL”, *Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật*.
- [5]. Trần Văn Hiếu, (2018). “Thiết kế hệ thống mạng Truyền thông công nghiệp với TIA PORTAL”, *NXB Khoa học và kỹ thuật*.
- [6]. Trần Văn Hiếu, (2019). “Thiết kế hệ thống HMI/SCADA với TIA PORTAL”, *NXB Khoa học và kỹ thuật*.

ỨNG DỤNG MẠCH VI ĐIỀU KHIỂN ARDUINO GIAO TIẾP VỚI MATLAB GUI CHO BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN VÀ GIÁM SÁT NHIỆT ĐỘ

Đặng Văn Chí^{1,*}, Nguyễn Thế Lực², Phan Thị Mai Phương³

mail: dangvanchi@h Umg.edu.vn

Trường Đại học Mở – Địa chất, Hà Nội

TÓM TẮT

Card đo lường điều khiển và giao tiếp với giao diện trên Matlab đang được sử dụng rất phổ biến trong các Trường Đại học và các Viện nghiên cứu trên Thế giới. Với chức năng kết nối các thiết bị ngoại vi và máy tính, đặc biệt được ứng dụng phổ biến trong các lĩnh vực đo lường giám sát, mô phỏng các hệ điều khiển robot, các hệ cơ điện tử... Tuy nhiên việc nghiên cứu, phát triển và ứng dụng các loại Card này ở Việt Nam còn chưa được phát triển do giá thành rất đắt và phần mềm Matlab yêu cầu phải có bản quyền. Bài báo đề xuất giải pháp sử dụng vi điều khiển Arduino để thay thế, được cho là phù hợp trong công tác nghiên cứu thiết kế, phát triển cho các bài toán đo lường và điều khiển giao tiếp với Matlab GUI. Kết quả nghiên cứu cho phép ứng dụng Arduino để thay thế cho một số loại Card Matlab cơ bản hiện nay trong các bài toán về đo lường, giám sát và điều khiển đối tượng nhiệt

Từ khóa: phần mềm Matlab, Vi điều khiển Arduino, Matlab GUI

1. Mở đầu

Matlab là tên viết tắt của từ Matrix laboratory, đây là một phần mềm cung cấp môi trường để tính toán số và lập trình, được thiết kế bởi công ty MathWorks. Matlab Online sẽ cho phép tính toán số với ma trận, cũng như vẽ đồ thị hàm số hay là biểu đồ thông tin, việc thực hiện thuật toán, tạo ra các giao diện người dùng và đồng thời liên kết với những chương trình máy tính viết dựa trên nhiều ngôn ngữ lập trình khác.

Matlab được dùng để giải quyết các bài toán về giải tích số, hay là xử lý tín hiệu số, xử lý đồ họa mà sẽ không phải lập trình cổ điển nữa. Hiện nay, Matlab Online có đến hàng ngàn lệnh và nhiều hàm tiện ích. Ngoài các hàm cài sẵn ở trong chính ngôn ngữ, Matlab Online sẽ còn có các lệnh và hàm ứng dụng chuyên biệt ở trong các Toolbox để có thể mở rộng môi trường Matlab, nhằm giải quyết được các bài toán thuộc vào các phạm trù riêng. Các Toolbox này khá quan trọng và còn có các tiện ích cho người dùng như là toán sơ cấp, hay là xử lý tín hiệu số, xử lý ảnh và xử lý âm thanh, toán ma trận, các thuật toán về logic logic mờ, các thuật toán về AI và mạng nơ ron nhân tạo...

Matlab là ngôn ngữ lập trình bậc cao (Script) với các lệnh điều khiển, các hàm, hay là cấu trúc dữ liệu, đầu vào/đầu ra và cũng như là các đặc điểm của lập trình hướng đối tượng. Nó cho phép việc "lập trình quy mô nhỏ" nhanh chóng bằng cách tạo ra phần mềm, cũng như là việc "lập trình quy mô lớn" để tạo các chương trình lớn, phức tạp... (<https://www.mathworks.com>)

Các chức năng của Matlab bao gồm:

- Matlab là một ngôn ngữ lập trình cao cấp để tính toán số và phát triển ứng dụng.
- Cung cấp một môi trường tương tác để điều tra, thiết kế và giải quyết các vấn đề.
- Nó cung cấp một thư viện lớn các hàm toán học để giải các hàm số tuyến tính, thống kê, phân tích Fourier, lọc, tối ưu hóa, tích phân và phương trình vi phân bình thường.
- Matlab cung cấp các biểu đồ tích hợp để trực quan hóa dữ liệu và các công cụ để tạo biểu đồ tùy chỉnh.
- Cung cấp các công cụ phát triển để tăng khả năng bảo trì chất lượng mã và tối đa hóa hiệu suất.
- Cung cấp các công cụ để xây dựng ứng dụng bằng giao diện đồ họa tùy chỉnh.

- Các chức năng để tích hợp các thuật toán dựa trên Matlab với các ứng dụng bên ngoài và các ngôn ngữ khác như C, Java, NET và Microsoft Excel...

Matlab được sử dụng hầu hết trong các việc như:

- Xử lý tín hiệu và truyền thông.
- Xử lý chất lượng hình ảnh, video.
- Ứng dụng tính toán tài chính, sinh học.
- Ứng dụng trong kiểm tra, tính toán và đo lường.
- Xây dựng hệ thống điều khiển ...

Như vậy việc ứng dụng của Matlab khá rộng rãi, được sử dụng như công cụ tính toán trong lĩnh vực khoa học và kỹ thuật: công nghệ, toán học, hóa học, vật lý... Tuy nhiên công tác đào tạo ở các trường Đại học ở nước ta hiện nay mới chỉ hạn chế ở mức độ mô hình hóa các đối tượng ảo và mô phỏng các phương trình toán, các thuật toán trên cơ sở lý thuyết. Việc giao tiếp với các thiết bị ngoại vi như các cảm biến, thiết bị đo lường hay với các cơ cấu chấp hành còn hạn chế. Một phần nguyên nhân là những Card giao tiếp chuyên dụng của Matlab có giá thành rất cao, chưa được đầu tư đồng bộ. Mặt khác phần mềm Matlab có bản quyền có giá thành cũng rất đắt. Trong khi đó công tác giảng dạy và đào tạo ở các Trường kể cả giảng viên và sinh viên vẫn có thói quen dùng các phần mềm miễn phí, phần mềm crack và không có bản quyền...

Những bất cập trên sẽ không còn là vấn đề nan giải với đề xuất ứng dụng VĐK Arduino để thay thế. Việc ứng dụng vi điều khiển Arduino để giao tiếp truyền thông với Matlab GUI để thực hiện các bài toán về đo lường và điều khiển bằng máy tính sẽ khắc phục được những khó khăn trên và đặc biệt rất nhanh chóng và thuận lợi khi xây dựng, triển khai những dự án.

Vi điều khiển Arduino hiện nay được cộng đồng nghiên cứu và sinh viên ở các Trường Đại học, cao đẳng sử dụng khá phổ biến do nhiều ưu điểm. Với đặc điểm là giá thành rất rẻ, phần mềm có bản quyền của hãng được cung cấp miễn phí, được cập nhật thường xuyên và ngôn ngữ lập trình đơn giản, dễ hiểu. Trong phần mềm được hãng phát triển nhiều ứng dụng thực tế rất cơ bản, dễ hiểu và có hướng dẫn tường minh, đặc biệt khả năng hỗ trợ người học tự nghiên cứu và phát triển các dự án, các ý tưởng thực tế. Một đặc điểm tiện ích khác cũng là ưu điểm khi dùng Arduino so với các dòng

VĐK khác là người học không cần phải làm mạch. Bo mạch Arduino rất đa dạng đầy đủ các tính năng của người dùng VĐK cần có: như các cổng In/Out Digital/Analog, các cổng thu phát xung tốc độ cao, PWM, kết nối truyền thông với PC rất đơn giản qua cổng USB ... và một ưu điểm khác nữa là các phần mềm như Matlab, LabView hiện nay hỗ trợ miễn phí Driver cho tất cả các dòng VKĐ Arduino này.

Vì vậy bài báo đề xuất nghiên cứu VĐK Arduino để giao tiếp với Matlab GUI, ứng dụng cho bài toán điều khiển và giám sát đối tượng nhiệt. Kết quả nghiên cứu khẳng định việc thay thế Card Matlab cho các ứng dụng đo lường điều khiển bằng máy tính là hoàn toàn khả thi. Đặc biệt thích hợp cho công tác giảng dạy, nghiên cứu trong các Viện, các Trường Đại học với chi phí thấp. Đồng thời cung cấp một giải pháp đơn giản, dễ thực hiện, đảm bảo các yêu cầu về công nghệ, kỹ thuật, tính hiện đại trong các bài toán đo lường, điều khiển giám sát bằng máy tính.

2. Vi điều khiển Arduino và truyền thông trong môi trường Matlab (P.Q.Huy, N.T. Hiếu, 2016)

2.1. Vi điều khiển Arduino

Hiện nay trên thị trường có nhiều phiên bản VĐK Arduino như Arduino Uno R3, Arduino Mega2560, Arduino Nano, Arduino Pro Mino, Arduino Lenadro, Arduino Industrial.... dưới đây giới thiệu phiên bản Arduino Uno R3(hình 1) được sử dụng để giao tiếp với Matlab.



Hình 1. Bo mạch Arduino và cáp giao tiếp USB
Một số thông số kỹ thuật của Arduino UNO R3:

- Chip ATMEGA328P-PU
- Nguồn Cấp: 7-12V
- 14 Chân Digital I/O (6 chân PWM)
- 6 Chân Analog Inputs
- 32k Flash Memory
- 16Mhz Clock Speed

- SRAM 2 KB
- EEPROM 1 KB (<http://Arduino.vn>)

Arduino Uno R3 là một board mạch vi điều khiển được phát triển bởi Arduino.cc, với nền tảng điện tử mã nguồn mở chủ yếu dựa trên vi điều khiển AVR Atmega328P. Phiên bản hiện tại của Arduino Uno R3 đi kèm với giao diện USB, 6 chân đầu vào analog, 14 cổng số I/O được sử dụng để kết nối với các thiết bị ngoại vi. Trong đó có 14 cổng I/O và 6 chân đầu ra PWM. Arduino Uno R3 được kết nối trực tiếp với PC thông qua USB để giao tiếp với phần mềm lập trình IDE, tương thích với Windows để sử dụng và thích hợp với các ngôn ngữ lập trình như C và C++ được sử dụng trong IDE. Ngoài USB, người dùng có thể dùng nguồn điện ngoài để cấp nguồn cho bo mạch.

2.2. Truyền thông giữa VĐK Arduino với Matlab

Gói hỗ trợ của MATLAB cho Arduino sẽ cho phép viết các chương trình trên MATLAB để thực hiện việc đọc và ghi dữ liệu vào Arduino và kết nối với các thiết bị ngoại vi. Các lợi ích chính của việc sử dụng MATLAB để lập trình Arduino là:

Đọc và ghi dữ liệu từ cảm biến mà không cần phải đợi biên dịch mã. Phân tích dữ liệu từ cảm biến bằng cách sử dụng hàng nghìn chức năng được xây dựng trước để tính toán, xử lý tín hiệu, mô hình toán học ...

Nhanh chóng và dễ dàng thực hiện việc xây dựng và phát triển một hệ thống đo lường - giám sát và điều khiển bằng giao diện trong môi trường Matlab

Gói hỗ trợ MATLAB cho phần cứng Arduino cho phép người dùng sử dụng MATLAB® để giao tiếp với Arduino® thông qua cáp USB. Gói này dựa trên một Server chạy chương trình trên Board. Chương trình này thực hiện các lệnh đi và đến qua cổng nối tiếp. Gói này hỗ trợ cho các loại Arduino Uno, Arduino Mega 2560 và Arduino Due. Hơn nữa, cách tiếp cận này giúp người dùng các tính năng sau:

- Bắt đầu lập trình ngay lập tức mà không cần bất kỳ hộp công cụ bổ sung nào.
- Làm việc trực tiếp trong môi trường MATLAB để phát triển các dự án.
- Phát triển các chương trình, giao diện để thu nhận tín hiệu tương tự và tín hiệu số. Đồng thời

thực hiện các thuật toán điều khiển đa dạng và phức tạp như điều khiển động cơ AC/DC, động cơ Servo và động cơ bước...


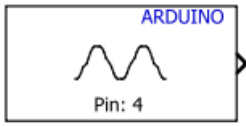

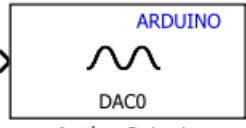
- Truy cập các thiết bị ngoại vi và cảm biến được kết nối qua I2C (Two-Wire Serial) hoặc SPI (Serial Peripheral Interface).

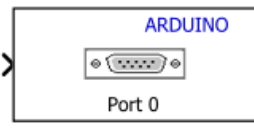

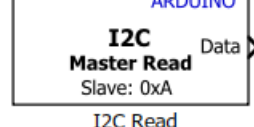

- Chạy các vòng điều khiển ở tần số lên đến 25 Hz (không phải thời gian thực).

- Thiết kế và xây dựng các hệ cơ điện tử, các hệ đo lường, giám sát, xử lý tín hiệu và cho các hệ thống thí nghiệm điện - điện tử ...

2.3. Các khối chức năng cơ bản trong thư viện Arduino I/O của Matlab, bảng 1 (Đặng Văn Chí & nnk, 2021).

Bảng 1. Các khối chức năng cơ bản của Matlab

 <p>ARDUINO Pin 8 Digital Input</p>	<p>Arduino Digital Read: Đọc giá trị digital từ pin được chọn, trả về giá trị 0 và 1.</p>
 <p>ARDUINO Pin: 4 Analog Input</p>	<p>Arduino Analog Input: Đọc giá trị ADC trên các đầu vào analog của Arduino. Board Arduino UNO có thể biến đổi điện áp tương tự 0÷5V từ đầu vào tương tự A0÷A5 thành giá trị số 10bit nên khối này sẽ nhận được giá trị từ 0÷1023.</p>
 <p>ARDUINO Pin 9 Digital Output</p>	<p>Arduino Digital Output: Xuất giá trị digital (0 và 1) vào pin được chọn</p>
 <p>ARDUINO DAC0 Analog Output</p>	<p>Arduino Analog Output: Xuất giá trị tới các đầu ra Analog của Arduino. Arduino sử dụng thanh ghi 8bit nên giá trị của khối Arduino Analog Write nhận được từ 0÷255</p>

 <p>ARDUINO Port 0 Serial Transmit</p>	<p>Arduino IO Setup: Dùng để thiết lập Serial (COM) port của Arduino. Người sử dụng phải khai báo cho Matlab biết Arduino được kết nối vào cổng giao tiếp nào.</p>
 <p>ARDUINO Pin: 5 PWM</p>	<p>Chức năng điều chế độ rộng xung (PWM), chân số 5</p>
 <p>ARDUINO I2C Master Read Slave: 0xA I2C Read</p>	<p>Chức năng đọc dữ liệu truyền thông I2C</p>
 <p>ARDUINO Ultrasonic Sensor</p>	<p>Ultrasonic Sensor: Khối đọc tín hiệu từ cảm biến siêu âm</p>

3. Thiết kế xây dựng mô hình

3.1. Tính chọn thiết bị

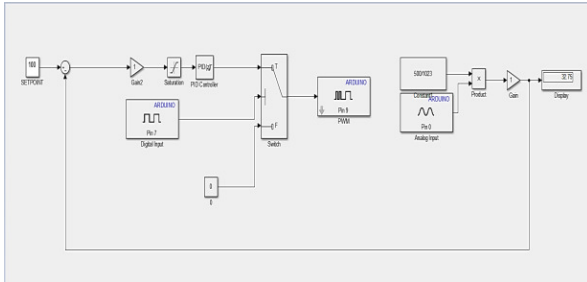
- Để thử nghiệm giao tiếp truyền thông với Matlab, đối tượng điều khiển được sử dụng là lò nhiệt điện trở được đúc kín bằng bê tông có khả năng giữ nhiệt tốt. Bên trong đặt Sensor nhiệt và thiết bị gia nhiệt, lò được thử nghiệm với mục đích ổn định nhiệt độ theo giá trị đặt, trên cơ sở thuật toán điều khiển PID. Trong bài báo này các tác giả không trình bày cụ thể về các công việc như: cơ sở lý thuyết về bộ điều khiển PID, hay nghiên cứu thực nghiệm lấy số liệu để xây dựng hàm truyền của đối tượng, hay thiết kế bộ điều khiển PID như thế nào mà chỉ tập trung vào mục tiêu của bài báo.

+ **Bo mạch Arduino:** như hình 1

+ **Sensor nhiệt độ:** loại LM35 – hình 2

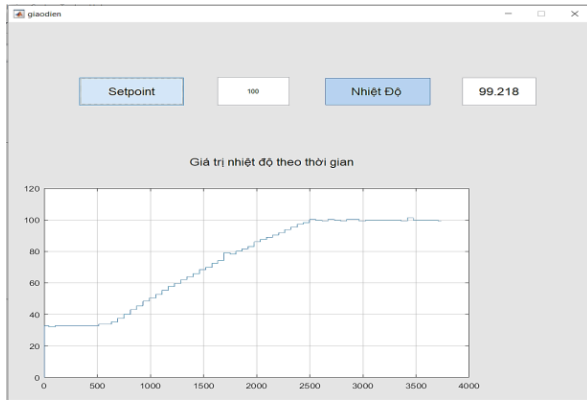
- LM35 là bộ cảm biến nhiệt độ analog, Cảm biến đo được nhiệt độ từ 2-150°C cho ra tín hiệu dạng analog 0mV- 10mV/°C. (Lưu Thế Vinh, 2007)

+ Lập trình điều khiển và truyền thông bằng Simulink Matlab (hình 6)

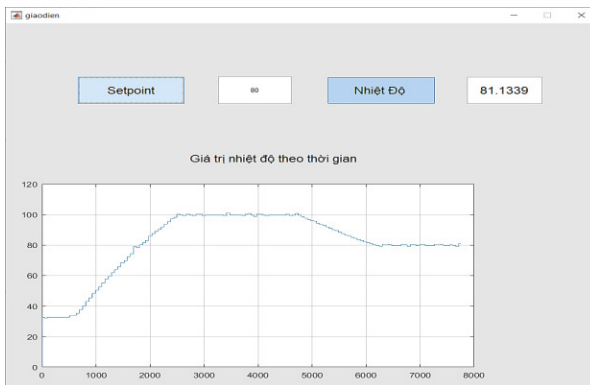


Hình 6. Lập trình điều khiển PID và truyền thông trong Simulink – Matlab

+ Kết quả chạy thử trên giao diện GUI của Matlab: hình 7, hình 8.



Hình 7. Kết quả chạy thử tại điểm đặt 100°C



Hình 8. Kết quả chạy thử tại điểm đặt 80°C

Chất lượng của hệ thống điều khiển và kết quả chạy trên mô hình được đánh giá bởi các tiêu chuẩn sau:

- Sai lệch tĩnh: là sai lệch giữa tín hiệu setpoint và tín hiệu thực tế, với các điểm đặt khác nhau sai lệch dao động trong khoảng $\pm 1^\circ\text{C}$

- Độ quá điều chỉnh: là hiện tượng đáp ứng của hệ thống vượt qua giá trị xác lập của nó, với các điểm đặt khác nhau ta thấy tại các điểm gãy, lượng quá điều chỉnh gần như không đáng kể.

- Thời gian quá trình quá độ: là thời gian cần thiết để sai lệch giữa đáp ứng của hệ thống và giá trị xác lập của nó không vượt quá $\pm 2^\circ\text{C}$ ($\sim 2\%$).

- Thời gian lên: thời gian cần thiết để đáp ứng của hệ thống tăng từ 10% đến 90% giá trị xác lập của nó, do thiết kế lò có không gian hẹp nên thời gian lên này tương đối nhanh.

- Độ dự trữ ổn định: là khoảng cách giữa trục ảo đến nghiệm cực gần nhất, khi độ dự trữ càng lớn thì thời gian xác lập càng ngắn, hệ thống nhanh tiến tới giá trị xác lập.

4. Kết luận:

- Việc nghiên cứu ứng dụng vi điều khiển Arduino để giao tiếp với Matlab GUI cho bài toán điều khiển và giám sát đối tượng nhiệt đã đáp ứng được các yêu cầu về kỹ thuật và mục tiêu đặt ra.

- Các tác giả đã thực hiện việc khảo sát tính chọn thiết bị, xây dựng mô hình, thiết kế bộ điều khiển PID, lập trình truyền thông, xây dựng giao diện GUI và chạy thử kết nối điều khiển lò nhiệt điện trở. Bước đầu cho kết quả khả quan, hệ thống chạy ổn định với các điểm đặt khác nhau đều cho thấy đáp ứng các yêu cầu về chất lượng điều khiển như đánh giá trên.

- Mô hình thiết kế có tính chất thử nghiệm, sử dụng các sensor và thiết bị có giá thành thấp, độ chính xác và chất lượng còn hạn chế. Đề xuất tiếp tục đánh giá độ chính xác, tính ổn định và bền vững của hệ thống khi sử dụng các cảm biến chuyên dụng, có độ chính xác cao làm việc trong môi trường công nghiệp.

- Với kết quả nghiên cứu bước đầu này, thì việc ứng dụng các dòng VĐK Arduino để thay thế các Card đo lường điều khiển chuyên dụng của Matlab để thực hiện các bài toán trong đo lường – điều khiển – giám sát bằng máy tính là hoàn toàn khả thi. Giải pháp có giá thành thấp, đảm bảo đầy đủ các yêu cầu về kỹ thuật và công nghệ cho các bài toán về đo lường – điều khiển – giám sát. Trong các Trường Đại học cách tiếp cận trên là phù hợp cho công tác giảng dạy và đào tạo lý thuyết với chi phí thấp. Ở

các Viện nghiên cứu phù hợp công tác nghiên cứu Khoa học và triển khai ứng dụng thực tế sản xuất.

Đóng góp của các tác giả:

Đặng Văn Chí: Nghiên cứu tổng quan cơ sở lý thuyết, đề xuất ý tưởng, xây dựng thuật toán và lập trình thu thập dữ liệu trên Matlab.

Nguyễn Thế Lực: Thiết kế, xây dựng và phát triển mô hình, thiết kế giao diện GUI trong Matlab, thực hiện chạy thử nghiệm.

Phan Thị Mai Phương: Đấu nối sơ đồ điện cho mô hình, soạn thảo, biên tập và hoàn thiện bài báo.

Tài liệu tham khảo

Sách tham khảo

Đặng Văn Chí, (2017). Kỹ thuật đo lường điện và các thuật toán đo phi điện. NXB Xây dựng, 298 trang.

Đặng Văn Chí & nnk, (2021). Đo lường điều khiển bằng máy tính, ứng dụng công nghệ IoT – Lora

Gateway để giám sát và điều khiển xa trên Web Server. NXB KHKT, 2021.

Phạm Quang Huy, Nguyễn Trọng Hiếu, (2016). Vi điều khiển và ứng dụng Arduino dành cho người tự học. NXB Bách Khoa Hà Nội, 407 trang.

Nguyễn Phùng Quang, (2004). Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động, NXB Khoa học & kỹ thuật, Hà Nội.

Lưu Thế Vinh, (2007). Giáo trình đo lường – cảm biến. NXB ĐH Quốc gia TP Hồ Chí Minh.

Wolfgang Georgi, Ergun Metin, (2006). Einfuehrung in LabVIEW. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag Muenchen.

Ernest O.Doebelin,(2003). Measurement System: “Application and design”, Mc Graw Hill.

Web tham khảo

<http://Arduino.vn>

<https://www.mathworks.com>

ẢNH HƯỞNG CỦA BỀ DÀY NAM CHÂM VĨNH CỬU ĐẾN ĐẶC TÍNH KHỞI ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ LSPMSM 3000 VÒNG/PHÚT

Trịnh Biên Thùy¹, Lê Anh Tuấn, Đỗ Như Ý^{2*}

TÓM TẮT

Nguồn năng lượng hóa thạch ngày càng cạn kiệt, sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả là các yêu cầu cấp thiết của mỗi quốc gia. Ngày nay do sự phát triển nhanh chóng của công nghệ nam châm vĩnh cửu đất hiếm Neodymium (NdFeB) có tích số năng lượng lớn đã thúc đẩy chế tạo ra động cơ LSPMSM có hiệu suất cao thay thế các động cơ không đồng bộ (IM) truyền thống có hiệu suất thấp. Quá trình tính toán lựa chọn nam châm vĩnh cửu (NCVC) trong động cơ LSPMSM rất phức tạp nhất là với loại động cơ có tốc độ cao 3000 vòng/phút. Nội dung của bài báo đi phân tích ảnh hưởng của bề dày NCVC đến đặc tính khởi động của động cơ LSPMSM -3000 vòng/phút. Phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để phân tích đánh giá đặc tính khởi động của động cơ. Kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng để chế tạo hoàn thiện động cơ LSPMSM-3000 vòng/phút

Từ khóa: Nam châm vĩnh cửu, đặc tính khởi động, hiệu suất

1. Giới thiệu

Hiện nay, động cơ không đồng bộ (IM) vẫn đang được sử dụng phổ biến trong công nghiệp

do có nhiều ưu điểm, như: cấu tạo đơn giản, giá thành thấp, tuổi thọ cao...Tuy nhiên các động cơ IM thường có hiệu suất thấp và khó cải thiện