

# THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN CHO THIẾT BỊ HÀN CON LĂN TỰ ĐỘNG CONTROLLER DESIGN FOR AUTOMATIC ROLLER WELDING EQUIPMENT

Ngô Xuân Cường<sup>1,\*</sup>, Lê Văn Duyên<sup>2,\*</sup>, Hoàng Đức Long<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Phòng thí nghiệm trọng điểm công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt, Viện nghiên cứu Cơ khí

\* Email: ncuongts@yahoo.com

Mobile: 0915114200

<sup>2</sup>Viện Thiết kế tàu quân sự, Tổng cục CNQP

\* Email: lvduyen79@gmail.com

Mobile: 0988501636

<sup>3</sup>Viện nghiên cứu Cơ khí

## TÓM TẮT

Trong bài báo này giới thiệu việc thiết kế, chế tạo hệ thống điều khiển thiết bị hàn con lăn tự động và trình bày kết quả nghiên cứu tổng hợp bộ điều khiển động cơ xoay chiều ba pha ổn định tốc độ xoay sản phẩm. Chiến lược điều khiển véc tơ định hướng từ thông rotor; trong đó bộ điều khiển tốc độ và dòng điện là bộ điều khiển PI được tổng hợp theo phương pháp tối ưu mô đun. Thiết bị có tính năng kỹ thuật chính sau:

- Định vị, kẹp chặt tự động, tự định tâm đường kính ngoài
- Tốc độ quay điều chỉnh phù hợp với đường kính hàn

**Từ khóa:** Máy hàn con lăn tự động

## ABSTRACT

In this article, the author introduces readers to the design and manufacture the control system of automatic roller welding machine and present the results of a synthesis study of a three-phase AC motor controller that stabilizes the rotational speed of the product. The rotor flux oriented control strategy is performed with PI speed controller and PI current controller. The device has the following main technical features:

- Positioning, automatic clamping, self-centering outside diameter
- Rotating speed can be adjusted to suit the welding diameter

**Keywords:** Automatic roller welding machine

## 1. GIỚI THIỆU

Tự động hóa đã và đang được ứng dụng rộng rãi trên nhiều lĩnh vực khác nhau: Cơ khí, xây dựng, giao thông, khai khoáng, y tế, nông nghiệp, điện, điện tử, tàu... Trong nhiều nhà máy hiện nay, các hệ thống sản xuất dây chuyền, robot, tự điều khiển đang dần thay thế một phần hoặc hoàn toàn các công việc do con người đảm nhiệm. Việc ứng dụng các công nghệ hiện đại giúp kết nối, điều khiển các loại máy móc, robot vận hành chính xác và mang đến những sản phẩm có chất lượng cao, đồng đều. Điều này giúp tiết kiệm nhiên liệu, tăng năng suất, nâng cao độ linh hoạt trong sản xuất. Thêm vào đó, khi vận hành; các hệ thống thiết bị tự động hóa được thiết lập các thông số cần thiết cho quy trình, chất lượng sản xuất, vì vậy giúp sản phẩm đầu ra đạt chất lượng tốt, đồng đều, hạn chế lỗi, giảm chi phí. Việc nghiên cứu, thiết kế, chế tạo máy hàn con lăn tự động trên cơ sở tổng hợp bộ điều khiển ổn định tốc độ xoay sản phẩm và các linh kiện sẵn có trên thị trường khi áp dụng trực tiếp vào sản xuất đã cho ra các sản phẩm đạt chất lượng cao, hạn chế lỗi, giảm chi phí đáp ứng được yêu cầu khắt khe của nhà sản xuất.

## 2. CƠ SỞ NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO

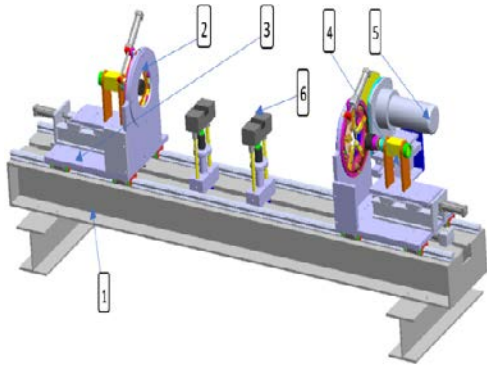
### Quá trình nghiên cứu thiết kế và chế tạo dựa trên:

- Xây dựng bài toán điều khiển và thiết kế phần mềm dựa trên chế độ hàn cho từng loại sản phẩm, kết cấu cơ khí và quy trình làm việc của thiết bị.

- Việc lựa chọn thiết bị phục vụ thiết kế, chế tạo tủ điều khiển và đáp ứng bài toán điều khiển; dựa trên cơ sở các linh kiện thiết bị tự động hóa phổ biến của các hãng nổi tiếng, sẵn có trên thị trường, đảm bảo chất lượng, tuổi thọ, độ tin cậy khi làm việc và dễ dàng thay thế trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa thiết bị.

### 2.1. Kết cấu tổng thể thiết bị hàn con lăn tự động

Trên hình 1 là thiết kế 3D tổng thể thiết bị hàn con lăn tự động. Thiết bị bao gồm các bộ phận chính: Cơ cấu gá kẹp phôi, nạp phôi, bộ truyền động xoay sản phẩm, hệ thống hàn đồng thời 2 đầu.



**Hình 1. Sơ đồ 3D thiết bị hàn con lăn tự động**

### Quy trình làm việc

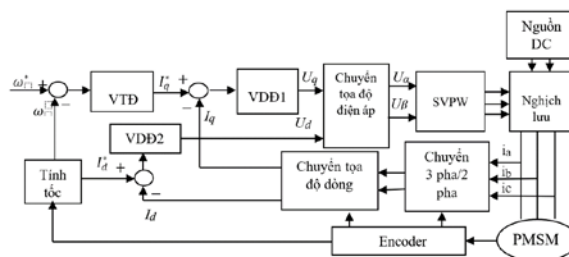
Vị trí O : Mọi cơ cấu ở vị trí bắt đầu quá trình làm việc theo các bước:

- 1- Nạp phôi: nạp cốc bi 2 đầu thông qua cụm ụ động 4, hai ụ động đi vào vị trí;
- 2- Nạp ống trên giá đỡ 6.
- 3- Hai ụ gá phôi đi vào đồng thời với cụm định tâm do hệ tay đòn 2 làm việc lắp ghép cốc bi và ống.
- 4- Kẹp phôi đồng thời tay đòn khí nén (chỉnh áp suất phù hợp).
- 5- Bộ truyền động quay vào vị trí tỳ quay.
- 6- Hai mỏ hàn đồng thời (tốc độ hàn cơ sở 45m/h).
- 7- Hai ụ động 4 đi ra bằng khí nén.
- 8- Hai ụ gá phôi 3 đi ra về vị trí ban đầu.
- 9- Tháo sản phẩm.

### 2.2. Cơ sở thiết kế hệ thống điều khiển cho quá trình hàn tự động

- Từ quy trình làm việc của quá trình hàn con lăn tự động bằng hồ quang điện; giải quyết bài toán mỗi hàn đạt tiêu chuẩn theo yêu cầu đặt ra cần phải xây dựng hệ thống điều khiển sử dụng bộ điều khiển lập trình logic(PLC) và tổng hợp bộ điều khiển ổn định tốc độ quay phôi và các bước hàn tự động. Giải pháp đưa ra là sử dụng hệ điều khiển với cơ cấu chấp hành của hệ thống là động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu xoay chiều ba pha (PMSM). Bộ điều khiển tốc độ căn cứ vào lệch giữa tốc độ đặt và tốc độ phản hồi của cơ cấu quay phôi để tính ra giá trị tín hiệu điều khiển cấp cho biến tần, điều khiển động cơ chuyển động theo chế độ yêu cầu. PLC và màn hình cảm ứng (HMI) của hãng Siemens được sử dụng để điều khiển toàn bộ quá trình hàn tự động. Với sự trợ giúp của giao diện người-máy cảm ứng; chế độ hàn, các thông số kỹ thuật có thể được cài đặt trên màn hình HMI, được lưu trữ và truy xuất. Hệ thống sẽ tự động tính toán tốc độ xoay phôi trên cơ sở các tham số đầu vào đặt trên màn hình, cũng như đưa ra các thông số về thời gian chạy máy, thời gian hoàn thành sản phẩm, đếm số lượng sản phẩm và đưa ra các cảnh báo báo động và chỉ báo lỗi trong quá trình hàn.

- Xây dựng bộ điều khiển ổn định tốc độ sử dụng động cơ PMSM với bộ điều khiển véc tơ dựa từ thông, trong khuôn khổ của lý thuyết hệ tuyến tính. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển cho trên hình 2. Đây là hệ thống điều khiển được xây dựng theo nguyên lý điều khiển hệ thống với các vòng điều khiển lệ thuộc [1]. Các bộ điều khiển dòng điện, tốc độ được tổng hợp theo phương pháp tối ưu mô đun. Vòng dòng điện, bao gồm hai vòng VDD1, VDD2. Vòng VDD1 dùng để điều khiển dòng điện  $i_q$ , Vòng VDD2 dùng để điều chỉnh dòng điện  $i_d$ . Vòng tốc độ VTĐ, đầu vào lấy từ sai số giữa tốc độ đặt và tốc độ phản hồi, đầu ra VTĐ là đầu vào vòng VDD1.



**Hình 2. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển tốc độ sử dụng động cơ PMSM**

Sơ đồ tổng hợp bộ điều khiển VDD1, VDD2 cho hình 3. Coi bộ điều chế độ rộng xung là khâu quán tính với hệ số khuếch đại là  $K_V$  và hằng số thời gian là  $T_V$ . Đặt:  $T_u = L/R$ , hằng số thời gian điện từ.

Hàm truyền của đối tượng:

$$W_{od} = \frac{K_V/R}{(T_V s + 1)(1 + T_u s)(\tau s + 1)} \quad (1)$$

Do:  $T_V, \tau \ll T_u, T_V \cdot \tau \ll T_V + \tau$ , đặt  $T_i = T_V + \tau$ . Ta có:

$$W_{od} \approx \frac{K_V/R}{(T_u s + 1)(1 + T_i s)} \quad (2)$$

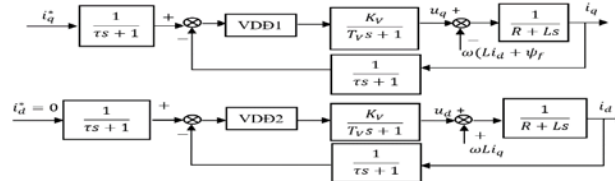
Chọn hằng số không bù Ti. Tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun, hàm truyền mong muốn của bộ điều khiển dòng điện có dạng [1]:

$$W_{dmm} = \frac{1}{2T_i s(T_i s + 1)} \quad (3)$$

Hàm truyền bộ điều khiển của vòng dòng điện được xác định là:

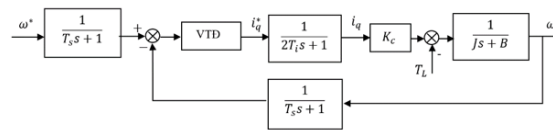
$$W_{dkdd} = \frac{W_{dmm}}{W_{od}} = \frac{(T_u s + 1)(T_i s + 1)R}{2T_i s(T_i s + 1)K_V} \quad (4)$$

Ta có bộ điều khiển dòng (PI):  $W_d = K_1 + 1/sT_1$   
 trong đó:  $K_1 = RT_u/2T_i K_V$ ;  $T_1 = 2T_i K_V/R$



**Hình 3. Sơ đồ tổng hợp các bộ điều khiển VDD1, VDD2**

Bộ điều khiển ổn định tốc độ được tổng hợp sau khi đã tổng hợp bộ điều khiển dòng điện theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun.



**Hình 4. Sơ đồ tổng hợp bộ điều khiển VTD**

Hàm truyền đối tượng điều khiển của vòng vận tốc khi kể đến hằng số thời gian nhỏ  $T_s$  của khâu đo lường tốc độ, gần đúng xem như khâu tuyến tính, có dạng:

$$W_{td} = U_{dt}/\omega_{dc} \quad (5)$$

trong đó:  $U_{dt}$  là lượng đặt vào bộ điều khiển tốc độ.

Hàm truyền của đối tượng trong vòng điều khiển tốc độ:

$$W_{td} = \frac{K_C}{(Js+B)(2T_i s + 1)(T_s s + 1)} \quad (6)$$

Đặt:  $T_C = T_s + 2T_i$ ,  $T_{1v} = J/B$ , ta có:

$$W_{td} \approx \frac{K_C/B}{(T_{1v} s + 1)(T_C s + 1)} \quad (7)$$

Chọn hằng số không bù  $T_C$ . Tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun, hàm truyền mong muốn của bộ điều khiển tốc độ có dạng [1]:

$$W_{tdmm} = \frac{1}{2T_C s(T_C s + 1)} \quad (8)$$

Hàm truyền bộ điều khiển của vòng tốc độ được xác định là:

$$W_{dktd} = \frac{W_{tdmm}}{W_{td}} = \frac{1}{2T_C s(T_C s + 1)} \frac{B(T_{1v} s + 1)(T_C s + 1)}{K_C} = \frac{B}{2K_C T_C s} (T_{1v} s + 1) \quad (9)$$

Đặt:  $K_2 = BT_{1v}/2K_C T_C$ ,  $T_2 = 2K_C T_C/B$

Ta có bộ điều khiển tốc độ (PI):  $W_V = K_2 + \frac{1}{T_2 s}$  (10)

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu:

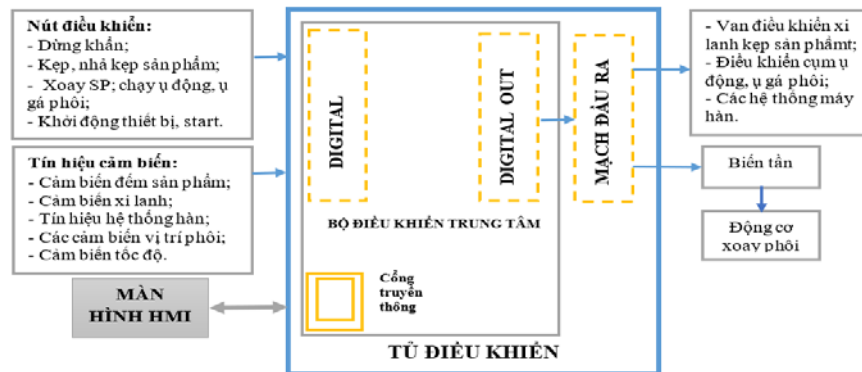
- Sử dụng các phần mềm mô phỏng để tổng hợp bộ điều khiển ổn định tốc độ xoay sản phẩm.
- Xây dựng sơ đồ khối, sơ đồ nguyên lý của hệ thống điều khiển theo quy trình làm việc của thiết bị.
- Chọn cảm biến, đối tượng chấp hành, bộ xử lý trung tâm, màn hình giao tiếp theo sơ đồ chức năng.
- Xây dựng thuật toán điều khiển và triển khai chế tạo và thử nghiệm.

## 3. THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TRÊN CƠ SỞ QUY TRÌNH LÀM VIỆC CỦA THIẾT BỊ

### 3.1. Xây dựng sơ đồ chức năng tủ điều khiển

- Các thiết bị điều khiển được lắp đặt trong 01 tủ điều khiển. Tủ điều khiển có chức năng giám sát, điều khiển quy trình làm việc của hệ thống, bao gồm:

- + Thu thập dữ liệu từ các cảm biến, các đối tượng chấp hành; Xử lý và thực hiện các phép toán logic trên các dữ liệu thu thập được để thực hiện đúng theo các bước công nghệ;
- + Thực hiện chế độ điều khiển tự động hoặc bằng tay;
- + Giao tiếp giữa người và máy thông qua màn hình cảm ứng HMI (Hiển thị và cài đặt các tham số của hệ thống; chọn chế độ vận hành);
- + Tự động tính toán tốc độ xoay phôi trên cơ sở các tham số đầu vào đặt trên màn hình (vật liệu, chiều dày, đường kính phôi...), cũng như đưa ra các thông số về thời gian chạy máy, thời gian hoàn thành sản phẩm, đếm số lượng sản phẩm và đưa ra các cảnh báo báo động và chỉ báo lỗi trong quá trình hàn.
- + Điều khiển van khí kẹp phôi, cụm ụ động, ụ gá phôi, điều khiển và ổn định tốc độ động cơ cho hệ thống truyền động quay phôi.



**Hình 5. Sơ đồ chức năng tủ điều khiển**

- Bộ điều khiển trung tâm nhận các tín hiệu đầu vào là các cảm biến vị trí, tốc độ, các nút điều khiển và các tham số cài đặt hệ thống từ màn hình HMI. Trên cơ sở các bước công nghệ và quy trình hàn tự động để điều khiển các van khí thực hiện kẹp, định vị sản phẩm, điều khiển xoay sản phẩm và máy hàn. Tự động tính toán tốc độ xoay phôi trên cơ sở các tham số đầu vào đặt trên màn hình. Truyền các thông số về thời gian chạy máy, thời gian hoàn thành sản phẩm, đếm số lượng sản phẩm và đưa ra các cảnh báo báo động và chỉ báo lỗi trong quá trình hàn lên màn hình hiển thị.

### 3.2. Thiết kế tủ điều khiển

- Tủ điều khiển kiểm soát toàn bộ các hoạt động của thiết bị theo các bước công nghệ. Trên cơ sở chức năng của thiết bị tiến hành tính toán và lựa chọn vật tư, linh kiện phục vụ cho chế tạo tủ điều khiển. Các linh kiện chính được lựa chọn chế tạo hệ thống điều khiển:

+ Bộ lập trình điều khiển logic PLC loại CPU của hãng Siemens; 14 đầu vào số, 10 đầu ra số; Chuẩn giao tiếp PROFINET; nguồn 220VAC.

+ Màn hình HMI: Màn hình được lựa chọn hãng Siemens; Hiển thị màn ảnh rộng TFT, đèn nền LED; Kích thước màn hình: 7 inch ( 154.1 x 85.9 mm); Số lượng màu sắc: 65 536; Độ phân giải: 800 x 480 Pixel; Nguồn 24VDC.

+ Sử dụng động cơ GV-50-750-1800-S-B, công suất:750W, tỉ số truyền: 1/1800. Biến tần Mitsubishi, công suất 1,0 KW.

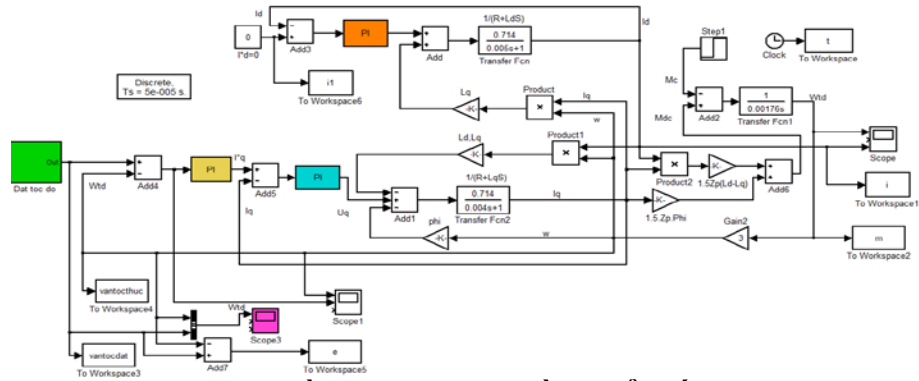
+ Các hệ thống van điều khiển, đèn báo sử dụng nguồn 24VDC.

## 4. KẾT QUẢ

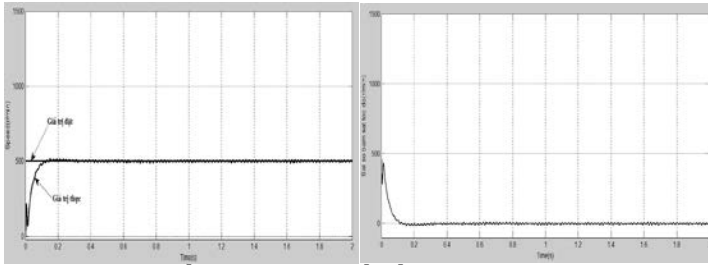
### 4.1. Kết quả mô phỏng:

Từ kết quả dòng điện, tốc độ (VDĐ1, VDĐ2, VTĐ) đã tổng hợp được; Tiến hành mô phỏng, kiểm tra đánh giá trên phần mềm Matlab-Simulink. Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển tốc độ cho trên hình 6.

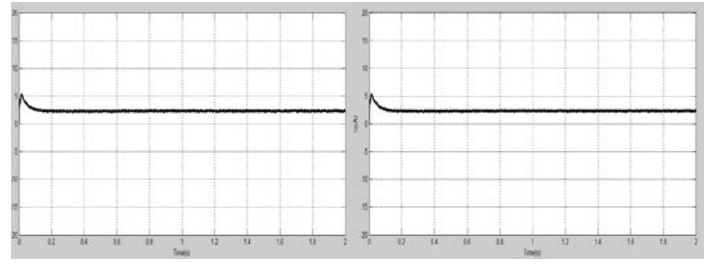
Kết quả mô phỏng trong trường hợp tốc độ động cơ được đặt cố định 500 vòng/phút. Các kết quả mô phỏng cho thấy các bộ điều khiển ổn định tốc độ bám sát giá trị đặt tiệm cận đến giá trị mong muốn và đạt trạng thái xác lập, tác động nhanh, sai số tĩnh nhỏ.



**Hình 6. Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển tốc độ**



**Hình 7. Tốc độ và sai số tốc độ theo giá trị đặt**



**Hình 8. Đáp ứng dòng điện ia, iq**

#### 4.2. Chế tạo thiết bị và thử nghiệm

Trên cơ sở sơ đồ chức năng, sơ đồ nguyên lý và các linh kiện được lựa chọn. Tiến hành xây dựng mô hình thực nghiệm bộ điều khiển PI nhằm ổn định tốc độ xoay sản phẩm với các tham số được đặt từ màn hình điều khiển trung tâm(HMI); xây dựng thuật toán điều khiển đáp ứng các bước công nghệ. Bố trí linh kiện bên trong tủ điều khiển và màn hình giao tiếp thể hiện trên hình 9.



**Hình 9. Bố trí linh kiện bên trong tủ điều khiển và màn hình HMI**

### 5. KẾT LUẬN

Trên cơ sở kết cấu cơ khí tổng thể của thiết bị và quy trình làm việc của quá trình hàn con lăn tự động bằng hồ quang điện đã thiết kế thành công hệ thống điều khiển; xây dựng phần mềm điều khiển đạt được các tính năng đề ra. Có khả năng nạp phôi, điều khiển ự động, gá phôi đi vào đồng thời, kẹp phôi đồng thời tay đòn khí nén, điều khiển quay và ổn định tốc độ xoay sản phẩm, điều khiển đầu hàn vào Hàn đồng thời 2 đầu đảm bảo các bước công nghệ theo thiết kế. Chế độ hàn, các thông số thiết bị có thể được cài đặt trên màn hình HMI. Hệ thống sẽ tự động tính toán tốc độ xoay phôi, cũng như đưa ra các thông số về thời gian chạy máy, thời gian hoàn thành sản phẩm, đếm số lượng sản phẩm và đưa ra các cảnh báo báo động và chỉ báo lỗi trong quá trình hàn.

Trên cơ sở bộ điều khiển tốc độ tổng hợp được, các kết quả chế tạo và thử nghiệm hệ thống điều khiển đã đem lại nâng suất cao, nâng cao chất lượng sản phẩm. Có thể áp dụng kết quả nghiên cứu vào các dây chuyền sản xuất quốc phòng và trong công nghiệp dân dụng.

## **DANH MỤC DANH PHÁP/KÝ HIỆU**

PLC: Bộ điều khiển lập trình logic

VĐĐ1, VĐĐ2: Vòng dòng điện

VTĐ: Vòng tốc độ

PMSM: Động cơ 3 pha đồng bộ nam châm vĩnh cửu

HMI: Màn hình cảm ứng

PI: Bộ điều khiển tỷ lệ-tích phân

Ngày nhận bài: **08/8/2023**

Ngày phản biện:

### **Tài liệu tham khảo:**

[1]. Phân tích và tổng hợp hệ thống truyền động điện - Đào Hoa Việt. HVKTQS Xuất Bản 2010

[2]. Đồ gá cơ khí hoá và tự động hoá - Lê Văn Tiến 1999

[3]. Cơ cấu tương tác Cơ- Điện- Thủy khí. Nguyễn Văn Huyền. NXB Xây Dựng 2019

[4]. Truyền động điện thông minh- Nguyễn Phùng Quang. NXB khoa học kỹ thuật