

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG CẢM BIẾN ĐỂ CẢI TIẾN CHẤT LƯỢNG ĐẶC TÍNH CỦA CÁC ĐỘNG CƠ BƯỚC CỖ NHỎ

A STUDY ON UTILIZING SENSOR TO IMPROVE SMALL STEPPER MOTOR'S CHARACTERISTICS

ThS. Nguyễn Đức Sang

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT

Hiện nay, các động cơ bước cỡ nhỏ (cũ và mới) khá phổ biến trên thị trường với giá thành rẻ hơn khá nhiều so với các động cơ dẫn động khác có tính năng tương đương về mô men, tốc độ và độ chính xác. Tuy nhiên, việc điều khiển các động cơ bước này chủ yếu là mạch hở, không phản hồi, thông qua việc cấp xung vào các cuộn dây của chúng. Khi có các yếu tố bất định tác động (ví dụ như quá tải), chúng có thể bị mất bước và gây ra sai lệch không mong muốn. Để khắc phục điều này, tác giả đã sử dụng cảm biến từ trường AS5600 gắn lên vỏ bên ngoài nhằm đo góc quay của trục động cơ và biến chúng thành điều khiển vòng kín có phản hồi vị trí trục. Kết quả nghiên cứu đã chứng tỏ chất lượng đáp ứng của động cơ được nâng lên do cảm biến phản hồi chính xác góc quay thực tế của trục, đồng thời vẫn giữ được giá thành ở mức thấp hơn nhiều so với các sản phẩm tương tự. Nghiên cứu này có thể được sử dụng để nâng cao chất lượng cho các động cơ bước cỡ nhỏ, giá rẻ đang có sẵn trên thị trường như Nema 17, 23, 34,...

Từ khóa: Động cơ bước; Cảm biến; Vòng hở; Vòng kín; Điều khiển; Robot.

ABSTRACT

Small stepper motors are popular in the market with significantly cheaper price compared with other actuators which have similar characteristics in terms of torque, velocity and accuracy. However, these motors are mostly opened-loop controllers by providing impulse signals without any feedback. When some uncertain factors occur (like overload), stepper motors might lose their steps and cause unwanted errors. To overcome this issue, we use AS5600 magnetic sensor attached to the motor cover to measure angular position of the motor shaft and turn it into closed-loop controller. The results show that characteristics of the motor have been improved since the sensor is able to precisely feedback real angle of the shaft and the total price is still considerably lower than other similar motors. This research can be applied to cheap and small-size stepper motors such as Nema 17, 23, 34,...

Keywords: Stepper motor; Sensor; Opened-loop; Closed-loop; Control; Robot.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Các động cơ bước trong công nghiệp [10-12] lai (hybrid stepper motors) thường được nhà sản xuất trang bị sẵn cảm biến vị trí trục quay cùng bộ điều khiển kèm theo, tuy nhiên chúng lại có giá thành cao khó tiếp cận với đa số người dùng phổ thông là sinh viên hoặc người làm nghiên cứu kỹ thuật, công nghệ. Do đó, một cách tiếp cận khác là tự trang bị thêm cảm biến đo góc quay trên các động cơ bước sẵn có để giảm giá thành mà vẫn đạt được chất lượng mong muốn. Các động cơ bước cỡ nhỏ, giá rẻ [1-3] có cấu tạo gồm trục quay (Rotor) là các nam châm vĩnh cửu và phần cố định (Stator) là các cuộn dây. Khi các cuộn dây này được kích hoạt từ tính sẽ biến chúng trở thành các nam châm điện, và do trục quay động cơ cũng là một nam châm trái chiều nên sẽ sinh ra một lực đẩy là trục động cơ quay đi một bước (tương ứng với một răng của đĩa trên trục quay). Từ đó, ta có thể điều khiển động cơ bước quay chính xác ở tốc độ hoặc đến một vị trí mong muốn thông qua tần số cấp xung và số xung cấp cho các cuộn dây.

Tuy nhiên, do quán tính của rotor cũng như sự tương tác của nó với từ trường của stator [4, 5], khi có các yếu tố không mong muốn xảy ra như tốc độ quay quá nhanh hoặc mô men ngoại lực tác động lên trục vượt mức cho phép thì xảy ra hiện tượng trục rotor sẽ bị mất bước quay. Tức là lúc này bộ điều khiển vẫn tạo ra xung cấp cho cuộn dây stator nhưng trục quay lại không quay đi các bước tương ứng. Do các động cơ bước này không có bộ phản hồi lại vị trí trục quay nên sai số góc quay do việc mất bước không được kiểm soát dẫn đến sai lệch của cả hệ thống. Để khắc phục điều này, tác giả sử dụng cảm biến từ trường AS5600 gắn lên vỏ phía sau động cơ để đo vị trí thực tế của trục quay.

2. LỰA CHỌN VÀ LẮP ĐẶT CẢM BIẾN

Việc xác định vị trí của trục quay động cơ thường được thực hiện bằng các encoder gắn với trục quay. Tuy nhiên, phương pháp truyền thống này tỏ ra có nhiều điểm bất lợi khi so sánh với phương pháp mới là sử dụng cảm biến từ trường không tiếp xúc AS5600 như được chỉ ra trong Bảng 1.

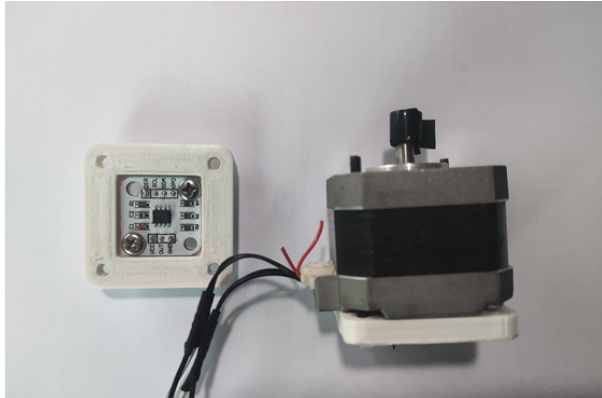
Bảng 1. So sánh hai phương pháp xác định vị trí trục quay

Đặc điểm	Encoder truyền thống	Cảm biến AS5600
Cách lắp đặt	Tiếp xúc với trục	Không tiếp xúc
Độ phân giải	10 bit	12 bit
Tín hiệu đầu ra	Xung vuông	PWM/Tương tự/Giao tiếp I2C
Giá thành	20\$	5\$
Kích thước	Lớn	Nhỏ gọn
Khả năng lập trình được	Không	Có

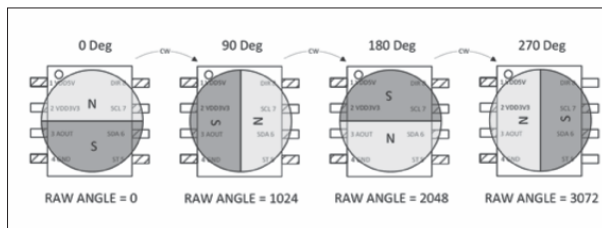
Nhìn chung, sử dụng cảm biến AS5600 cho độ chính xác cao hơn, giá rẻ hơn, kết cấu cũng gọn hơn mà lại tránh được ma sát do không tiếp xúc trực tiếp với trục quay. Tuy nhiên, để lắp đặt cảm biến này cần phải thiết kế và in 3D một vỏ nhựa bên ngoài có kích thước phù hợp để gắn cảm biến lên, đồng thời gắn nó với vỏ động cơ, đồng thời phải gắn lên trục quay của động cơ một viên nam châm cho trước, đi kèm cùng với cảm biến như trên Hình 1.

Cảm biến AS5600 [6-8] là cảm biến đo góc quay bằng việc cảm nhận từ trường của nam châm gắn trên trục quay. Cách thức đo góc được minh họa như trên Hình 2. Khi viên nam châm quay, từ trường cũng thay đổi theo góc 

quay tương ứng và từ đó cảm biến có thể xác định được góc quay. Do độ phân giải 12 bit nên nó trả về 4096 giá trị từ 0 đến 4095, tương ứng với góc quay từ 0° đến 360°. Khi viên nam châm xoay theo chiều kim đồng hồ thì giá trị này sẽ tăng và ngược chiều kim đồng hồ thì giá trị sẽ giảm.



Hình 1. Vỏ nhựa in 3D gắn cảm biến và động cơ



Hình 2. Cách thức đo góc quay sử dụng cảm biến AS5600 [9]

Như vậy, sử dụng vi điều khiển, ta sẽ đọc được giá trị nguyên n (từ 0 đến 4095) mà cảm biến trả về và từ đó tính ra được góc quay α (độ) thực tế theo công thức:

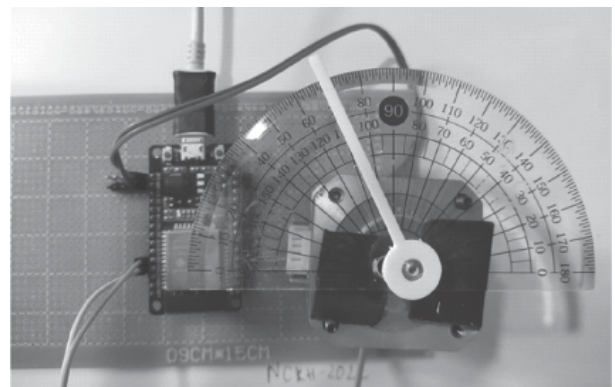
$$\alpha = n \cdot 360 / 4096 \quad (1)$$

3. THỰC NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

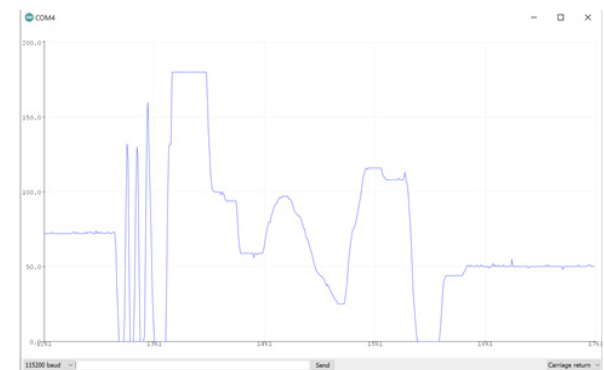
Để tiến hành việc đo góc bằng cảm biến, ta cần kết nối nó với vi điều khiển qua giao thức I2C. Ở đây, ta sử dụng vi điều khiển ESP32 trên môi trường lập trình Arduino và sử dụng Serial

Plotter của Arduino để vẽ góc quay đo được nhằm thuận tiện cho quá trình quan sát, kiểm chứng và đánh giá. Để đánh giá hoạt động đo vị trí trục động cơ bằng cảm biến, ta thực hiện thực nghiệm trong hai trường hợp: xoay trục động cơ thủ công bằng tay và cấp xung điều khiển để trục động cơ quay các góc ngẫu nhiên. Sau đó, ở cả hai trường hợp, ta đều dùng cảm biến đo góc quay thực tế để kiểm chứng.

3.1. Xoay trục quay thủ công



Hình 3. Thí nghiệm đo góc quay thủ công



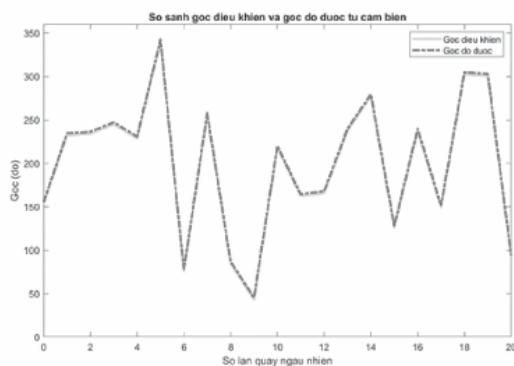
Hình 4. Kết quả đo góc quay

Ở trường hợp này, ta lắp một thước đo độ gắn cố định với vỏ động cơ, đồng thời trên trục động cơ, ta gắn một kim quay cùng để thuận tiện cho việc quan sát góc quay thực tế (như trên hình 3) và giá trị trả về từ cảm biến thông qua giao diện Serial Plotter của Arduino. Từ đồ thị hình 4, ta có thể thấy đáp ứng của

cảm biến trùng khớp với thông tin của trục quay ở tất cả các trường hợp:

- Quay cùng chiều kim đồng hồ, giá trị góc quay tăng;
- Quay ngược chiều kim đồng hồ, giá trị góc quay giảm;

- Để yên trục quay động cơ, giá trị góc quay giữ nguyên. Ví dụ, khi kim đo dừng ở góc 70° (so với thước đo độ) thì giá trị góc quay trên Serial Plotter cũng là 70° , tuy nhiên có thể quan sát thấy cảm biến có nhiễu nhỏ, khi trục động cơ đứng yên nhưng giá trị trả về không phải là một đường thẳng nằm ngang mà vẫn có những nhấp nhô.



Hình 5. Kết quả đo góc

3.2. Điều khiển trục quay và đo góc

Ở thực nghiệm này, ta sẽ sử dụng thêm một vi điều khiển ESP32 khác để điều khiển trục quay của động cơ bước thông qua driver TB6600. Hoạt động này sẽ độc lập với vi điều khiển đo góc quay sử dụng cảm biến AS5600. Ta sẽ sử dụng lệnh `random()` trong Arduino để tạo ra các số ngẫu nhiên và sẽ ra lệnh điều khiển trục quay quay đi số bước bằng số ngẫu nhiên vừa tạo ra. Sau đó, ta sẽ so sánh nó với kết quả góc quay trả về từ cảm biến. Ở đây, để tránh

hiện tượng mất bước, ta điều khiển trục quay quay không tải và ở tốc độ cho phép. Dữ liệu được xử lý bằng MATLAB và có kết quả như trên hình 5. Có thể thấy kết quả góc quay do lệnh điều khiển và giá trị trả về từ cảm biến là trùng khớp. Như vậy, giá trị trả về từ cảm biến là chính xác và đáng tin cậy, có thể sử dụng làm thông tin đầu vào cho các bài toán điều khiển.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã áp dụng thành công việc sử dụng cảm biến từ trường không tiếp xúc AS5600 để gắn lên các động cơ bước cỡ nhỏ, mạch hở nhằm phản hồi lại vị trí thực tế của trục quay, từ đó nâng cao chất lượng đáp ứng của các động cơ này. Phương pháp này có thể giữ giá thành ở mức thấp mà vẫn thu được chất lượng cần thiết đồng thời áp dụng được cho hầu hết các động cơ nhỏ có sẵn trên thị trường. Hướng nghiên cứu tiếp theo có thể tập trung vào việc hạn chế nhiễu từ giá trị trả về của cảm biến và kiểm tra sự sai lệch giữa góc quay thực tế với góc quay mong muốn từ tín hiệu điều khiển trong các trường hợp quá tải hoặc quay vượt quá tốc độ định mức, từ đó có thể nghiên cứu áp dụng các luật điều khiển phản hồi để đảm bảo độ chính xác cho hoạt động của hệ thống.

Lời cảm ơn:

Bài báo này là sản phẩm của đề tài NCKH cấp trường năm 2021-2022: "Nghiên cứu chế cánh tay Robot 4 bậc tự do cỡ nhỏ điều khiển qua Internet", được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT21-22.38.❖

Ngày nhận bài: 08/3/2022

Ngày phản biện: 16/3/2022



Tài liệu tham khảo:

- [1]. <https://www.orientalmotor.com/stepper-motors/technology/stepper-motor-overview.html>
- [2]. <https://www.explainthatstuff.com/how-stepper-motors-work.html>
- [3]. <https://www.automate.org/blogs/what-kinds-of-applications-are-best-for-stepper-motors>
- [4]. <https://www.ato.com/how-to-prevent-stepper-motor-losing-step>
- [5]. <https://www.machinedesign.com/motors-drives/article/21833271/why-openloop-steppers-lose-steps-and-how-to-solve-the-problem>
- [6]. Lung-Wentsai, "Robot Analysis, The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators", John Willey & Sons, INC. Publisher, 1999.
- [7]. <https://iotlabchannel.com/san-pham/module-cam-bien-goc-quay-bang-tu-truong-as5600-i2c/>
- [8]. <https://curiousscienstist.tech/blog/as5600-magnetic-position-encoder>
- [9]. <https://datasheetspdf.com/pdf/903352/ams/AS5600/1>
- [10]. Leenhouts, Albert. Step Motor Design Handbook. Kingman: Litchfield Engineering Co., 1990.
- [11]. Kruse, David. Leenhouts, Albert. Step Motor Design Handbook. Kingman: Litchfield Engineering Co., 1990. "BLDC/Stepper Motor Controller for High Performance Incremental Motion." Proc. of 22nd Incremental Motion Control Systems and Devices. Lebanon: IMCSS, 1993.
- [12]. Marushima, K. and Ralph Horber. "Development of a High Performance Sensorimotor with Sensor and Driving Coils." Proc. of 23th Incremental Motion Control Systems and Devices. Lebanon: IMCSS, 1994.