

XÂY DỰNG MÔ HÌNH HÓA ĐỘNG CƠ DC SERVO VÀ KẾT HỢP CHẠY MÔ PHỎNG BẰNG PHẦN MỀM MATLAB

● PHAN THẾ HIẾU - LÊ THANH TÙNG

TÓM TẮT:

Động cơ DC và động cơ bước vốn là những hệ hồi tiếp vòng hở. Khi cấp điện để động cơ quay nhưng chúng quay bao nhiêu thì ta không biết, kể cả đối với động cơ bước là động cơ quay một góc xác định tùy vào số xung nhận được. Việc thiết lập một hệ thống điều khiển để xác định những gì ngăn cản chuyển động quay của động cơ hoặc làm động cơ không quay cũng không dễ dàng. Với đề tài “Xây dựng mô hình hóa động cơ DC Servo và kết hợp chạy mô phỏng bằng phần mềm Matlab” được lựa chọn để thực hiện khảo sát với mục tiêu đưa ra các đề xuất và các giải pháp nhằm giải quyết vấn đề nêu trên ở động cơ DC và động cơ bước.

Từ khóa: động cơ bước, điều khiển, chuyển động quay, Matlab.

1. Đặt vấn đề

Động cơ servo được thiết kế cho những hồi tiếp vòng kín. Tín hiệu ra của động cơ được nối với một mạch điều khiển. Khi động cơ quay, vận tốc và vị trí sẽ được hồi tiếp về mạch điều khiển này. Nếu có bất kỳ lý do nào ngăn cản chuyển động quay của động cơ, cơ cấu hồi tiếp sẽ nhận tín hiệu ra chưa đạt được vị trí mong muốn. Mạch điều khiển tiếp tục chỉnh sai lệch cho động cơ đạt được điểm chính xác.

Động cơ servo có nhiều kiểu dáng và kích thước, được sử dụng trong nhiều máy khác nhau, từ máy tiện điều khiển bằng máy tính cho đến các mô hình máy bay và xe hơi. Ứng dụng mới nhất của động cơ servo là trong các robot, cùng loại với các động cơ dùng trong mô hình máy bay và xe hơi.

Các động cơ servo điều khiển bằng liên lạc vô tuyến được gọi là động cơ servo R/C (radio - controlled). Trong thực tế, bản thân động cơ servo không phải được điều khiển bằng vô tuyến, nó chỉ nối với máy thu vô tuyến trên máy bay hay xe hơi. Động cơ servo nhận tín hiệu từ máy thu này. Như

vậy có nghĩa không cần phải điều khiển robot bằng tín hiệu vô tuyến bằng cách sử dụng một động cơ servo [1].

2. Tổng quan nghiên cứu

2.1. Cấu tạo động cơ DC servo có chổi than

Động cơ servo dòng một chiều DC chổi than gồm 4 thành phần cơ bản: cuộn dây stator, nam châm vĩnh cửu, chổi than, cổ góp. Stator của động cơ DC là một nam châm vĩnh cửu, cuộn dây phần ứng lắp trên rôto. Trong quá trình hoạt động từ trường được sinh ra từ nam châm vĩnh cửu gắn trên stator tương tác với dòng từ trường sinh ra từ cuộn dây trên rotor khi có dòng điện chạy qua nó. Quá trình tương tác đó sinh ra momen tác động lên trục rotor. Momen này biểu diễn theo phương trình:

$$T_m = K_e * \theta * I_e * \sin \theta \quad (1)$$

- Momen của động cơ tỷ lệ thuận với điện áp phần ứng bởi hằng số K_t không đổi:

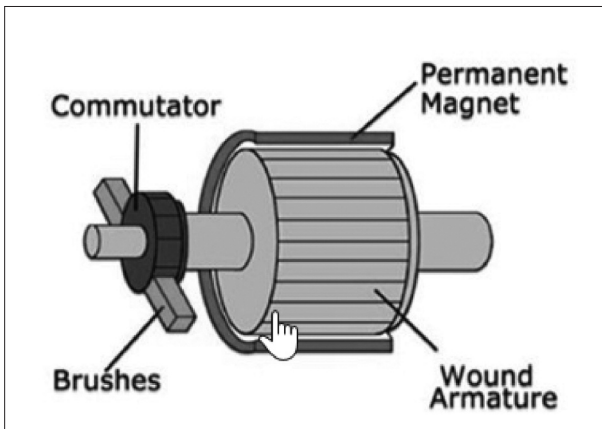
$$T = K_t * i$$

- Sức điện động cảm ứng tỷ lệ thuận với đạo hàm vị trí của động cơ với hệ số K_b không đổi:

$$E = K_b \cdot \dot{\theta}$$

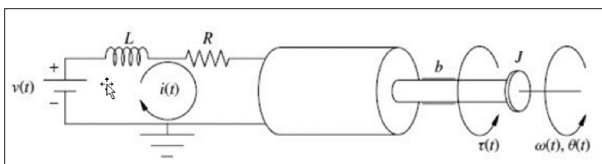
- Công thức (1) trên cho thấy phần tử $\sin\theta$ ảnh hưởng tới momen trên trục động cơ. Hình 2 chỉ ra quan hệ giữa vectơ từ trường cố định và vectơ dòng qua phần ứng. Momen trên trục động cơ tăng dần từ $\theta = 0^\circ$ và lớn nhất khi góc $\theta = 90^\circ$ có nghĩa là khi vectơ từ trường cố định vuông góc với vectơ dòng phần ứng, momen trên trục động cơ là lớn nhất khi và khi $\theta = 0^\circ$ vectơ dòng phần ứng, momen dòng phần ứng song song với vectơ từ trường cố định, tại đó momen trên trục là nhỏ nhất. Để đảm bảo momen trên trục động cơ luôn đạt được giá trị lớn nhất cần thiết phải điều khiển chuyển mạch cấp điện cho cuộn dây rotor sao cho vectơ dòng phần ứng luôn luôn vuông góc với từ trường cố định. Với các điều khiển quá trình cấp điện như trên momen động cơ sẽ biến thiên tỷ lệ với dòng cấp cho cuộn dây phần ứng [2].

Hình 1: Cấu tạo động cơ Servo DC



2.2. Xác định mô hình của hàm truyền

Hình 2: Mạch tương đương động cơ Servo



$$JL\ddot{\theta}(t) + (Lb + RJ)\dot{\theta}(t) + Rb\theta(t) = K_T v(t) \quad (2)$$

Với trạng thái ban đầu $\theta(0) = 0$

Từ phương trình (1) qua phép biến đổi laplace, ta có:

$$JL[s^3\theta(s) - s^2\theta(0) - s\dot{\theta}(0)] + (Lb + RJ) * [s^2\theta(s) - s\theta(0) - \dot{\theta}(0)] + Rb * s\theta(s) = K_T * u(s)$$

$$\Rightarrow JLS^3\theta(s) + (Lb + RJ) * S^2\theta(s) + Rb * S\theta(s) = K_T * u(s)$$

$$\Rightarrow \theta(s) * (JLS^3 + Lb * S^2 + RJ * S^2 + Rb * S) = K_T * u(s)$$

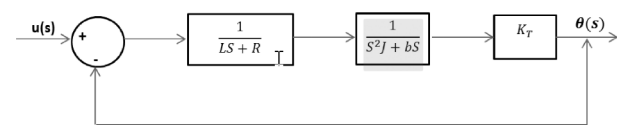
$$\Rightarrow G(s) = \frac{\theta(s)}{u(s)} = \frac{K_T}{(JLS^3 + Lb * S^2 + RJ * S^2 + Rb * S)}$$

$$\Rightarrow G(s) = \frac{\theta(s)}{u(s)} = \frac{K_T}{bS * (LS + R) + S^2J * (LS + R)}$$

$$\Rightarrow G(s) = \frac{\theta(s)}{u(s)} = \frac{K_T}{(S^2J + bS) * (LS + R)} \quad (2)$$

Dựa vào biểu thức trên, ta có mô hình hàm truyền sau đây:

Hình 3: Mô hình hàm truyền



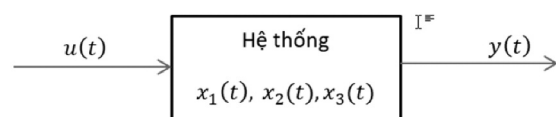
2.3. Xác định mô hình không gian trạng thái của động cơ Servo [3]

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) \end{cases}$$

Trong đó:

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix}; u(t) = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ u_3(t) \end{bmatrix}; y(t) = \theta(t); u(t) = v(t)$$

Hình 4: Sơ đồ mô hình không gian trạng thái



Đặt các vector biến trạng thái:

$$x(t) = [x_1(t), x_2(t), x_3(t)]^T = [\theta(t), \dot{\theta}(t), \ddot{\theta}(t)]^T,$$

vector đầu ra $y(t) = \theta(t)$, vector đầu vào $u(t) = v(t)$.

Ta có:

$$\begin{cases} x_1(t) = \theta(t) \\ x_2(t) = \dot{\theta}(t) \\ x_3(t) = \ddot{\theta}(t) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{x}_1(t) = \dot{\theta}(t) \\ \dot{x}_2(t) = \ddot{\theta}(t) \\ \dot{x}_3(t) = \ddot{\theta}(t) \end{cases} \quad (3)$$

Kết hợp biểu thức (1) và (3) ta được:

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) = x_3(t) \end{cases} \quad (4)$$

$$JL * \dot{x}_3(t) + (Lb + Rf) * x_3(t) + Rb * x_2(t) = K_T * u(t)$$

Từ biểu thức (4) ta được: $\dot{x}_1(t) = x_2(t)$

$$\begin{cases} \dot{x}_2(t) = x_3(t) \\ \dot{x}_3(t) = \frac{K_T}{JL} * u(t) - \frac{Rb}{JL} * x_2(t) - \frac{(Lb+Rf)}{JL} * x_3(t) \end{cases}$$

Viết lại dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{Rb}{JL} & -\frac{(Lb+Rf)}{JL} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_T}{JL} \end{bmatrix} * u(t)$$

$$y = \theta(t) = x_1(t) = [1 \ 0 \ 0] * \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + [0] * u(t)$$

3. Sử dụng MATLAB mô phỏng động cơ servo

3.1. Thực thi mô hình không gian trạng thái trong Simulink

Dựa vào mô hình không gian trạng thái ở hệ phương trình (4) ta xây dựng trong Simulink như sau [4-5]:

Thế vào biểu thức (4) ta được:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -2 & -3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix} * u(t) \quad (5)$$

Bảng 1. Các tham số vật lý của động cơ DC Servo

Tham số	Giá trị	Đơn vị	Tên
Kt	2	Nm/A	Hằng số momen
L	1	H	Điện cảm phần ứng
R	2	Ω	Điện trở phần ứng
J	1	Kgm ²	Momen quán tính của trục động cơ
b	1	Nms	Hệ số suy giảm/ma sát của động cơ

$$y = \theta(t) = x_1(t) = [1 \ 0 \ 0] * \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + [0] * u(t) \quad (6)$$

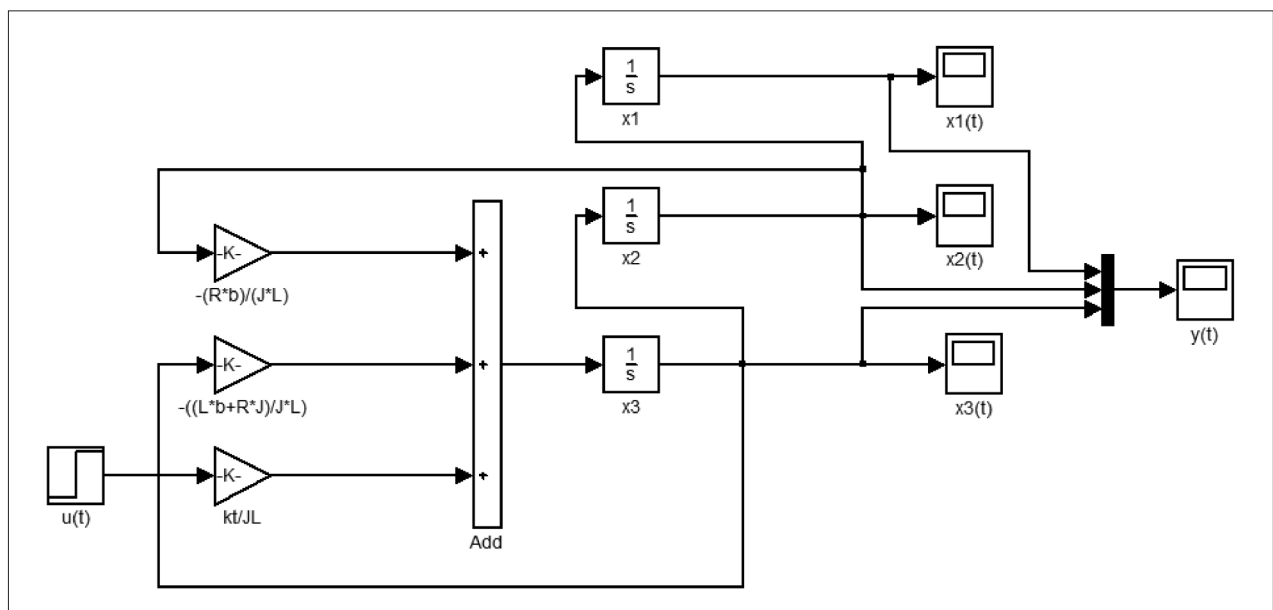
$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -2 & -3 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix}; \quad C = [1 \ 0 \ 0]; \quad D = [0]$$

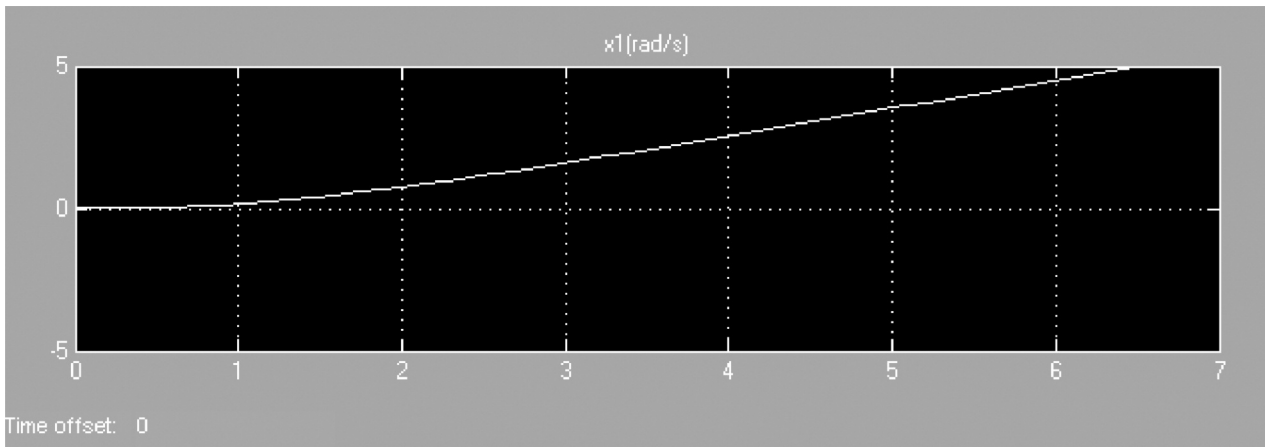
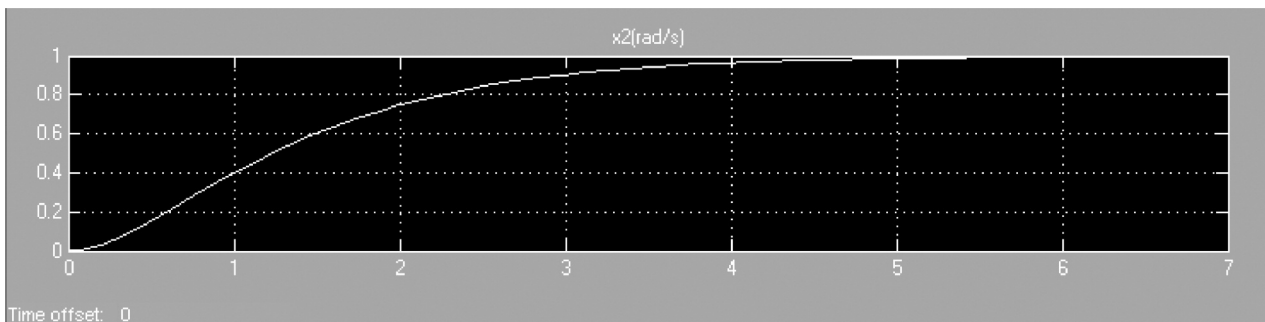
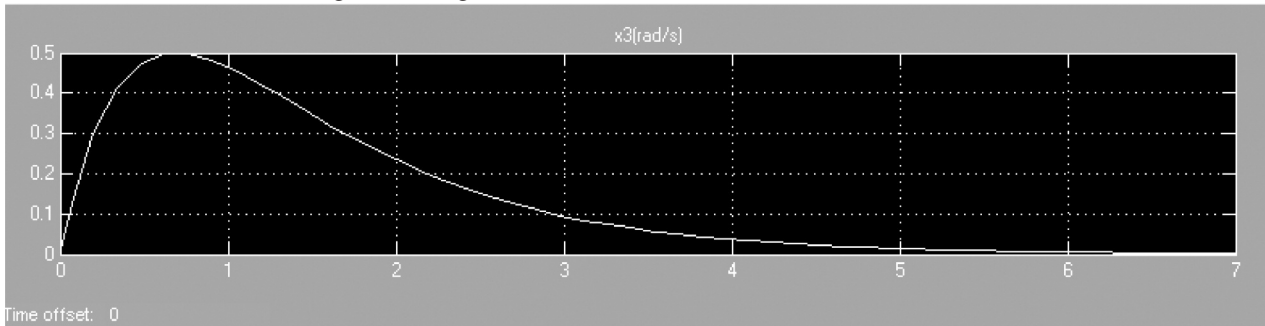
Dựa vào mô hình không gian trạng thái đã thiết lập bằng phần mềm Matlab Simulink ta có kết quả như sau:

Nhận xét: đồ thị bắt đầu tăng ở tọa độ (0;1) và tiếp tục tăng tuyến tính ở tọa độ (5;6.5).

Nhận xét: đồ thị tăng ở tọa độ (0.2;0.2) và tiếp

Hình 5: Thực thi mô hình không gian trạng thái trong Simulink



Hình 6: Kết quả mô phỏng với trạng thái x_1 Hình 7: Kết quả mô phỏng với trạng thái x_2 Hình 8: Kết quả mô phỏng với trạng thái x_3 

tục tăng tới tọa độ (1;5) thì bão hòa ở tọa độ này.

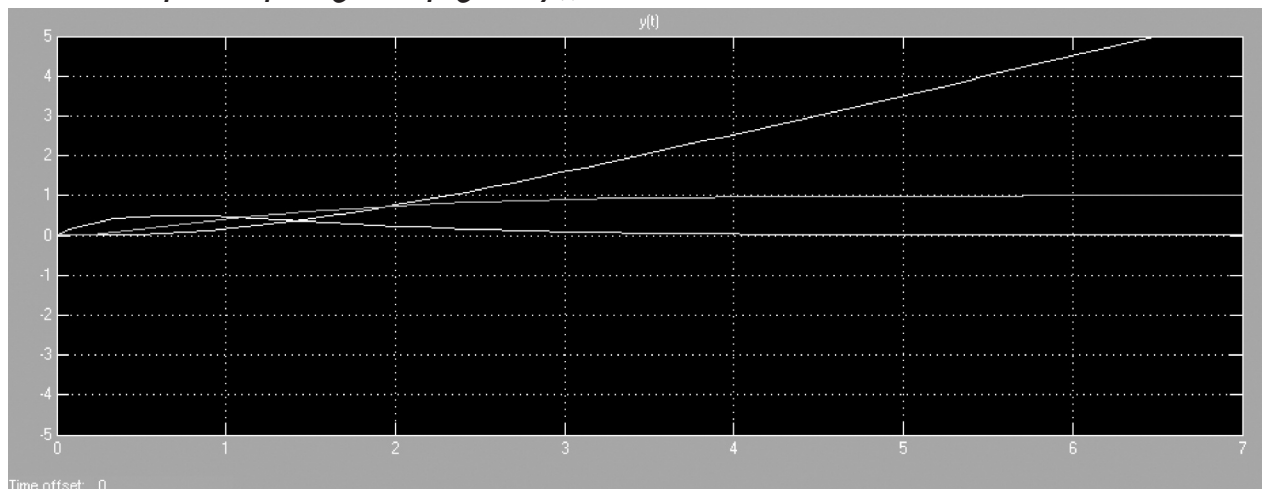
Nhận xét: đồ thị tăng tăng ở tọa độ (0;0) tiếp tục tăng tới giá trị đỉnh (0.5;0.8) và sau đó giảm dần về (0;0).

3.2. Mô phỏng hàm truyền trên Matlab

Từ những tham số trên chạy phần mềm Matlab động cơ servo có dạng đặc tuyến của hàm truyền như sau:

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{u(s)} = \frac{2}{s^3 + 3s^2 + 2s}$$

```
Ts = 2;
ms = [1 3 2 0];
Gs = tf(ts,ms)
Hs = 1
T = feedback(Gs, Hs)
step(T)
Transfer function: 2
-----
s^3 + 3 s^2 + 2 s
Hs = 1
```

Hình 9: Kết quả mô phỏng với trạng thái $y(t)$ 

Transfer function: 2

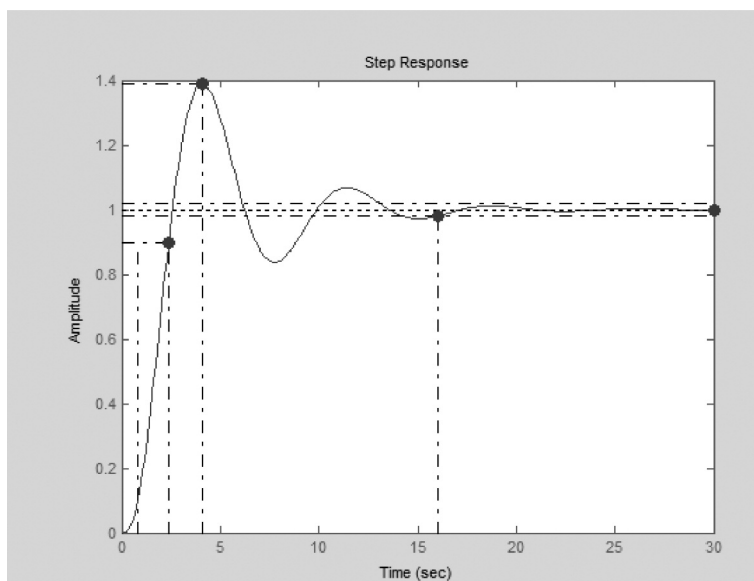
$$s^3 + 3s^2 + 2s + 2$$

4. Kết luận

Với đề tài: “Xây dựng mô hình hóa động cơ DC Servo và kết hợp chạy mô phỏng bằng phần mềm MATLAB” nhóm tác giả đã thiết lập mô hình toán cho một hệ thống và cách xây dựng mô hình không gian trạng thái ứng dụng chạy mô phỏng trên Simulink của phần mềm Matlab. Mô hình hóa thay thế đối tượng gốc bằng một mô hình. Lý thuyết xây dựng mô hình và nghiên cứu mô hình để hiểu biết về đối tượng gốc. Nếu các quá trình xảy ra trong mô hình đồng nhất với các quá trình xảy ra trong đối tượng gốc thì mô hình đồng nhất với đối tượng. Lúc này có thể tiến hành các thực nghiệm trên mô hình để thu nhận thông tin về đối tượng.

Ngày nay, với sự trợ giúp hữu hiệu của khoa học kỹ thuật, nhất là khoa học máy tính và công nghệ thông tin, các phương pháp mô hình hóa cho phép xây dựng các mô hình ngày càng thực tiễn hơn, đồng thời việc thu nhận kết quả được nhanh chóng và chính xác. Mô hình hóa là một phương pháp nghiên cứu khoa học mà tất cả những người làm khoa học, đặc biệt là các kỹ sư đều phải nghiên cứu và ứng dụng vào thực tiễn hoạt động của mình

Hình 10: Đặt tuyến của hàm truyền động cơ Servo



Từ các kết quả nghiên cứu và thực nghiệm trên ta thấy: Kết hợp mô phỏng Matlab và động cơ Servo có thể thực hiện tốt việc thu thập dữ liệu, tính toán và điều khiển trong hệ thống điều khiển tự động.

Ngoài ra, thư viện Matlab Simulink là thư viện nguồn mở nên người dùng hoàn toàn có thể chỉnh sửa, thêm bớt các công cụ cần thiết cho từng ứng dụng cụ thể. Có thể khai thác khả năng tính toán mạnh mẽ và phức tạp của Matlab để điều khiển các hệ thống tự động phức tạp và yêu cầu lượng tính toán lớn ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Vũ Gia Hanh (2006). *Giáo trình máy điện*. Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật.
2. Nguyễn Trọng Thắng (2006). *Giáo trình máy điện đặc biệt*. Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh.
3. Nguyễn Văn Hòa (2000). *Cơ sở lý thuyết điều khiển tự động*. Hà Nội: NXB khoa học và Kỹ thuật.
4. Nguyễn Hoàng Hải, Nguyễn Việt Anh (2006). *Lập trình với Matlab và ứng dụng*. Hà Nội: NXB khoa học và Kỹ thuật.
5. Trần Quang Khánh (2013). *Giáo trình cơ sở Matlab ứng dụng*, tập 1. Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật.

Ngày nhận bài: 22/2/2023

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 18/3/2023

Ngày chấp nhận đăng bài: 15/4/2023

Thông tin tác giả:

1. ThS. PHAN THẾ HIẾU

2. ThS. LÊ THANH TÙNG

Bộ môn Điện - Điện tử, Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh

DEVELOPING A MODEL OF DC SERVO MOTORS AND USING MATLAB SOFTWARE TO TEST THE MODEL

● Ms. **PHAN THE HIEU**¹

● Ms. **LE THANH TUNG**¹

¹Department of Electrical and Electronic engineering,
Faculty of Engineering and Technology,
Tra Vinh University

ABSTRACT:

DC and stepper motors are inherently open-loop feedback systems. When these motors are powered, they rotate but we do not know how much they rotate, even for a stepper motor which rotates at a certain angle depending on the number of received pulses. It is not easy to set up a control system to determine what prevents the motor from rotating. This study is to develop a model of DC servo motors. This model is simulated on the Matlab software in order to find out solutions for solving the above-mentioned problems of DC and stepper motors.

Keywords: stepper motors, control, motor rotating, Matlab.