

# MÔ PHỎNG ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KHÔNG CHỖI THAN SIMULATION OF BRUSHLEES DC MORTOR(BLDC)

GS.TSKH. THÂN NGỌC HOÀN  
Đại học Dân lập Hải Phòng  
ThS. MAI XUÂN MINH  
Trường Cao đẳng nghề CNHP

## Tóm tắt:

Động cơ một chiều không chổi than có tính chất của động cơ một chiều có chổi than nhưng có ưu điểm là không gây tia lửa khi làm việc nên có thể công tác tại mọi điều kiện của môi trường, vì lí do đó hiện nay nhiều công trình đang nghiên cứu về nó. Bài báo này giới thiệu một kết quả nghiên cứu tính chất động của động cơ không tiếp điểm bằng phần mềm MATLAB.

## Abstract:

A dynamic simulation model for the brushless dc(BLDC) motor drives using Matlab is presented. In this model, an entire BLDC motor drive, including power conversion unit, BLDC motor, and speed / torque control system is investigated. The detailed modeling method is explained and its actual implementation is described.

## 1. Mở đầu

Nhược điểm chủ yếu của động cơ điện một chiều là có hệ thống cổ góp-chổi than nên vận hành kém tin cậy và không an toàn trong các môi trường rung chấn, dễ cháy nổ.

Để tránh những nhược điểm trên máy điện một chiều không chổi than (BLDC) ra đời, đây thực chất là máy điện một chiều có hệ thống đảo chiều dòng điện bán dẫn. Loại máy này đang rất được quan tâm trong việc ứng dụng thay thế cho các hệ điều chỉnh tốc độ[1].

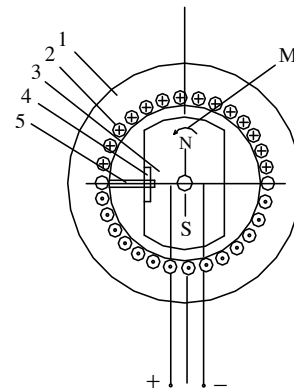
Để đáp ứng yêu cầu ngày càng gia tăng đối với hệ điều khiển động cơ BLDC, các thiết kế điều khiển xoay chiều động cơ BLDC đã được thực hiện cách đây trên hai chục năm. Việc xây dựng thuật toán cho mạch điều khiển động cơ BLDC được thiết lập khá tốt, sự phát triển của mạch điều khiển và các bộ chuyển đổi công suất là đáng kể, song vấn đề dao động momen, dải điều chỉnh tốc độ hạn chế, hiệu suất thấp, tính ổn định của các tham số không cao đã làm hạn chế hiệu suất của máy điện và việc tối ưu hoá toàn bộ hệ thống điều khiển[2].

Hiện nay trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu nhằm cải tiến, tối ưu hoá hệ điều khiển động cơ BLDC như: phương pháp điều khiển động cơ BLDC không dùng cảm biến vị trí roto của J.P. Johnson; nghiên cứu giảm thiểu sự dao động của momen cho động cơ BLDC... tuy nhiên những nghiên cứu về tính chất động của hệ thống truyền động cho động cơ này còn chưa được đề cập nhiều. Do đó trong bài báo này trình bày nghiên cứu bằng mô phỏng tính chất động của hệ thống truyền động với động cơ BLDC.

## 2. Cấu tạo và nguyên lý làm việc.

Khác với động cơ một chiều bình thường, động cơ một chiều không chổi than có phần ứng đứng yên nằm trên stato và phần cảm quay đặt trên roto. Trên hình.1 vẽ mô hình của động cơ không tiếp xúc.

Stato (1) của động cơ không tiếp xúc hình.1 được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện. Trong các rãnh của stato đặt cuộn ứng (2) giống như trong rãnh của phần ứng bình thường. Phần cảm của động cơ thường là nam châm vĩnh cửu (3). Để đơn giản có thể mô hình hóa bộ phận đổi chiều điện tử bằng giá đỡ chổi than (4) và chổi than (5) đặt trên roto. Bộ phận đổi chiều quay cùng pha với roto và đóng ngắt các bố trí dây của cuộn ứng trên stato sao cho dòng điện chạy trong cuộn ứng đối diện với từng cực từ của phần cảm roto luôn có chiều không đổi. Khi đó các quan hệ điện từ của động cơ một chiều không chổi than giống



H1. Cấu tạo của động cơ một chiều không chổi than

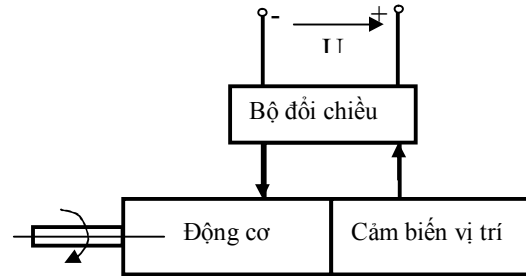
như động cơ bình thường và được biểu diễn bằng các phương trình cân bằng điện áp, các biểu thức tính sốđ, dòng điện và momen quay của động cơ một chiều bình thường[1].

Trong động cơ một chiều không chổi than, cuộn dây phần ứng đứng yên nên bộ phận đổi chiều được thay thế bằng bộ đổi chiều điện tử, được điều khiển bởi bộ cảm biến vị trí đặt trên trục của động cơ. Nhờ vậy, bộ đổi chiều điện tử có thể đảm bảo sự thay đổi dòng điện trong cuộn ứng khi roto quay tương tự như vành góp chổi than.

Trên hình 2 là sơ đồ chức năng động cơ một chiều không chổi than gồm 3 khối:

**Hoạt động của động cơ một chiều không chổi than như sau: (hình 3)**

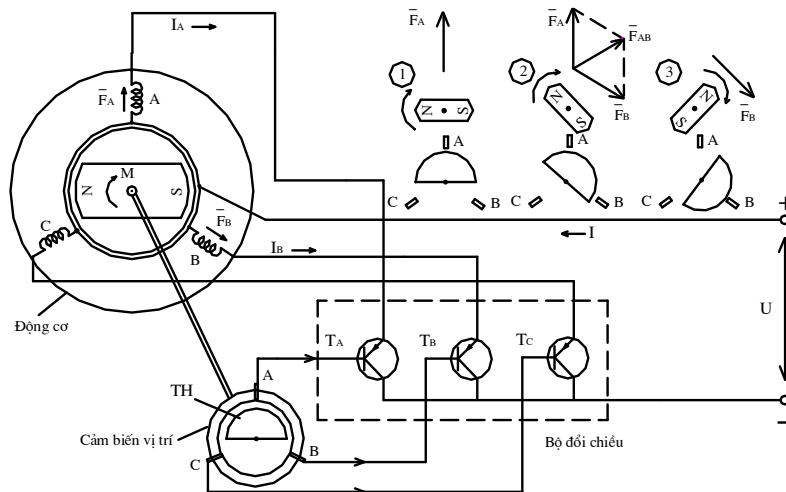
Cuộn dây phần ứng stato gồm ba cuộn là A, B và C, lệch nhau trong không gian  $120^\circ$  và nối hình sao. Cảm biến vị trí gồm hai phần: phần quay gọi là roto và phần đứng yên là stato. Roto cảm biến vị trí có dạng hình tròn khuyết đặt trên cùng một trục với roto động cơ là phần tử tín hiệu TH của cảm biến vị trí. Stato cảm biến vị trí có các phần tử cảm ứng  $C_A, C_B, C_C$  ứng với vị trí các pha A, B, C của động cơ. Dưới tác động của phần tử tín hiệu TH, các phần tử cảm ứng tạo ra tín hiệu điều khiển để đưa vào bộ đổi chiều.



**H2. Sơ đồ chức năng động cơ một chiều không chổi than**

Trong sơ đồ (hình.3) bộ đổi chiều gồm ba transistor  $T_A, T_B, T_C$ , mắc nối tiếp với các pha A, B, C của động cơ. Chúng làm việc ở chế độ khóa.

Phần tử tín hiệu của cảm biến vị trí nằm gần phần tử cảm ứng tương ứng với pha A,  $C_A$ . Nhờ tín hiệu điều khiển (điện áp) của  $C_A$ , transistor  $T_A$  mở, trong pha A của cuộn ứng động cơ xuất hiện dòng điện,  $I_A \neq 0$ . Trong lúc đó, vì  $T_B, T_C$  đóng nên  $I_B = I_C = 0$ . Nhờ sự tương tác giữa STĐ pha A của cuộn ứng với từ thông của từ trường nam châm vĩnh cửu roto, trong động cơ xuất hiện momen quay, tác động lên roto làm nó quay theo chiều kim đồng hồ. Phần tử tín hiệu của cảm biến vị trí đồng thời quay cùng roto của động cơ.



**H3. Sơ đồ nguyên lý đơn giản của động cơ một chiều không chổi than với 3 cuộn dây trên stato**

Khi góc quay của roto lớn hơn  $30^\circ$  một chút, phần tử tín hiệu tác động đồng thời lên hai phần tử cảm ứng  $C_A$  và  $C_B$  (vị trí 2 trên hình.3). Các transistor  $T_A$  và  $T_B$  lập tức mở, dòng điện chảy trong các pha A và B dây quấn,  $I_A \neq 0, I_B \neq 0$ . Nhờ sức từ động của pha B, sức từ động tổng của cuộn stato  $F_{AB}$  quay đi một góc khoảng  $60^\circ$  so với vị trí ban đầu và tác động với từ thông của nam châm vĩnh cửu làm cho roto tiếp tục quay theo chiều kim đồng hồ.

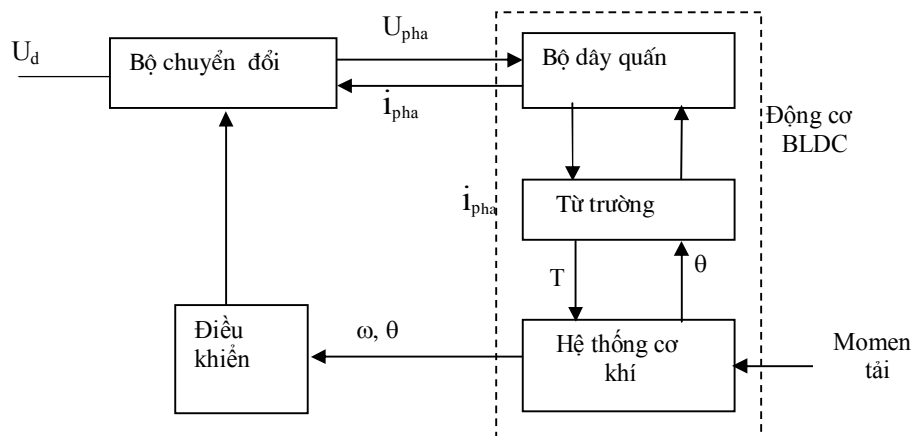
Khi góc quay của roto lớn hơn  $90^\circ$  một chút (vị trí 3 trên hình.3), phần tử tín hiệu chỉ tác động lên phần tử cảm ứng CB. Do đó, transistor  $T_B$  mở, các transistor còn lại đóng. Dòng điện chỉ

chạy trong pha B của cuộn dây;  $I_B \neq 0$ ,  $I_A = I_C = 0$ . STĐ của pha B chính là sức từ động của dây quấn stato. Nhờ vậy, roto tiếp tục quay theo chiều của mình. Tín hiệu điều khiển từ cảm biến vị trí được đưa vào các transistor bộ phận đổi chiều và đóng mở chúng đúng lúc.

Nếu tăng số pha của cuộn stato, và số phần tử cảm biến và số transistor bằng số bội dây và phần góp D của máy điện một chiều bình thường, thì đặc tính của máy điện không chổi than một chiều hoàn toàn giống máy điện một chiều vành góp. Tuy nhiên, việc tăng số lượng các pha dây quấn stato kéo theo sự phức tạp của sơ đồ điều khiển. Vì vậy trong thực tế số pha của dây quấn thường không vượt quá bốn.

### 3. Mô phỏng hệ thống truyền động động cơ một chiều không chổi than (BLDC).

Dưới đây đề xuất mô hình điều khiển động cơ một chiều không tiếp điểm và cách thực hiện nó. Đặc biệt việc mô phỏng bộ biến đổi PWM được thực hiện bằng hàm đóng ngắt. Sự phát triển của mô hình dưới dạng các mô đun nên có thể dễ dàng mở rộng phạm vi mô phỏng cho những bài toán mô phỏng động cơ khác chỉ với thay đổi nhỏ.



H4. Sơ đồ khối và điều khiển động cơ BLDC

#### 3.1. Sơ đồ chức năng hệ thống điều khiển động cơ BLDC.

Trên Hình-5 trình bày sơ đồ khối cho việc điều khiển động cơ không chổi than BLDC. Sơ đồ bao gồm 7 khối chức năng: Khối sức phản điện động EMF; khối dòng pha; khối điều khiển trễ dòng; khối nghịch lưu PWM, I

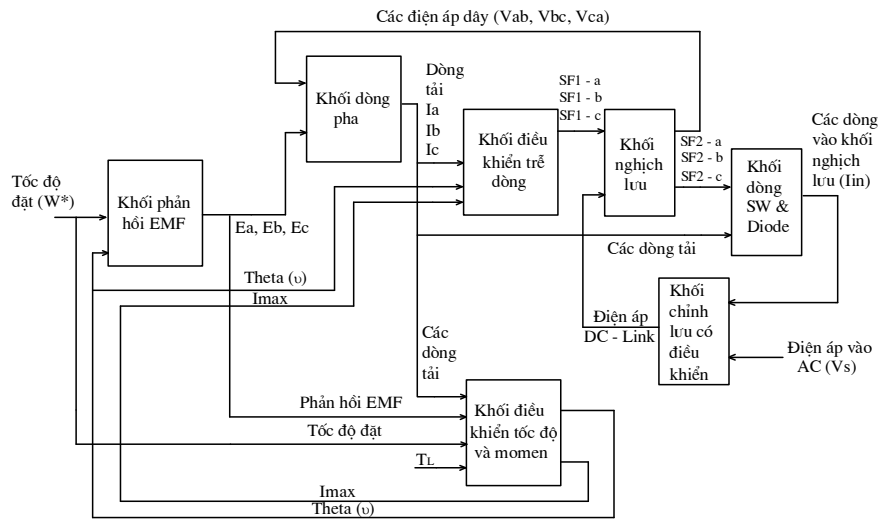
khối chỉnh lưu có điều khiển, khối điều khiển momen/ tốc độ; khối phát dòng đến các van bán dẫn và diode.

Khối chỉnh lưu có điều khiển biến đổi điện áp xoay chiều tần số công nghiệp sau đó lọc để cấp điện áp một chiều cho khối biến đổi.

Khối biến đổi có nhiệm vụ biến đổi nguồn điện áp một chiều ở đầu vào thành nguồn điện áp xoay chiều ba pha có tần số mong muốn để cấp cho động cơ BLDC.

Khối điều khiển dòng điều chỉnh biên độ và pha của các dòng điện stato. Có hai phương pháp chính: Bộ điều chỉnh dòng có đặc tính trễ và bộ điều chỉnh dòng PI có khâu so sánh. Khi dùng bộ điều chỉnh dòng có đặc tính trễ thì hệ thống đạt được chất lượng cao.

Khối điều khiển momen/tốc độ với tín hiệu đầu vào gồm dòng điện các pha, các sức phản điện động, tốc độ đặt và momen tải. Khối thực hiện xử lý để đưa ra các thông tin về góc quay roto  $\theta$ , và dòng điện đặt  $I_{max}$ .



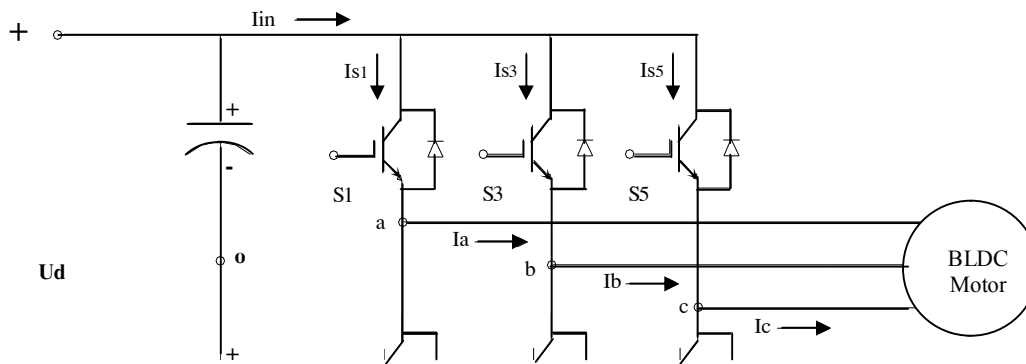
Hình 5. Sơ đồ chức năng điều khiển động cơ BLDC

Khối dòng pha thực hiện hàm toán mô tả động cơ BLDC, có tín hiệu vào là các điện áp dây đã được điều chỉnh từ khối điều khiển trở dòng, các tín hiệu sức phản điện các pha. Tín hiệu ra từ khối này là các dòng pha, được sử dụng như tín hiệu phản hồi dòng cho các khâu xử lý khác như: khối điều khiển trở dòng, khối dòng chuyển mạch & diot, khối điều khiển momen - tốc độ.

Khối sức phản điện động tính toán sức phản điện trên các cuộn dây stator ứng với góc quay của roto. Dưới đây ta xét từng khối một.

### 3.2. Bộ biến đổi dùng IGBT

Trên hình 6 là cấu trúc mạch công suất của hệ thống biến đổi điều khiển động cơ BLDC ba pha. Thiết bị gồm 6 van IGBT được nối theo sơ đồ cầu.



Hình 6 Bộ biến đổi công suất dùng IGBT

Mô hình toán động cơ BLDC có thể được biểu diễn như sau:

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L-M & 0 & 0 \\ 0 & L-M & 0 \\ 0 & 0 & L-M \end{bmatrix} \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

trong đó  $e_a, e_b$  và  $e_c$  là các sức phản điện động EMF có dạng hình thang, Hình 6.

Biểu thức của mômen điện từ:

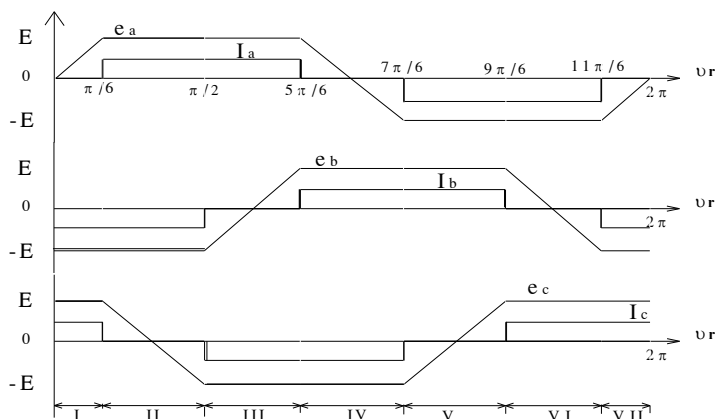
$$M_e = \frac{1}{\omega_r} \cdot (e_a \cdot i_a + e_b \cdot i_b + e_c \cdot i_c) \quad (2)$$

Phương trình cân bằng truyền động điện sau:

$$M_e = T_L + J \frac{d\omega_r}{dt} + B \omega_r \quad (3)$$

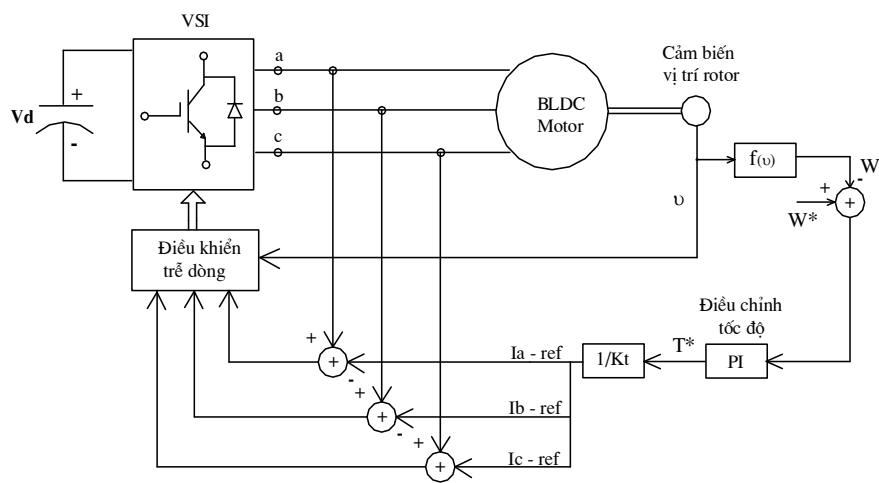
trong đó  $M_L$  là momen tải,  $J$  là mômen quán tính, và  $B$  là hệ số giảm chấn.

Hoạt động của bộ biến đổi PWM ba pha có thể chia thành sáu giai đoạn theo các trạng thái của dòng điện trong các pha của động cơ như hình 7. Dòng điện ba pha được điều khiển có dạng sóng hình chữ nhật và đồng bộ với tín hiệu phản hồi hình thang EMF để tạo ra momen không đổi.



**H7. Đồ thị dòng pha và sóng phản hồi của BLDC**

Nhiệm vụ đó được thực hiện bởi mạch điều khiển momen/ tốc độ kết hợp với bộ cảm biến vị trí roto và bộ điều khiển trễ dòng, hình 8:



**H8. Sơ đồ chức năng mạch điều khiển động cơ BLDC**

### 3.3. Khối chức năng sức phản điện động EMF.

Hình 7 chỉ ra rằng, sức phản điện động EMF là hàm của vị trí roto ( $\theta_r$ ), mà biên độ của nó tỉ lệ với tốc độ góc:  $E = K_e \cdot \omega_r$  ( $K_e$  là hệ số phản hồi).

Các hàm  $f_a(u)$ ,  $f_b(u)$  và  $f_c(u)$  cho phép xác định giá trị tức thời của các sức điện động  $e_a$ ,  $e_b$  và  $e_c$  tương ứng với các vị trí khác nhau của roto ( $\theta_r$ ).

Căn cứ vào vị trí roto biểu thức của số phản hồi EMF các pha  $e_a, e_b, e_c$  biểu diễn qua tập hàm sau (4),(5),(6):

$$e_a = \begin{cases} (6E/\pi)\theta_r & (0 < \theta_r < \pi/6) \\ E & (\pi/6 < \theta_r < 5\pi/6) \\ -(6E/\pi)\theta_r + 6E & (5\pi/6 < \theta_r < 7\pi/6) \\ -E & (7\pi/6 < \theta_r < 11\pi/6) \\ -(6E/\pi)\theta_r - 12E & (11\pi/6 < \theta_r < 2\pi) \end{cases} \quad (4)$$

$$e_b = \begin{cases} -E & (0 < \theta_r < \pi/2) \\ (6E/\pi)\theta_r - 4E & (5\pi/6 < \theta_r < 9\pi/6) \\ E & (\pi/6 < \theta_r < 5\pi/6) \\ -(6E/\pi)\theta_r + 10E & (9\pi/6 < \theta_r < 11\pi/6) \\ -E & (11\pi/6 < \theta_r < 2\pi) \end{cases} \quad (5)$$

$$e_c = \begin{cases} E & (0 < \theta_r < \pi/6) \\ -(6E/\pi)\theta_r + 2E & (\pi/6 < \theta_r < \pi/2) \\ -E & (\pi/2 < \theta_r < 7\pi/6) \\ (6E/\pi)\theta_r - 8E & (7\pi/6 < \theta_r < 9\pi/6) \\ E & (9\pi/6 < \theta_r < 2\pi) \end{cases} \quad (6)$$

Để mô phỏng các EMF trên matlab phải đưa thêm vào một biến logic S, biến này là đầu ra của hàm so sánh, có hai giá trị 0 hoặc 1 phụ thuộc vào kết quả so sánh của vị trí roto  $\theta_r$  với các giá trị xác định. Ví dụ cho pha A là hàm  $f_a(u)$  thì biến lô gíc như sau:

$$\begin{aligned} \text{If } \theta > 0 \quad \text{AND} \quad \theta < \pi/6 \quad \text{THEN} \quad S_1 = 1 \quad \text{ELSE} \quad S_1 = 0 \\ \text{If } \theta > \pi/6 \quad \text{AND} \quad \theta < 5\pi/6 \quad \text{THEN} \quad S_2 = 1 \quad \text{ELSE} \quad S_2 = 0 \\ \text{If } \theta > 5\pi/6 \quad \text{AND} \quad \theta < 7\pi/6 \quad \text{THEN} \quad S_3 = 1 \quad \text{ELSE} \quad S_3 = 0 \\ \text{If } \theta > 7\pi/6 \quad \text{AND} \quad \theta < 11\pi/6 \quad \text{THEN} \quad S_4 = 1 \quad \text{ELSE} \quad S_4 = 0 \\ \text{If } \theta > 11\pi/6 \quad \text{AND} \quad \theta < 2\pi \quad \text{THEN} \quad S_5 = 1 \quad \text{ELSE} \quad S_5 = 0 \end{aligned}$$

Kết quả hàm  $e_a$  được biểu diễn như sau:

$$e_a = (6E/\pi)\theta_r \cdot S_1 + E \cdot S_2 + [-(6E/\pi)\theta_r + 6E] \cdot S_3 - E \cdot S_4 + [(6E/\pi)\theta_r - 12E] \cdot S_5$$

Giá trị biên độ E của sức điện động được xác định qua khối *product* nó thực hiện phép nhân giữa hai phần tử đầu vào là tốc độ đặt  $\omega_{ref}$  và hằng số sức điện động  $K_e$ .

Với các hàm còn lại là  $f_b(u)$  và  $f_c(u)$  thì việc mô phỏng được thực hiện tương tự trên. Kết quả là ở đầu ra của khối này là các sức phản điện động của động cơ có dạng sóng là hình thang đồng dạng và lệch nhau  $120^\circ$  điện.

### 3.4. Khối chức năng điều khiển momen tốc độ.

Phương trình đặc tính momen và tốc độ của động cơ BLDC được cho ở phương trình (3), bỏ qua hệ số giảm chấn ( $B = 0$ ), ta có:

$$T_e = T_L + J \frac{d\omega_r}{dt} \quad (7)$$

$$\omega_r = \frac{1}{J} \int (T_e - T_L) dt = \frac{1}{J} \int (T_a + T_b + T_c - T_L) dt \quad (8)$$

và liên hệ giữa công suất điện ( $P_e$ ) và công suất cơ ( $P_m$ ) là:

$$P_e = E I_{max} = P_m = T_e \cdot \omega_r \quad (9)$$

Vậy nên có ta có thể điều khiển trực tiếp momen bằng việc thay đổi biên độ dòng điện như sau:

$$T_e = \frac{E \cdot I_{\max}}{\omega_r} = K_T I_{\max}, \quad (K_T = E / \omega_r \approx K_e) \quad (10)$$

Trong đó  $\frac{e_a I_a}{\omega_r} = T_a$ ,  $\frac{e_b I_b}{\omega_r} = T_b$  và  $\frac{e_c I_c}{\omega_r} = T_c$  được thực hiện bởi các khối chức năng

*product*. Các kết quả được tổng hợp với momen tải TL qua khối *sum* để thực hiện phép tính  $T_a + T_b + T_c - T_L$ . Tiếp đó thông qua các khối chức năng *Gain* và *Integrator* tốc độ góc của roto  $\omega_r$  được xác định. Hàm  $1/(u[1])$  có chức năng thực hiện nghịch đảo giá trị tốc độ góc ( $\omega_r$ ) để xác định momen điện từ tạo ra ở các pha.

Trong mô hình này vị trí roto ( $\theta_r$ ) được tính toán từ tốc độ góc ( $\omega_r$ ) thay đổi từ 0 đến  $2\pi$  trong một chu kỳ dòng điện nhờ khâu tích phân. Tín hiệu vị trí roto sau đó được đưa đến khối phân hồi EMF để tính toán chính xác các dạng sóng phản hồi.

Cũng trong khối này, giá trị dòng đặt  $I_{\max}$  được tính toán nhờ khâu so sánh tốc độ roto ( $\omega_r$ ) và tốc độ tham khảo ( $\omega_{ref}$ ) và khâu tỉ lệ tích phân PI.

Có thể nhận được tín hiệu vị trí roto bằng cách sử dụng hàm “Floor” trong Matlab:

$$f(u) = u[1] - [\text{floor}(u[1]/2\pi) \cdot 2\pi] \quad (11)$$

với  $u[1]$  là tín hiệu của vị trí roto.

(*Đăng tiếp kỳ sau*)

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO:**

- [1]. A. Kusko and S.M. Peeran (1988), *Definition of brushless permanent magnet motor*, in Conf..Rec. IEEE-IAS.
- [2]. J. P. Johnson and M. Ehsani, *Review of sensorless methods for brushless DC motor*, in Conf..Rec. IEEE-IAS.
- [3]. Robert H. Bishop (1996), *Modern Control Systems Analysis and Design Using Matlab - Simulink*. Addison Wesley Longman, Inc.
- [4]. Chee-Munong (1998), *Dynamic Simulation of Electric Machinery Using Matlab-Simulink*. Prentice-Hall, Inc.
- [5]. R. Chauprade (1994), *Commande des moteurs à courant continu*, Saint-Germain, Paris.
- [6]. M. Bellier et A. Galichon (1987), *Machines Électriques*, Soufflot, Paris.

---

**Người phản biện: TS. Nguyễn Tiến Ban**