

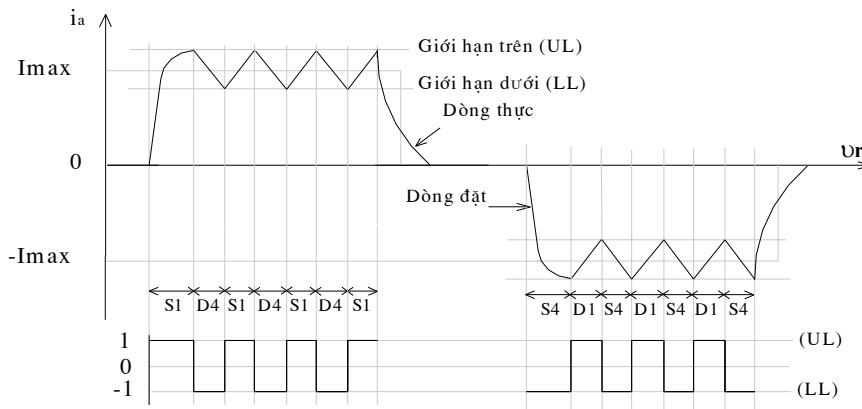
MÔ PHỎNG ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KHÔNG CHỖI THAN
SIMULATION OF BRUSHLESS DC MOTOR(BLDC)

(tiếp theo kỳ trước)

PGS.TSKH. THÂN NGỌC HOÀN
 Đại học Dân lập Hải Phòng
ThS. MAI XUÂN MINH
 Trường CĐ nghề CNHP

4. Khối chức năng điều khiển trở dòng.

Khối điều chỉnh dòng có nhiệm vụ điều chỉnh điện áp stato động cơ sao cho dòng điện stato luôn bám sát tín hiệu dòng đặt. Sử dụng bộ điều khiển trở dòng lượng cực để nhận được đáp tuyến biến đổi nhanh nhất trong quá trình quá độ. Quá trình điều khiển dòng pha được chia thành 4 giai đoạn theo cực tính của dòng điện. Trên hình 8 ta trình bày sự điều chỉnh dòng cho pha A.



Hình 8 Hàm chuyển mạch của pha A(SF_{1-a})

- Giai đoạn 1: $i_a > UL \rightarrow$ Van S_4 dẫn.
- Giai đoạn 2: $i_a < LL \rightarrow$ Van S_4 khóa và D_1 dẫn.
- Giai đoạn 3: $LL < i_a < UL$ và $di_a / dt < 0 \rightarrow$ Van S_4 dẫn.
- Giai đoạn 4: $LL < i_a < UL$ và $di_a / dt > 0 \rightarrow$ Van S_4 khóa và D_1 dẫn.

Trên các bảng.1, bảng.2 và bảng.3 phân tích một cách chi tiết trạng thái dẫn dòng của các phần tử chuyển mạch hay diot theo trạng thái các dòng điện pha.

Bảng.1. U_{ab} và các phần tử dẫn tùy theo trạng thái dòng điện

U_{ab} và các phần tử dẫn dòng		i_a				
		>0		<0		
		$di_a/dt > 0$	$di_a/dt < 0$	$di_a/dt > 0$	$di_a/dt < 0$	
i_b	>0	$di_b/dt > 0$	x	x	x	$-U_d, S_3, S_4$
		$di_b/dt < 0$	x	x	U_d, D_1, D_6	x
	<0	$di_b/dt > 0$	x	$-U_d, D_3, D_4$	x	x
		$di_b/dt < 0$	U_d, S_1, S_6	x	x	x

Bảng.2. U_{bc} và các phần tử dẫn tùy theo trạng thái dòng điện

U_{bc} và các phần tử dẫn dòng		i_b				
		>0		<0		
		$di_b/dt > 0$	$di_b/dt < 0$	$di_b/dt > 0$	$di_b/dt < 0$	
i_c	>0	$di_c/dt > 0$	x	x	x	$-U_d, S_5, S_6$
		$di_c/dt < 0$	x	x	U_d, D_2, D_3	x
	<0	$di_c/dt > 0$	x	$-U_d, D_5, D_6$	x	x
		$di_c/dt < 0$	U_d, S_2, S_3	x	x	x

Bảng.3. U_{ca} và các phần tử dẫn tùy theo trạng thái dòng điện

U_{ca} và các phần tử dẫn		i_c
-----------------------------	--	-------

dòng		>0		<0		
		$di_c/dt > 0$	$di_c/dt < 0$	$di_c/dt > 0$	$di_c/dt < 0$	
I_a	>0	$di_a/dt > 0$	x	x	x	$-U_d, S_1, S_2$
		$di_a/dt < 0$	x	x	U_d, D_4, D_5	x
	<0	$di_a/dt > 0$	x	$-U_d, D_1, D_2$	x	x
		$di_a/dt < 0$	U_d, S_4, S_5	x	x	x

Mạch điều chỉnh trở dòng logic được thực hiện trong khối hàm $fa(u)$ kết hợp với dòng đo được ở pha A là I_a , dòng so sánh I_{max} và tín hiệu từ bộ cảm biến vị trí roto θ_r được tính trong một chu kỳ từ 0 đến 2π .

Hàm $fa(u)$ được xây dựng theo thuật toán sau:

$$fa(u) = (u[4] > \pi/6). (u[4] < 5\pi/6) \times [(u[1] < u[3]*0.9) - [(u[1] > u[3]*1.1) + (u[1] > u[3]*0.9) * [(u[1] < u[3]*1.1) * (u[1] > u[2]) - (u[1] > u[3]*0.9) * [(u[1] < u[3]*1.1) * (u[1] < u[2])]] + (u[4] > 7\pi/6). (u[4] < 11\pi/6) \times [-(u[1] > -u[3]*0.9) + [(u[1] < -u[3]*1.1) - (u[1] < -u[3]*0.9) * [(u[1] > -u[3]*1.1) * (u[1] < u[2])] + (u[1] < -u[3]*0.9) * [(u[1] > -u[3]*1.1) * (u[1] > u[2])]]$$
 (12)

trong đó: $u[1]$ là dòng I_a đo được; $u[2]$ là giá trị trước của I_a .

$u[3]$ là giá trị cực đại của dòng đặt (I_{max}); $u[4]$ là vị trí roto (θ_r).

$u[3]*0.9$ là giới hạn dưới (LL); $u[3]*1.1$ là giới hạn trên (UL).

Tương tự ta xây dựng được các hàm cho các pha còn lại là $f_b(u)$:

$$f_b(u) = (u[4] > 0). (u[4] < \pi/2) \times [-(u[1] > -u[3]*0.9) + [(u[1] < -u[3]*1.1) - (u[1] < -u[3]*0.9) * [(u[1] > -u[3]*1.1) * (u[1] < u[2])] + (u[1] < -u[3]*0.9) * [(u[1] > -u[3]*1.1) * (u[1] > u[2])]] + (u[4] > 5\pi/6). (u[4] < 9\pi/6) \times [(u[1] < u[3]*0.9) - [(u[1] > u[3]*1.1) + (u[1] > u[3]*0.9) * [(u[1] < u[3]*1.1) * (u[1] > u[2]) - (u[1] > u[3]*0.9) * [(u[1] < u[3]*1.1) * (u[1] < u[2])]] + (u[4] > 11\pi/6). (u[4] < 2\pi) \times [-(u[1] > -u[3]*0.9) + [(u[1] < -u[3]*1.1) - (u[1] < -u[3]*0.9) * [(u[1] > -u[3]*1.1) * (u[1] < u[2])] + (u[1] < -u[3]*0.9) * [(u[1] > -u[3]*1.1) * (u[1] > u[2])]]$$
 (13)

Và hàm $f_c(u)$:

$$f_c(u) = (u[4] > 0). (u[4] < \pi/6) \times [(u[1] < u[3]*0.9) - [(u[1] > u[3]*1.1) + (u[1] > u[3]*0.9) * [(u[1] < u[3]*1.1) * (u[1] > u[2]) - (u[1] > u[3]*0.9) * [(u[1] < u[3]*1.1) * (u[1] < u[2])]] + (u[4] > \pi/2). (u[4] < 7\pi/6) \times [-(u[1] > -u[3]*0.9) + [(u[1] < -u[3]*1.1) - (u[1] < -u[3]*0.9) * [(u[1] > -u[3]*1.1) * (u[1] < u[2])] + (u[1] < -u[3]*0.9) * [(u[1] > -u[3]*1.1) * (u[1] > u[2])]] + (u[4] > 9\pi/6). (u[4] < 2\pi) \times [(u[1] < u[3]*0.9) - [(u[1] > u[3]*1.1) + (u[1] > u[3]*0.9) * [(u[1] < u[3]*1.1) * (u[1] > u[2]) - (u[1] > u[3]*0.9) * [(u[1] < u[3]*1.1) * (u[1] < u[2])]]$$
 (14)

Từ các khâu điều chỉnh logic trở dòng này các hàm chuyển mạch SF_{1-a} , SF_{1-b} , SF_{1-c} được xác định để mô tả cách thức hoạt động của bộ nghịch lưu PWM. Việc sử dụng khái niệm hàm chuyển mạch cho phép biểu diễn một cách rõ ràng các bộ biến đổi/ các bộ chuyển đổi công suất. ở đây các mạch chuyển đổi công suất có thể được mô hình theo các hàm của nó. Trong phương thức này, hàm chuyển mạch SF_1 được dùng để điều chỉnh các điện áp dây của bộ nghịch lưu. Ngoài ra, nó được biến đổi đến SF_2 để tạo ra các dòng qua van dẫn và diode theo các trạng thái chuyển mạch của nó. Bởi vậy, việc dùng hàm chuyển mạch (SF_1 và SF_2), để chi tiết hóa sự hoạt động của bộ nghịch lưu theo mạch điều khiển trở dòng là rất hiệu quả.

5. Khối nghịch lưu PWM - Khối dòng tải - Khối dòng chuyển mạch.

Theo nguyên lý hoạt động, luôn chỉ có 2 pha ở trạng thái dẫn dòng. Do đó, các dòng điện 3 pha có thể được tính từ các điện áp dây. Từ hình 8 ta có các phương trình điện áp và dòng điện sau:

$$\begin{aligned} U_{ab} &= R_{LL}i_1 + (L-M)_{LL}di_1/dt + e_{ab} \\ U_{bc} &= R_{LL}i_2 + (L-M)_{LL}di_2/dt + e_{bc} \\ U_{ca} &= R_{LL}i_3 + (L-M)_{LL}di_3/dt + e_{ca} \end{aligned}$$
 (15)

trong đó: U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} là các điện áp dây và $R_{LL} = 2R$, $(L-M)_{LL} = 2(L-M)$

Sử dụng hàm đồng cắt $SF_{1-a,b,c}$ được tạo từ khối trở dòng, các điện áp pha được tính như sau:

$$\begin{aligned} U_{a0} &= U_d/2. SF_{1-a} = U_d/2 \sum A_n \sin(n\omega t) \\ U_{b0} &= U_d/2. SF_{1-b} = U_d/2 \sum A_n \sin(n(\omega t - 120^\circ)) \\ U_{c0} &= U_d/2. SF_{1-c} = U_d/2 \sum A_n \sin(n(\omega t - 240^\circ)) \end{aligned}$$
 (16)

Sau đó, điện áp dây của bộ nghịch lưu có thể được phân tích thành:

$$\begin{aligned} U_{ab} &= U_{ao} - U_{bo} = U_d/2 \cdot (SF_{1-a} - SF_{1-b}) \\ U_{bc} &= U_{bo} - U_{co} = U_d/2 \cdot (SF_{1-b} - SF_{1-c}) \\ U_{ca} &= U_{co} - U_{ao} = U_d/2 \cdot (SF_{1-c} - SF_{1-a}) \end{aligned} \quad (17)$$

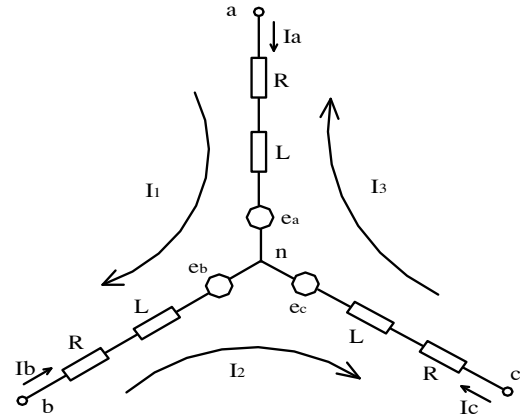
Để tính dòng các pha ta dựa vào hệ phương trình (15) và có:

$$\begin{aligned} i_1 &= \int \frac{U_{ab} - e_{ab} - R_{LL}i_1}{(L - M)_{LL}} dt \\ i_2 &= \int \frac{U_{bc} - e_{bc} - R_{LL}i_2}{(L - M)_{LL}} dt \end{aligned} \quad (18)$$

$$i_3 = \int \frac{U_{ca} - e_{ca} - R_{LL}i_3}{(L - M)_{LL}} dt$$

Từ hình 9 ta có:

$$\begin{aligned} i_a &= i_1 - i_3 \\ i_b &= i_2 - i_1 \\ i_c &= i_3 - i_2 \end{aligned} \quad (19)$$



H. 9 Điện áp và các tham số trong 3 cuộn dây của BLDC

Sau khi tính được các dòng pha, dòng qua các van và dòng qua diode cũng có thể được xác định bằng cách dùng các hàm đóng cắt SF₂, như:

$$\begin{aligned} SF_{2-S4} &= SF_{1-a} > 0 \\ SF_{2-S4} &= SF_{1-a} < 0 \end{aligned} \quad (20)$$

Hàm SF_{2-S3} và SF_{2-S6} cho các hàm chuyển mạch S₃ và S₆:

$$\begin{aligned} SF_{2-S3} &= SF_{1-b} > 0 \\ SF_{2-S6} &= SF_{1-b} < 0 \end{aligned} \quad (21)$$

Hàm SF_{2-S5} và SF_{2-S2} cho các hàm chuyển mạch S₅ và S₂:

$$\begin{aligned} SF_{2-S5} &= SF_{1-c} > 0 \\ SF_{2-S2} &= SF_{1-c} < 0 \end{aligned} \quad (22)$$

Trên cơ sở của (20) và hình 8, các dòng đóng ngắt van và dòng diode ở pha A được tính như sau:

$$\begin{aligned} I_{S1-S} &= (I_a > 0) \cdot SF_{2-S1} \\ I_{S1-D} &= (I_a < 0) \cdot SF_{2-S1} \\ I_{S4-S} &= (I_a < 0) \cdot SF_{2-S4} \end{aligned} \quad (23)$$

tương tự như vậy các dòng đóng ngắt van và dòng diode ở các pha B, pha C được xác định

$$\begin{aligned} I_{S1-D} &= (I_a > 0) \cdot SF_{2-S4} \\ I_{S3-S} &= (I_b > 0) \cdot SF_{2-S3} \\ I_{S3-D} &= (I_b < 0) \cdot SF_{2-S3} \\ I_{S6-S} &= (I_b < 0) \cdot SF_{2-S6} \\ I_{S6-D} &= (I_b > 0) \cdot SF_{2-S6} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} I_{S5-S} &= (I_c > 0) \cdot SF_{2-S5} \\ I_{S5-D} &= (I_c < 0) \cdot SF_{2-S5} \\ I_{S2-S} &= (I_c < 0) \cdot SF_{2-S2} \\ I_{S2-D} &= (I_c > 0) \cdot SF_{2-S2} \end{aligned} \quad (25)$$

từ đó suy ra dòng tổng qua các van:

$$\begin{aligned} I_{S1} &= I_{S1-S} - I_{S1-D} \\ I_{S4} &= I_{S4-S} - I_{S4-D} \\ I_{S3} &= I_{S3-S} - I_{S3-D} \\ I_{S6} &= I_{S6-S} - I_{S6-D} \\ I_{S2} &= I_{S2-S} - I_{S2-D} \\ I_{S5} &= I_{S5-S} - I_{S5-D} \end{aligned} \quad (26)$$

trong đó, I_{S1-S} và I_{S1-D} cho đến I_{S6-S} và I_{S6-D} là các dòng điện thuần qua các van và diot của chuyển mạch S₁ đến S₆.

Như vậy dòng vào nghịch lưu được xác định như sau

$$i_{in} = i_{S1} + i_{S3} + i_{S5} \quad (27)$$

Cuối cùng các giá trị trung bình và hiệu dụng của các thông số dòng có thể biểu diễn dưới dạng véc tơ như (3.28) và (3.29)

$$I_{S1-S, TB} = \frac{1}{T} \int_0^T I_{S1-S}(t) dt = \frac{1}{2n} \sum_{k=1}^n [I_{S1-S}(k) + I_{S1-S}(k-1)] \quad (28)$$

$$I_{S1-S} hd = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_{S1-S}^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{k=1}^n [I_{S1-S}^2(k) + I_{S1-S}^2(k-1)]} \quad (29)$$

Sơ đồ tổng quát mô phỏng cho khối tạo dòng chuyển mạch IS₁ và IS₄, có tín hiệu đầu vào là hàm sóng ngắt được xử lý qua các khâu so sánh để xác định các hàm SF2-s1 và SF2-s4 theo phương trình (3.20). Khối *memory* ở đây cũng được sử dụng như là khâu tạo trễ dòng pha một bước tính để sau đó so sánh với giá trị dòng pha biến đổi tiếp theo, kết quả sẽ xác định được chiều biến thiên của dòng pha I_a. Các hàm f(u) trong sơ đồ có nhiệm vụ xác định các dòng qua van và qua diot như IS_{1-S}, IS_{1-D}, IS_{4-S} và IS_{4-D} căn cứ vào hệ phương trình (3.26). Kết quả ở đầu ra sẽ là dòng tổng qua các van IS₁ và IS₄.

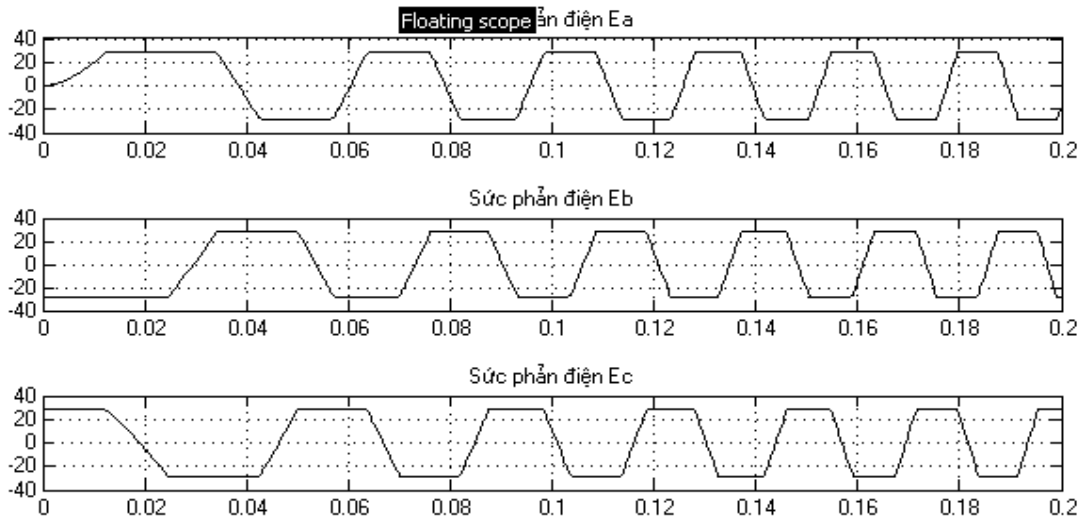
3.4. Các kết quả mô phỏng.

Các thông số của hệ thống nghiên cứu cho ở bảng 4.

Bảng 4 Các thông số của hệ thống nghiên cứu

Kt	0.21476 [Nm]	R_{LL}	1.5[Ω]
Ke_{LL}	0.21486 [V/(rad/s)]	(L-M)_{LL}	6.1[mH]
J	8.2614e ₋₅ [kgm ²]	C_{ng suết}	1[HP]
T_L	0.662[Nm]	T_{éc @é}	3500[vg/ph]

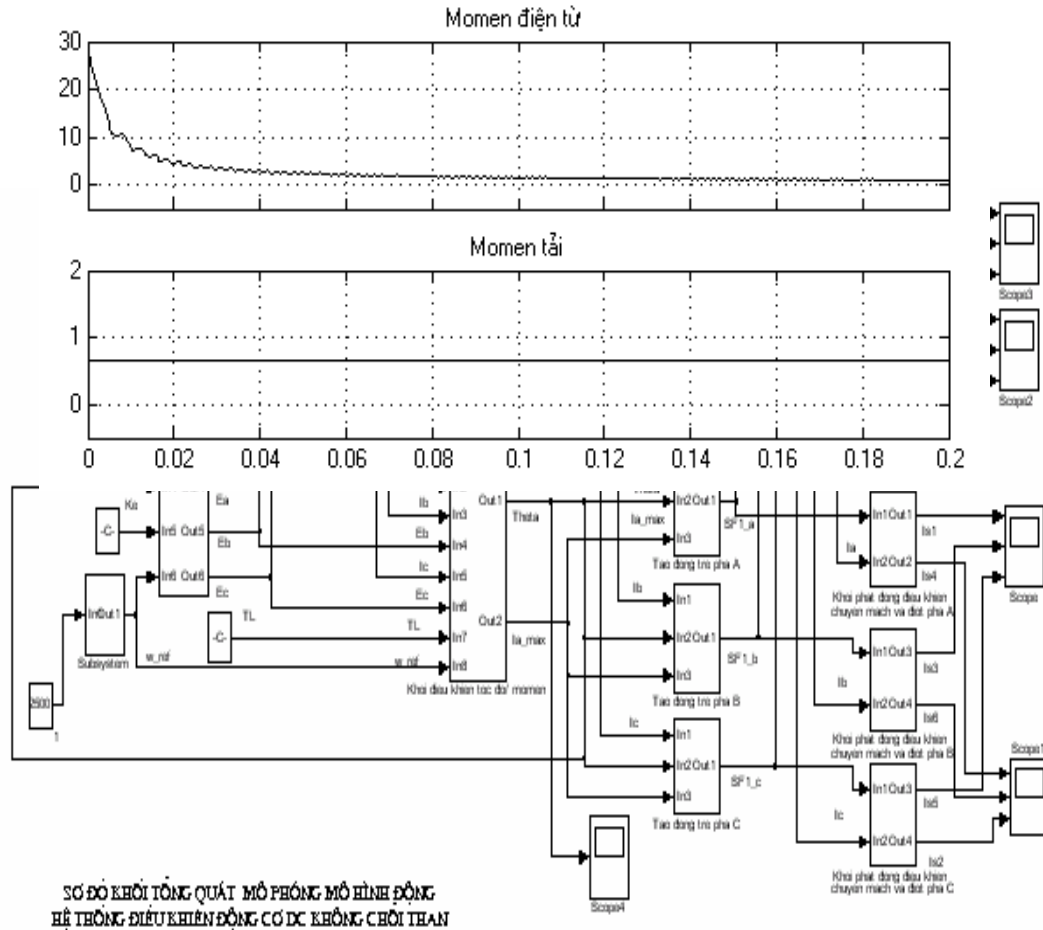
Hình-10 là sơ đồ khối tổng thể hệ thống điều khiển động cơ BLDC, sơ đồ gồm các khối cơ bản là khối mô phỏng tín hiệu sức điện động phản điện, khối điều khiển tốc độ mô men, các khối điều khiển dòng trễ pha, khối tạo điện áp dây sau bộ nghịch lưu, khối tạo dòng ba pha và các khối phát dòng qua chuyển mạch và qua diot



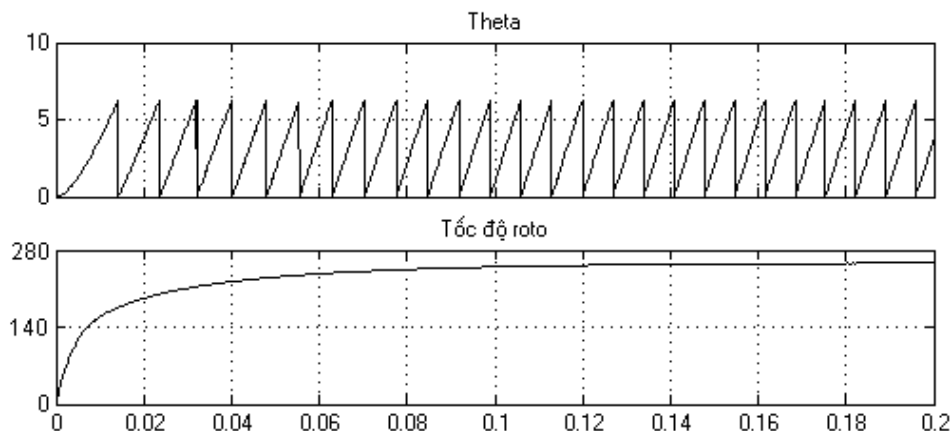
Hình-11 sức phản điện động E_a, E_b, E_c ở tốc độ 2500(vg/ph)

Các kết quả mô phỏng cho ở các hình 11, 12 và 13 trong đó h.11 là sức phản điện động E_a, E_b, E_c ở tốc độ 2500(vg/ph) còn hình-12 là đường đặc tính momen, hình-13 là đường đặc tính tốc độ với tốc độ đặt là 2500vg/ph.

Ta nhận thấy dạng sóng sức phản điện ở ba pha là đồng dạng nhau, được tính toán và đưa ra từ cảm biến vị trí rotor. Với tốc độ quay 2500(vg/ph), vị trí rotor biến đổi từ 0 đến 2π trong một chu kỳ 0,024(s) và điện áp phản hồi có EMF có biên độ là 28,11(v), đặc tính momen có sự dao động nhiều.



Hình-12 Đường đặc tính momen



Hình-13 Đường đặc tính tốc độ và góc theta với tốc độ đặt là 2500vg/ph

Kết luận

- + Xây dựng mô hình mô phỏng trên Matlab
- + Đề xuất việc mô phỏng bộ biến đổi PWM bằng các hàm đóng cắt mà không mô phỏng trên cơ sở vec-tơ.

Kết quả mô phỏng là rất khả quan, từ kết quả mô phỏng đó chúng ta thấy:

- + Thời gian mô phỏng ngắn, không có khó khăn về hội tụ.
- + Khảo sát dễ dàng các tham số trung bình, hiệu dụng của dòng điện, điện áp của bộ nghịch lưu. Điều này giúp cho việc thiết kế, lựa chọn các phần tử điều khiển có nhiều thuận lợi.
- + Mô hình điều khiển được mô phỏng dưới dạng mô-đun nên có thể dùng để khảo sát các chiến thuật điều khiển khác nhau chỉ cần có sự điều chỉnh nhỏ.

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