

MÔ PHỎNG HỆ NGHỊCH LƯU- ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU SỬ DỤNG CẢM BIẾN ĐO GÓC RESOLVER BẰNG PSIM

SIMULATION OF INVERTER- PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR SYSTEM USING RESOLVER SENSOR BY PSIM

Phạm Thị Thùy Linh

TÓM TẮT

Vị trí của roto rất cần thiết để thực hiện hệ thống điều khiển vector của động cơ điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu. Trong bài báo này, trọng tâm nghiên cứu là sử dụng cảm biến đo góc resolver để phát hiện vị trí của roto. Các đặc tính nổi bật của cảm biến này là cấu trúc tin cậy và không nhạy với tiếng ồn. Thuật toán đo góc được đề xuất và phương pháp điều khiển vector của động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu được thực hiện. Sơ đồ điều khiển nối cấp dòng điện và tốc độ được kiểm chứng bởi phần mềm PSIM, đã cho thấy hiệu quả tốt của phương pháp.

Từ khóa: Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu, cảm biến đo góc, điều khiển vector.

ABSTRACT

The position of rotor is necessary for achieving the vector control system of Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM). The focus of this paper is using the resolver sensor to detect the rotor position of PMSM. The advantages of this sensor are its robust structure and noise insensitivity. The resolver algorithm is proposed and implemented in the vector control system of PMSM. The diagram of proposed current and speed control loop was verified by PSIM software, proving the effectiveness of this method.

Keywords: PMSM, resolver sensor, vector control.

Khoa ĐK&TĐH, Trường Đại học Điện Lực

Email: linhptt@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 20/8/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 21/10/2018

Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2018

1. MỞ ĐẦU

Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (ĐBNCVC) được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng truyền động điều chỉnh tốc độ. Các ứng dụng phổ biến nhất là hệ truyền động servo với dải điều chỉnh tốc độ rộng. So với động cơ không đồng bộ thì động cơ ĐBNCVC có mật độ công suất cao hơn khi cùng mức công suất là do không cần công suất stato cho việc sản sinh trường điện từ, dòng điện không tải bé, các đặc tính điều khiển ít nhạy với sự biến thiên thông

số của động cơ. So với động cơ điện một chiều thì động cơ ĐBNCVC đơn giản hơn, dễ chế tạo, làm việc tin cậy, ít phải bảo dưỡng. Ngày nay, động cơ ĐBNCVC được thiết kế không chỉ với mục đích tăng công suất mà còn với mục đích giảm khối lượng thiết bị và giảm nhỏ mô men quán tính. Do mật độ công suất cao và kích thước động cơ nhỏ, trong những năm gần đây động cơ ĐBNCVC được phát triển như là một giải pháp ưu tiên để điều khiển tốc độ và vị trí của các máy công cụ, ô tô điện và robot. Trong điều khiển vector, vị trí chính xác từ cảm biến đo được yêu cầu để chuyển đổi các biến của hệ abc sang các biến của hệ dq trong khung tham chiếu tốc độ quay đồng bộ tương ứng với vecto từ thông roto. Cảm biến đo góc là một trong các cảm biến vị trí có thể đo vị trí của roto ban đầu ở điểm dừng. Đặc điểm này rất quan trọng đối với một hệ truyền động để có được mô men khởi động cực đại.

Cảm biến đo góc làm việc rất bền vững đối với các va đập cơ khí và có thể thích nghi với điều kiện làm việc của môi trường như là những môi trường khắc nghiệt nhiệt độ làm việc cao [1]. Các tín hiệu đo không bị suy giảm khi truyền trong dây cáp dài. Thiết kế của cảm biến đo góc tương tự như máy biến áp. Có một cuộn dây xoay tương ứng như là cuộn dây sơ cấp và hai cuộn dây cố định tương ứng như cuộn dây thứ cấp. Cuộn dây sơ cấp được áp bởi tín hiệu điện áp xoay chiều sin tần số cao đến cỡ kHz. Hai cuộn dây thứ cấp được đặt trong stato lệch pha 90°. Khi mà roto quay, điện áp cảm ứng sẽ sinh ra trong các cuộn dây thứ cấp. Biên độ của các điện áp cảm ứng sin này được điều chế với vị trí của roto. Kỹ thuật giải điều chế phải được thiết kế để lấy được vị trí của roto, nó cần một hệ thống điều khiển tương đối phức tạp để giảm thiểu lỗi trong hệ thống.

Trong bài báo này, góc quay của roto được tính toán bằng một vòng điều khiển kín có phản hồi. Sai lệch tín hiệu được chỉ dẫn bởi sự chênh lệch tín hiệu điều chế và tín hiệu kích từ đo được. Sau đó, sai lệch này sẽ được điều chỉnh bởi bộ điều chỉnh PI. Góc tính toán roto được đảm bảo bằng góc đo khi sai lệch bằng không mà không cần sử dụng các bộ lọc. Do đó hiện tượng trễ do lọc bị loại bỏ. Thuật toán đo góc

và các mạch vòng điều khiển dòng điện và tốc độ để xuất được thực hiện và kiểm chứng bằng phần mềm PSIM.

2. ĐỘNG CƠ ĐBNVC VÀ MÔ HÌNH TOÁN HỌC

Động cơ ĐBNVC là động cơ mà ở đó sử dụng nam châm vĩnh cửu để sinh ra từ trường trong khe hở không khí thay vì sử dụng nam châm điện. Mô hình toán học của động cơ ở trong hệ quy chiếu quay đồng bộ gắn với hướng từ thông roto có thể được thể hiện như sau [2]:

$$V_d = r_s i_d - \omega_r \lambda_q + \frac{d}{dt} \lambda_d \tag{1}$$

$$V_q = r_s i_q + \omega_r \lambda_d + \frac{d}{dt} \lambda_q \tag{2}$$

$$\lambda_d = L_{sd} i_d + \lambda_m \tag{3}$$

$$\lambda_q = L_{sq} i_q \tag{4}$$

$$M_e = \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{p}{2}\right) (\lambda_d i_q - \lambda_q i_d) \tag{5}$$

Trong đó V_d và i_d : điện áp và dòng điện stato trên trục d; V_q và i_q : điện áp và dòng điện stato trên trục q; λ_d và λ_q : từ thông móc vòng stato trên các trục d,q; λ_m : từ thông nam châm vĩnh cửu móc vòng với stato; M_e : mô men điện từ; ω_r : vận tốc góc của roto; r_s : điện trở stato; L_{sd} : tự cảm stato trục d; L_{sq} : tự cảm stato trục q; p: số cực.

Khi dòng điện i_d được điều chỉnh về không, phương trình từ thông stato (3) và mô men (5) trở thành:

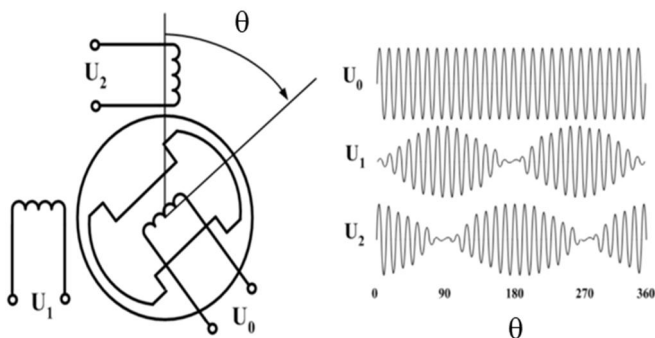
$$\lambda_d = \lambda_m \tag{6}$$

$$M_e = \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{p}{2}\right) (\lambda_m i_q) \tag{7}$$

Từ đó cho thấy mô men điện từ được điều chỉnh bởi dòng điện i_q , tương tự như vận hành của động cơ một chiều.

3. CẢM BIẾN ĐO GÓC VÀ THUẬT TOÁN ĐO GÓC

Cảm biến đo góc resolver là một loại máy đồng bộ từ trở trong đó từ trở là hàm của vị trí roto. Loại này thường có 3 cuộn dây, trong đó một cuộn dây đặt trên roto làm nguồn kích từ để cấp một điện áp không đổi hình sin, các cuộn khác đặt trên stato được sử dụng để nhận biết vị trí ro to các cuộn dây này lệch pha nhau 90° trong không gian. Từ điện áp của hai cuộn dây, vị trí tuyệt đối của roto có thể xác định được [3,4].



Hình 1. Sơ đồ và các tín hiệu kích thích và điện áp đầu ra theo vị trí roto của cảm biến đo góc resolver

Sơ đồ nguyên lý của cảm biến đo góc được chỉ ra ở hình 1. Ba tín hiệu (kích từ, tín hiệu sin và cos) có được từ cảm biến đo góc. Tín hiệu kích từ sin U_0 được đặt lên cuộn dây roto sẽ cảm ứng lên hai cuộn dây thứ cấp các điện áp U_1 và U_2 . Các đầu ra của cảm biến đo góc bao gồm hai tín hiệu sin có biên độ được điều chế theo tín hiệu sin và cosin (U_1 và U_2) của vị trí roto (θ) [2].

Các phương trình của cuộn dây roto (U_0) và cuộn dây stato (U_1 và U_2) như sau:

$$U_0(t) = \hat{U}_0 \cdot \sin \omega_{ref} t \tag{8}$$

$$U_1(\theta, t) = \hat{U}_0 \cdot k \cdot \sin \theta \cdot \sin \omega_{ref} t \tag{9}$$

$$U_2(\theta, t) = \hat{U}_0 \cdot k \cdot \cos \theta \cdot \sin \omega_{ref} t \tag{10}$$

Trong đó, k: tỷ số vòng dây giữa cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp của cảm biến đo góc; \hat{U}_0 : biên độ lớn nhất của tín hiệu kích từ; ω_{ref} : tần số (rad/s) của tín hiệu kích từ; θ : góc điện của roto (rad) = $\arctan(U_1/U_2)$

Thuật toán đo góc bao gồm giải điều chế và tính toán tốc độ/ vị trí được chỉ ở hình 2. Thuật toán cố gắng giảm thiểu sai số giữa góc quay roto đo được θ và góc quay tính toán θ_1 , bằng vòng điều khiển kín có phản hồi. Sai lệch tính toán được xây dựng dựa trên các phương trình sau đây:

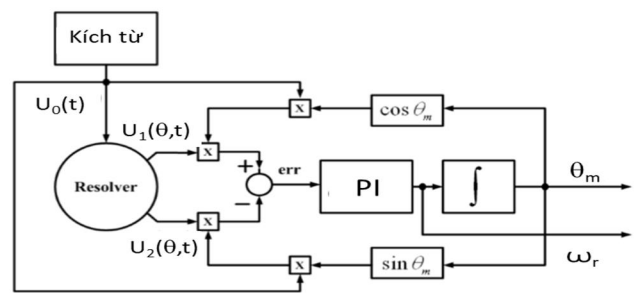
$$err = (\hat{U}_0 \cdot \sin \omega_{ref} t \cdot \cos \theta_1) - (\hat{U}_0 \cdot k \cdot \sin \theta \cdot \sin \omega_{ref} t) - (\hat{U}_0 \cdot \sin \omega_{ref} t \cdot \sin \theta_1) - (\hat{U}_0 \cdot k \cdot \cos \theta \cdot \sin \omega_{ref} t) \tag{11}$$

$$err = \hat{U}_0(t) \cdot (\hat{U}_0 \cdot k \cdot \sin \omega_{ref} t) [\sin \theta \cos \theta_1 - \cos \theta \sin \theta_1] \tag{12}$$

$$err = A \cdot [\sin(\theta - \theta_1)] \tag{13}$$

$$A = U_0(t) \cdot (\hat{U}_0 \cdot k \cdot \sin \omega_{ref} t) \tag{14}$$

Sai số này được điều chỉnh về không bởi bộ điều chỉnh PI. Khâu tích phân được sử dụng để tăng độ phân giải của góc tính toán. Khi vòng điều chỉnh này được thực hiện thì góc tính toán θ_1 nằm trong khoảng 0-2 π rad, bằng với góc quay thực tế θ .



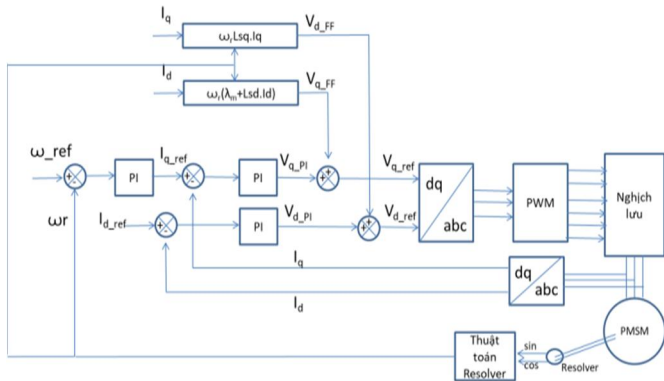
Hình 2. Thuật toán đo góc resolver

4. TỔNG HỢP MẠCH ĐIỀU KHIỂN HỆ NGHỊCH LƯU VÀ ĐỘNG CƠ ĐBNVC

Mạch điều khiển gồm ba bộ điều chỉnh PI được thể hiện ở hình 3. Một bộ điều chỉnh tốc độ và hai bộ điều chỉnh dòng điện i_d , i_q . Tốc độ đặt ω_{ref} được so sánh với tốc độ tính toán ω_r có được từ sau khối tính toán Resolver, sai lệch tín hiệu e_w được gửi đến bộ điều chỉnh PI. Bộ điều chỉnh này so sánh tốc độ tính toán với tốc độ tiêu chuẩn và đưa ra tín hiệu điều khiển mô men. Bởi vì mô men có liên quan đến tốc độ theo phương trình động học:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (M_e - M_c) \quad (15)$$

Với J là mô men quán tính của động cơ và M_c là mô men cơ đặt lên tải. Và từ phương trình (7) ta tìm được mối liên hệ với dòng tiêu chuẩn I_{q_ref} .



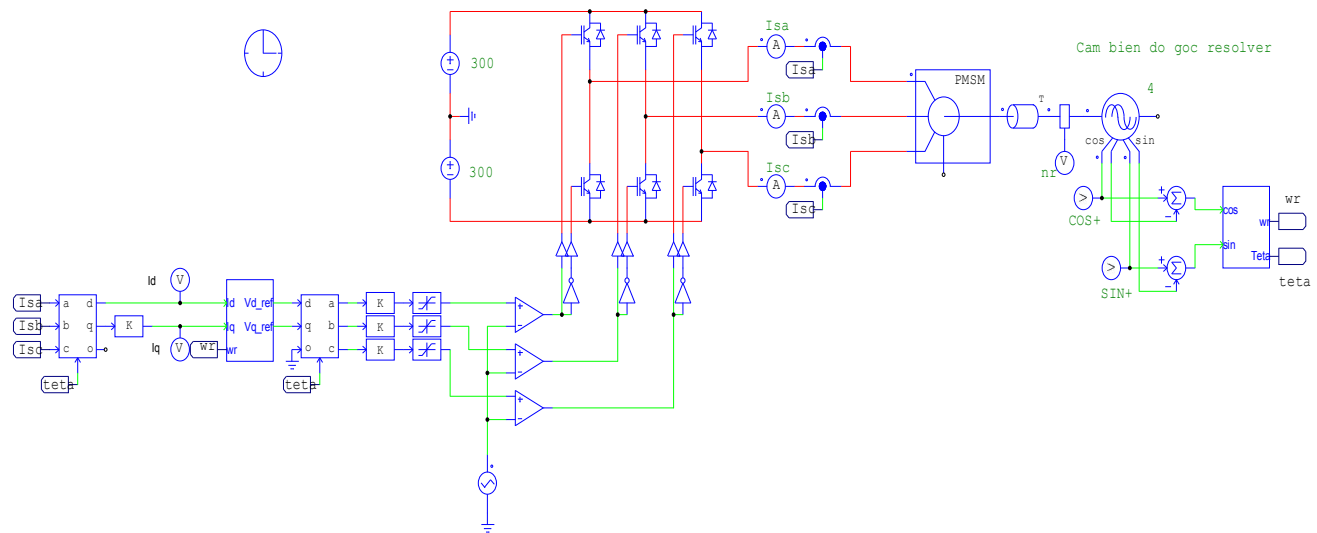
Hình 3. Sơ đồ tổng hợp các mạch vòng điều khiển hệ nghịch lưu - Động cơ ĐBNVCV

Một bộ điều chỉnh PI khác được dùng để điều chỉnh thành phần d của dòng điện stato. Giá trị đặt I_{d_ref} bằng không là do không có từ thông rò. Sai số của dòng điện I_{dr} là đầu vào của bộ điều chỉnh PI. Và một bộ điều chỉnh PI khác dùng để điều chỉnh thành phần q của dòng điện. Bù sai lệch trong các bộ điều chỉnh dòng I_{dr} , I_{qr} tương thích với các phương trình (1) và (2) để đảm bảo hiệu quả của hệ

Hệ số khuếch đại mạch điều chỉnh tốc độ	K_{p_w}	0,05	
Hằng số thời gian mạch điều chỉnh tốc độ	T_{i_w}	0,04	s
Hệ số khuếch đại mạch điều chỉnh dòng điện I_d	K_{p_id}	10	
Hằng số thời gian mạch điều chỉnh dòng điện I_d	T_{i_id}	0,00005	s
Hệ số khuếch đại mạch điều chỉnh dòng điện I_q	K_{p_iq}	10	
Hằng số thời gian mạch điều chỉnh dòng điện I_q	T_{i_iq}	0,00005	s
Dòng điện I_d tiêu chuẩn	I_{d_ref}	0	A
Tốc độ tiêu chuẩn ở thời điểm đầu	ω_{ref_0}	170	Rad/s
Thời gian đầu	T_0	0	s
Tốc độ tiêu chuẩn ở thời điểm thứ hai	ω_{ref_1}	100	Rad/s
Thời gian thứ hai	T_1	0.6	s
Tốc độ tiêu chuẩn ở thời điểm thứ ba	ω_{ref_2}	200	Rad/s
Thời gian thứ ba	T_2	1.2	s

5. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

Sơ đồ điều khiển vectơ động cơ ĐBNVCV sử dụng cảm biến đo góc bao gồm 3 khối; mạch vòng điều khiển dòng điện và tốc độ, bộ phát xung điều khiển IGBT, thuật toán đo góc và hệ mạch lực gồm động cơ ĐBNVCV được cấp điện từ một bộ nghịch lưu nguồn áp 3 pha như mô tả ở hình 4.



thống. Đầu ra của bộ điều chỉnh PI, V_{d_ref} và V_{q_ref} đầu tiên được chuyển sang miền abc bằng biến đổi Park và biến đổi Clark. Sau đó các tín hiệu điện áp tiêu chuẩn đầu ra đó được gửi đến khối điều khiển PWM để tạo ra các tín hiệu điều khiển 6 van bán dẫn của nghịch lưu.

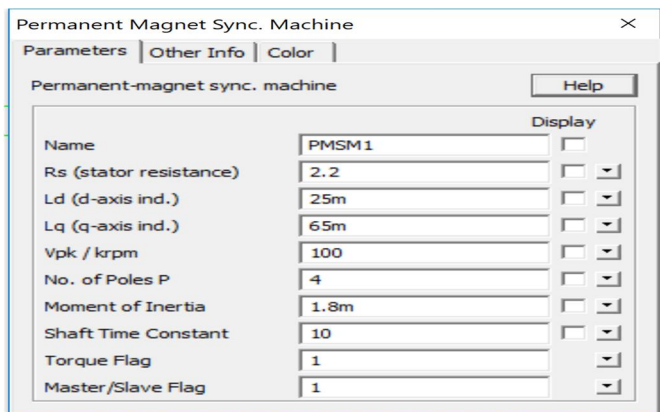
Bảng 1. Các thông số của các mạch điều khiển

Tên	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
Tần số đồng/cắt	f_s	5000	Hz
Điện áp một chiều DC bus	V_{dc}	600	V

Hình 4. Mô hình tổng thể của hệ thống điều khiển và mạch lực động cơ ĐBNVCV sử dụng cảm biến đo góc Resolver mô phỏng bằng công cụ PSIM

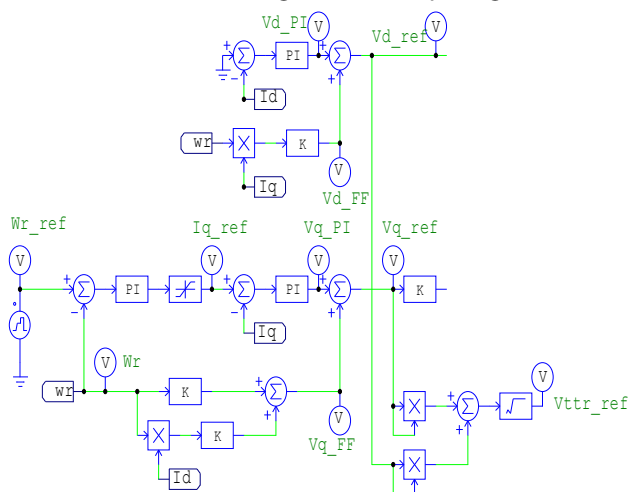
Các thông số của động cơ được mô tả trên hình 5.

Ở đây tác giả mô phỏng ở chế độ tốc độ thay đổi, hai mức tốc độ được đưa vào qua một khối mức trong PSIM (ω_{ref}). Ban đầu tốc độ được cài đặt là 170 rad/s trong vòng 0,6s, sau đó tốc độ giảm xuống 100rad/s trong vòng 0,6s tiếp theo và sau đó tăng trở lại về 170rad/s. Nhưng mô men của tải được giữ giá trị không đổi bằng 5 Nm trong khoảng thời gian mô phỏng.

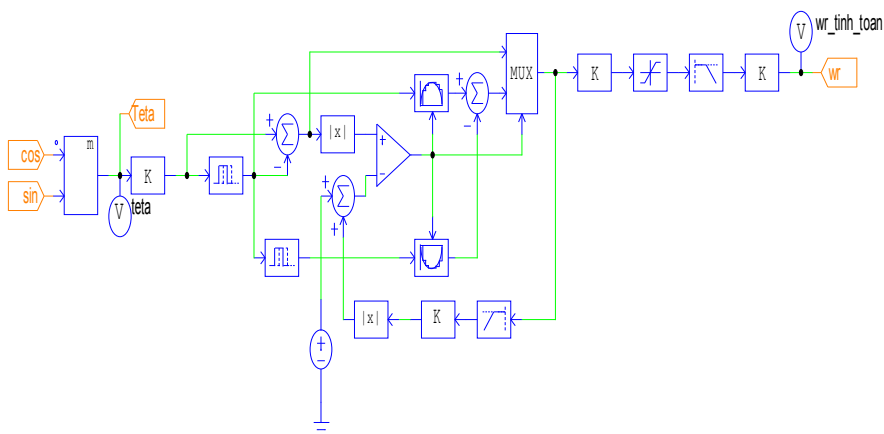


Hình 5. Các thông số cài đặt của động cơ ĐBNVC

Các mô hình mô phỏng mạch vòng điều khiển dòng điện và tốc độ sử dụng bộ điều chỉnh PI được trình bày ở hình 6. Còn thuật toán đo góc được mô phỏng ở hình 7.



Hình 6. Mô hình khối mô phỏng mạch vòng điều khiển dòng điện và tốc độ

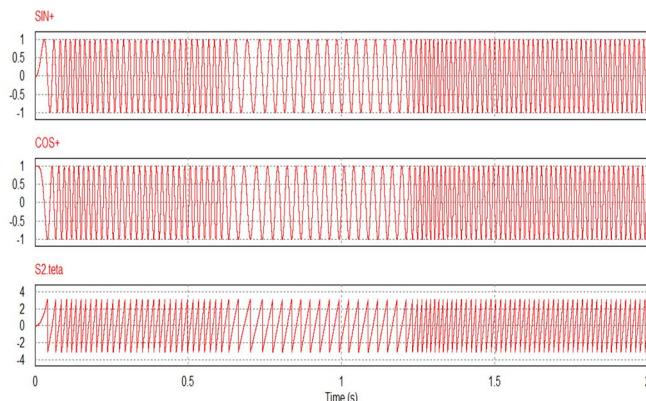


Hình 7. Mô hình thuật toán đo góc mô phỏng trong PSIM

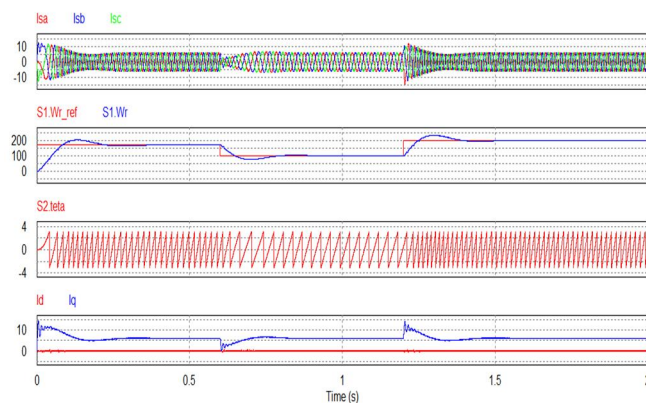
6. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Các tín hiệu ra sin và cosin của cảm biến resolver cũng như góc θ tính toán có kết quả ở hình 8. Hai tín hiệu này lệch pha nhau 90° . Dòng điện 3 pha của stator tương ứng là I_{sa}, I_{sb}, I_{sc} ; dòng điện I_{dr}, I_{qr} có kết quả ở hình 9. Hình 10 là

zoom các dạng tín hiệu ở hình 9 để quan sát rõ được các thời điểm tốc độ thay đổi 0,6s và 1,2s. Và kết quả đáp ứng tốc độ được thể hiện ở hình 11.



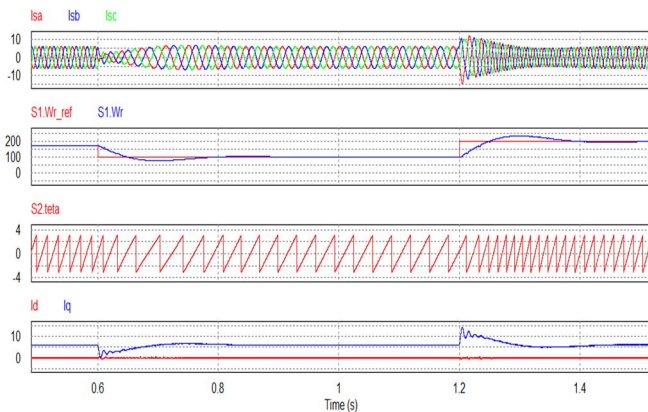
Hình 8. Các kết quả mô phỏng tín hiệu sin và cosin có được từ cảm biến đo góc và góc teta tính toán từ đầu ra của cảm biến Resolver



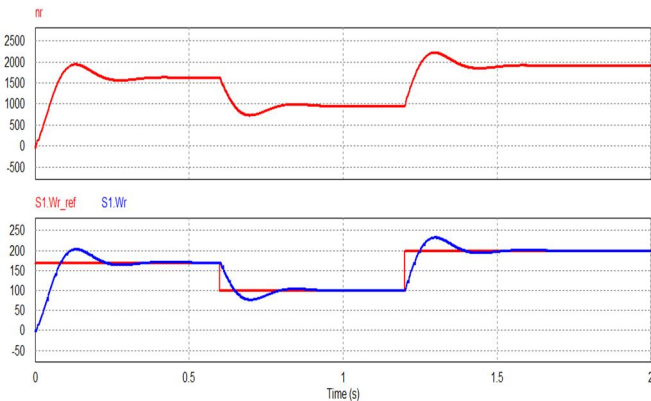
Hình 9. Kết quả mô phỏng dòng điện 3 pha stator, dòng điện I_{dr}, I_{qr} , tốc độ quay w_r của động cơ ĐBNVC

Từ kết quả hình 9 ta thấy rằng, các dòng điện stator I_{sa}, I_{sb}, I_{sc} có được từ sau biến đổi Park và Clark, bị méo dạng ở khoảng thời gian quá độ ban đầu, nhưng sau đó ở chế độ xác lập khi tốc độ đạt tốc độ tiêu chuẩn 170 rad/s thì các tín hiệu dòng điện này có dạng sin. Sau 0,6s khi tốc độ được điều khiển giảm xuống 100 rad/s thì méo dạng dòng điện xuất hiện trở lại do sai lệch tốc độ tăng, tuy nhiên chỉ sau 0,04s thì chế độ xác lập thiết lập trở lại. Ta cũng thấy là tần số dòng điện giảm khi tốc độ giảm mặc dù sau đó biên độ dòng điện trở lại bằng nhau khi tốc độ thay đổi ở hai mức. Đến thời điểm 1,2s khi tốc độ đặt tăng lên 200rad/s thì dòng điện bị méo và sau 0,02s thì chế độ xác lập đạt được dòng trở lại dạng sin, tần số dòng điện tăng lên nhưng biên độ thì không đổi. Thành phần dq của dòng điện được hiển thị ở hình 9 cho thấy, thành phần dòng điện

d có giá trị xấp xỉ không theo như mạch điều khiển và dòng điện I_q có một vài biến dạng trong khoảng thời gian quá độ khi có sự thay đổi đột ngột về tốc độ như zoom chi tiết trên hình 10.



Hình 10. Zoom dòng điện 3 pha stato, dòng điện I_d , I_q , tốc độ quay w_r của động cơ ĐBNVC và góc teta tính toán từ đầu ra của cảm biến Resolver



Hình 11. Đáp ứng tốc độ của hệ truyền động nghịch lưu 3 pha - động cơ ĐBNVC sử dụng cảm biến đo góc resolver

Kết quả ở hình 11 là đáp ứng tốc độ vòng/phút (nr) và rad/s ($S1.wr$) của roto động cơ. Ta quan sát thấy rằng, thời gian khởi động cần 0,08s để động cơ đạt tốc độ mong muốn. Ở các trạng thái xác lập, thì tốc độ đo được gần như bằng tốc độ đặt. Từ các kết quả mô phỏng có được ở các hình 9 ÷ 11 thấy rằng mô hình mô phỏng có đáp ứng tốt về tốc độ khi tốc độ cài đặt giảm hay tăng thì hệ thống nhanh chóng đạt chế độ xác lập sau 0,02-0,04s.

7. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, điều khiển vector được thực hiện trên hệ thống động cơ ĐBNVC sử dụng cảm biến resolver, thuật toán đo góc để xuất được kiểm chứng trong hệ điều khiển dòng điện - tốc độ động cơ ĐBNVC. Hệ thống điều khiển sử dụng hệ nối cấp điều khiển kín có phản hồi dòng điện và tốc độ. Mô hình mô phỏng được xây dựng và các kết quả được giới thiệu. Theo kết quả mô phỏng thì thuật toán đo góc đã thực hiện tốt, sai lệch có được sau 0,04s là bằng 0, các tín hiệu dòng điện stato có dạng sin trong chế độ xác lập.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. B. Murray, Hare, and A. Hirao, 2002. "Resolver Position Sensing System With Integrated Fault Detection for Automotive Applications". IEEE Proceedings in Sensors, Vol.2, pp.864-869..
- [2]. Weera Kaewjinda, Mongkol Konghirun, 2007. "Vector Control Drive of Permanent Magnet Synchronous Motor Using Resolver Sensor". ECTI transactions on electrical eng., electronics, and communications vol.5, no.1.
- [3]. Y. Zhao, C. Wei, Z. Zhang, and W. Qiao, 2013. "A Review on position/speed sensorless control for permanent-magnet synchronous machine-based wind energy conversion systems". IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 1, no. 4, pp.203-216.
- [4]. Amar Nath Tiwari, 2011. "Controller Design and Simulation of PMSM Drive", International Journal of Engineering Science and Technology, Vol 3, No 4.