

Điều khiển thích nghi động cơ không đồng bộ ba pha tiết kiệm điện năng không sử dụng cảm biến tốc độ

- Lê Minh Phương
- Nguyễn Hoài Phong
- Đặng Ngọc Hưng

Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 13 tháng 10 năm 2014, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 15 tháng 12 năm 2014)

TÓM TẮT

Bài báo trình bày giải thuật giảm tổn hao mới trong mô hình điều khiển thích nghi định hướng trực tiếp từ thông rotor (DRFOC) không dùng cảm biến tốc độ khi điện trở stator thay đổi dựa trên nguyên lý làm việc với từ thông tối ưu. Bài báo cũng trình bày cách tiếp cận mới trong việc xây dựng mô hình tham chiếu thích nghi với nhiệm vụ ước lượng tốc độ và quan sát sự thay đổi của điện trở stator. Kết quả mô

phỏng bằng Matlab Simulink cho thấy khả năng thích nghi tốt của mô hình điều khiển khi điện trở của stator thay đổi đến 200% định mức. Ngoài ra, với việc áp dụng giải thuật đề xuất cho phép giảm tổn hao và nâng cao hiệu suất so với phương pháp điều khiển DRFOC truyền thống trong dải tải từ 0-70% định mức, trong đó độ chênh lệch về hiệu suất có thể đạt đến 42% và chênh lệch về tổn hao đến 85%.

Từ khoá – Giảm tổn hao, điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha, ước lượng dùng mô hình tham chiếu thích nghi.

Các kí hiệu sử dụng:

R_s : điện trở stator.

\hat{R}_s : điện trở stator ước tính.

R_r : điện trở rotor.

R_m : điện trở tương đương mạch từ hoá.

L_m : hồ cảm stator và rotor.

L_s : điện cảm stator.

L_r : điện cảm rotor.

i_{sd} : dòng điện stator trên trục d hệ trục dq.

i_{sq} : dòng điện rotor trên trục q hệ trục dq.

i_{rd} : dòng điện rotor trên trục d hệ trục dq.

i_{rq} : dòng điện rotor trên trục q hệ trục dq.

I_m : dòng điện từ hoá.

n_p : số cặp cực động cơ.

J : mô men quán tính động cơ.

T_e : mô men điện từ động cơ.

ω_{0e} : tốc độ đồng bộ

ω_e : tốc độ điện

$\hat{\Omega}$: tốc độ rotor ước tính.

Θ : góc lệch từ thông stator và từ thông rotor.

T_s : hằng số thời gian stator.

T_r : hằng số thời gian rotor.

σ : hệ số từ tản tổng.

$\hat{\Psi}_{s\alpha}$: từ thông stator ước lượng trên trục alpha

$\hat{\Psi}_{s\beta}$: từ thông stator ước lượng trên trục beta

$\hat{\Psi}_{r\alpha}$: từ thông rotor ước lượng trên trục alpha

$\hat{\Psi}_{r\beta}$: từ thông rotor ước lượng trên trục beta

$\hat{i}_{s\alpha}$: dòng điện stator ước lượng trên trục alpha

$\hat{i}_{s\beta}$: dòng điện stator ước lượng trên trục beta

I. GIỚI THIỆU

Động cơ không đồng bộ chiếm tỷ trọng rất lớn trong công nghiệp (75%-80%) [1], dải công suất các động cơ công nghiệp dao động từ 0.75-75 kW, và vì vậy có thể áp dụng điều khiển tốc độ động cơ theo nguyên lý điều khiển tần số bằng các bộ biến tần chung hoặc chuyên dụng [1].

Động cơ không đồng bộ có hiệu suất cực đại khi tải đạt gần 75% định mức và từ thông là định mức. Tuy nhiên, khi động cơ non tải mà từ thông là định mức thì hiệu suất sẽ rất thấp [2].

Mặt khác, các bộ biến tần chủ yếu được thiết kế trên nguyên lý điều khiển V/f hoặc định hướng từ thông rotor (FOC) với từ thông định mức và vì vậy việc nghiên cứu các giải pháp giảm tổn thất dựa trên nguyên lý từ thông tối ưu sẽ đem lại nguồn lợi lớn về kinh tế.

Hiện nay để điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha theo nguyên tắc định hướng từ thông người ta sử dụng hai phương pháp: Điều khiển gián tiếp từ thông rotor (IRFOC) và điều khiển trực tiếp từ thông rotor (DRFOC) [3]. Mô hình điều khiển IRFOC có nhược điểm là phải sử dụng cảm biến tốc độ và phụ thuộc rất nhiều vào thời hằng của rotor (điện trở rotor). Mặt khác, do điện trở rotor thay đổi nhiều trong thời gian vận hành và phụ thuộc vào nhiệt độ của cuộn dây rotor và vì vậy làm ảnh hưởng đến tính ứng dụng của phương pháp này [4]. Hiện nay, mô hình DRFOC đang được tập trung nghiên cứu để thiết kế hệ thống điều khiển động cơ không đồng bộ không cảm biến được xây dựng với việc kết hợp quan sát sự thay đổi của điện trở stator và tốc độ của động cơ [4],[5].

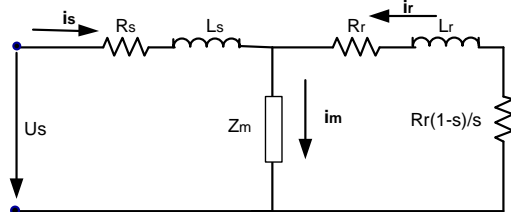
Trong lĩnh vực điều khiển giảm tổn thất nhiều nghiên cứu như trình bày trong [1] đã ứng dụng phương pháp IRFCO kết hợp giải thuật tối ưu từ thông đã đạt được những kết quả khả quan, tuy nhiên các nghiên cứu này đều sử dụng cảm biến tốc độ. Một số công trình nghiên cứu khác đã đề cập ứng dụng điều khiển giảm tổn hao động cơ đồng thời không dùng cảm biến tốc độ. Trong tất cả các nghiên cứu đều không tính đến sự thay đổi của thông số động cơ trong quá trình làm việc, trong khi đó điện trở stator tăng đáng kể so với định mức trong thời gian vận hành.

Bài báo này đề xuất cách tiếp cận mới trong giải thuật xác định từ thông tối ưu nhằm giảm tổn hao sắt từ trong động cơ. Đồng thời áp dụng giải thuật này trong mô hình điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha theo phương pháp DRFOC không dùng cảm biến tốc độ kết hợp ước lượng điện trở stator. Trong đó, mô hình ước lượng từ thông, tốc độ và điện trở stator dựa trên cơ sở Luenberge Luenberger Observer và nguyên lý mô hình tham chiếu thích nghi

(MRAS - Model reference adaptive system MRAS). Trong bài báo, phần 2 trình bày về cách tiếp cận mới trong phân tích mô hình động cơ không đồng bộ, phần 3 đề xuất giải thuật điều khiển giảm tổn hao mới với mô hình điều khiển thích nghi được trình bày trong chương 4. Mô hình hóa mô hình điều khiển đề xuất bằng Matlab/Simulink và kết quả mô phỏng được trình bày trong chương 4 và 5. Kết quả cho thấy việc sử dụng giải thuật đề xuất có thể giảm tổn hao đến% so với giải thuật điều khiển truyền thống, đặc biệt khi động cơ hoạt động ở chế độ non tải.

II. ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Để phân tích chế độ làm việc và khả năng giảm tổn hao trong động cơ không đồng bộ ba pha ta xem xét sơ đồ thay thế với thông số về stator, rotor và mạch từ hóa (hình 1) [2],[6]:



Hình 1. Sơ đồ thay thế từng pha động cơ không đồng bộ ba pha

Trong đó: I_s , I_r , I_m lần lượt là vector dòng điện stator, rotor và mạch từ hóa. Từ hình 1 ta có thể xác định vector dòng điện từ hóa I_m theo phương trình

$$\bar{I}_m = \bar{I}_s + \bar{I}_r \quad (1)$$

Trong các hệ thống điều khiển hiện đại động cơ không đồng bộ 3 pha thường được mô tả trong hệ trục tọa độ α - β , hoặc d-q. Mô hình của động cơ không đồng bộ 3 pha theo hệ trục quay dq với tốc độ đồng bộ ω_{0e} được mô tả bằng các phương trình sau [1],[10]:

$$u_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d\psi_{sd}}{dt} - \omega_{0e} \psi_{sq} \quad (2)$$

$$u_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d\psi_{sq}}{dt} + \omega_{0e} \psi_{sd} \quad (3)$$

$$0 = R_r i_{rd} + \frac{d\psi_{rd}}{dt} - (\omega_{0e} - \omega_e) \psi_{rq} \quad (4)$$

$$0 = R_r i_{rq} + \frac{d\psi_{rq}}{dt} + (\omega_{0e} - \omega_e) \psi_{rd} \quad (5)$$

$$T_e = \frac{3}{2} n_p \frac{L_m}{L_r} (i_{sq} \psi_{rd} - i_{sd} \psi_{rq}) \quad (6)$$

Trong đó từ thông rotor được xác định:

$$\psi_{rd} = L_r i_{rd} + L_m i_{sd} \quad (7)$$

$$\psi_{rq} = L_r i_{rq} + L_m i_{sq} \quad (8)$$

Trong phương pháp định hướng từ trường rotor, thành phần i_{sd} sẽ được định hướng dọc theo vector từ thông rotor, còn thành phần i_{sq} có hướng vuông góc với vector trong hệ quy chiếu d-q sao cho từ thông rotor nằm hoàn toàn trên trục d như trong hình 2, khi đó thành phần từ thông rotor trên trục d, $\psi_{rd} = \psi_r$ và thành phần từ thông rotor trên trục q, $\psi_{rq} = 0$. Theo phương trình (4), tại trạng thái xác lập $\psi_{rd} = \psi_r = \text{const}$ nên $d\psi_{rd}/dt = 0$ và vì vậy $i_{rd} = 0$. Từ phương trình (8) và điều kiện $\psi_{rq} = 0$ ta suy ra biểu thức tính dòng điện rotor trên hệ trục q:

$$i_r = i_{rq} = -\frac{L_m}{L_r} i_{sq} \quad (9)$$

Biến đổi (13) kết hợp (14), (15), (16) ta tính được tổng tổn thất :

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{3}{2} I_s^2 \left[\frac{(R_s + R_m) + \left(\frac{L_m^2}{L_r^2} (R_r + R_m) - 2 \frac{L_m}{L_r} R_m \right) \sin^2(\Delta\gamma)}{\sin^2(\Delta\gamma)} \right] \quad (18)$$

Từ biểu thức (6) kết hợp (7) và (10) ta có thể tính được momen điện từ của động cơ không đồng bộ 3 pha:

$$T_e = \frac{3n_p L_m}{2L_r} i_{sq} \psi_{rd} = \frac{3n_p L_m}{2L_r} I_s^2 \cos(\Delta\gamma) \sin(\Delta\gamma) \quad (19)$$

Rút I_s^2 và đưa vào biểu thức (18) ta được hàm tổn hao công suất trong động cơ theo momen điện từ:

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{2(R_s + R_m)L_r}{n_p L_m^2} \frac{T_e}{\sin(2\Delta\gamma)} + \left(\frac{L_m}{L_r} (R_r + R_m) - 2R_m \right) \frac{2T_e}{n_p L_m} \text{tg}(\Delta\gamma) \quad (20)$$

Để xác định điều kiện sao cho tổng tổn thất ΔP_{Σ} là nhỏ nhất ta lấy đạo hàm biểu thức (20) và cho bằng 0.

$$\frac{d\Delta P_{\Sigma}}{d\Delta\gamma} = 0 \quad (21)$$

Thay biểu thức (20) vào (21) ta được điều kiện cần để đạt cực trị ta được:

$$\left((R_s + R_m)L_r^2 + (R_r + R_m)L_m^2 - 2R_m L_m L_r \right) \sin^2(\Delta\gamma) - (R_s + R_m)L_r^2 \cos^2(\Delta\gamma) = 0 \quad (22)$$

Giải phương trình (22) ta tìm được giá trị của góc lệch vector dòng điện stator và trục d trong hệ trục dq để tổng tổn thất ΔP_{Σ} cực tiểu:

$$\Delta\gamma^{\text{opt}} = \arctg \left(\sqrt{\frac{(R_s + R_m)L_r^2}{(R_s + R_m)L_r^2 + (R_r + R_m)L_m^2 - 2R_m L_m L_r}} \right) \quad (23)$$

Từ phương trình mô men động cơ ta suy ra giá trị từ thông tối ưu:

$$\psi_r^{\text{opt}} = \begin{cases} \sqrt{\frac{2L_r |T_e|}{3n_p}} \text{ctg}(\Delta\gamma^{\text{opt}}), & |T_e| \leq T_{\text{max}} \\ \psi_{rdm}, & |T_e| > T_{\text{max}} \end{cases} \quad (2)$$

4)

Trong đó, ψ_{rdm} – từ thông định mức động cơ và T_{max} là mô men cực đại của động cơ và được xác định bằng biểu thức :

$$T_{\text{max}} = \frac{3n_p}{2L_r} \psi_{rdm}^2 \text{tg}(\Delta\gamma^{\text{opt}}) \quad (25)$$

Như vậy để tổng tổn hao trong động cơ đạt giá trị nhỏ nhất phải điều khiển sao cho góc lệch giữa vector dòng điện stator và trục d của hệ trục dq cố định và bằng giá trị của biểu thức (23) hay từ thông đạt giá trị tối ưu như trong biểu thức (24).

IV. MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN GIẢM TỔN HAO

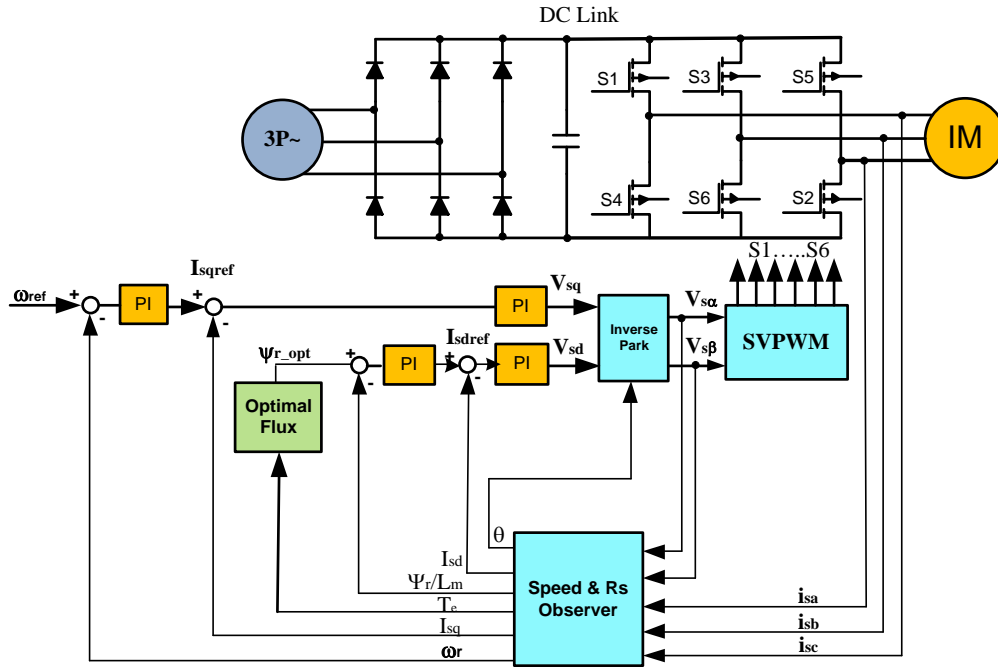
Hình 3 trình bày mô hình điều khiển động cơ không đồng bộ 3 pha giảm tổn hao theo phương pháp DRFOC không sử dụng cảm biến tốc độ. So với mô hình điều khiển DFOC truyền thống có sự khác biệt chính là khối ước lượng tốc độ, ước lượng điện trở stator và đặc biệt là bộ phận xác định từ thông tối ưu theo giải thuật giảm tổn hao đề xuất từ biểu thức (24) – Optimal Flux.

Trong mô hình điều khiển đề xuất sử dụng hai bộ quan sát tốc độ và điện trở stator (MRAS). Cả hai mô hình đều sử dụng bộ quan sát từ thông để làm mô hình tham chiếu, cũng

như mô hình hiệu chỉnh. Trong đó, mô hình tham chiếu MRAS tốc độ là bộ quan sát từ thông vòng kín xây dựng theo mô hình

Luenberger trên cơ sở điện áp, nhằm giảm sai số từ thông rotor.

Phương trình mô hình tham chiếu



Hình 3. Mô hình điều khiển giảm tổn hao động cơ trên cơ sở DRFOC

$$\begin{cases} \hat{\Psi}_{r\alpha} = L_r \frac{\hat{\Psi}_{s\alpha} - \sigma L_s \hat{i}_{s\alpha}}{L_m} \\ \hat{\Psi}_{r\beta} = L_r \frac{\hat{\Psi}_{s\beta} - \sigma L_s \hat{i}_{s\beta}}{L_m} \end{cases} \quad (26)$$

Bộ hiệu chỉnh xây dựng theo mô hình quan sát từ thông theo dòng điện.

$$\begin{bmatrix} \Psi_{\alpha r} \\ \Psi_{\beta r} \end{bmatrix} = \int \left(\begin{bmatrix} -1/T_r & -\omega_r \\ \omega_r & -1/T_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Psi_{\alpha r} \\ \Psi_{\beta r} \end{bmatrix} + \frac{L_m}{T_r} \begin{bmatrix} i_{\alpha s} \\ i_{\beta s} \end{bmatrix} \right) \quad (27)$$

Bộ quan sát từ thông vòng kín Luenberger được trình bày trong [3], [4],[5].

$$\begin{cases} \frac{d\hat{\Psi}_{s\alpha}}{dt} = \frac{1}{\sigma T_s} \left(-\hat{\Psi}_{s\alpha} + \frac{L_m}{L_r} \hat{\Psi}_{r\alpha} + u_{s\alpha} \right) - k (i_{s\alpha} - \hat{i}_{s\alpha}) \\ \frac{d\hat{\Psi}_{s\beta}}{dt} = \frac{1}{\sigma T_s} \left(-\hat{\Psi}_{s\beta} + \frac{L_m}{L_r} \hat{\Psi}_{r\beta} + u_{s\beta} \right) - k (i_{s\beta} - \hat{i}_{s\beta}) \end{cases} \quad (28)$$

Trong đó: k là độ lợi bộ quan sát có được khi giải phương trình tuyến tính hoá hệ thống .

Sau khi biến đổi và kiểm tra ổn định hệ thống theo tiêu chuẩn ổn định của Popov ta thu được phương trình ước lượng tốc độ và điện trở stator sau:

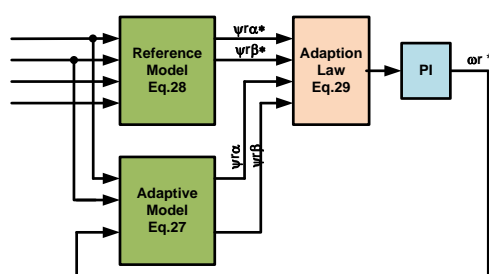
$$\hat{\omega} = \left(K_{p\omega} + \int K_{I\omega} \right) \left(\varepsilon_I^T \cdot J \cdot \hat{\Psi}_{rl}^s \right)$$

$$= \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{\alpha rV}^s - \hat{\Psi}_{\alpha rI}^s & \hat{\Psi}_{\beta rV}^s - \hat{\Psi}_{\beta rI}^s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\hat{\Psi}_{\beta rI}^s \\ \hat{\Psi}_{\alpha rI}^s \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$\hat{R}_s = \left(K_{pR_s} + \int K_{IR_s} \right) \left(\varepsilon_V^T \cdot i_s^s \right)$$

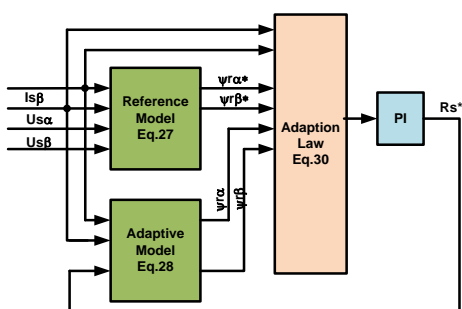
$$= \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{\alpha rV}^s - \hat{\Psi}_{\alpha rI}^s & \hat{\Psi}_{\beta rV}^s - \hat{\Psi}_{\beta rI}^s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{\alpha s} \\ i_{\beta s} \end{bmatrix} \quad (30)$$

Mô hình ước lượng tốc độ được xây dựng từ các phương trình (27), (28), (29) với ngõ vào là tín hiệu điện áp và dòng điện stator trên hệ trục $\alpha\beta$ và trình bày trên hình 4.



Hình 4. Mô hình ước lượng tốc độ

Mô hình quan sát điện trở được xây dựng từ các phương trình (27), (28), (30) với ngõ vào là tín hiệu điện áp và dòng điện stator trên hệ trục $\alpha\beta$ và trình bày trên hình 5.



Hình 5. Mô hình ước lượng điện trở stator

V. MÔ PHỎNG MATLAB/SIMULINK

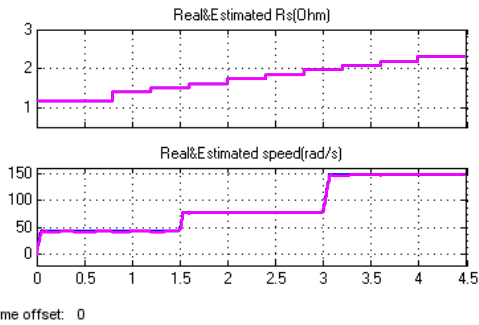
Để chứng minh tính hiệu quả của giải thuật giảm tổn hao đề xuất và độ chính xác của các bộ quan sát, ta thực hiện phỏng mô hình trong hình 3 bằng phần mềm Matlab/Simulink. Trong mô hình sử dụng động cơ không đồng bộ 3 pha công suất 4kW với các thông số được trình bày trong Bảng 1. Các trường hợp khảo sát được tiến hành cho mô hình DRFOC truyền thống, mô hình DRFOC có sử dụng bộ quan sát sự thay đổi của điện trở stator và mô hình điều khiển giảm tổn hao đề xuất.

Bảng 1. Thông số động cơ

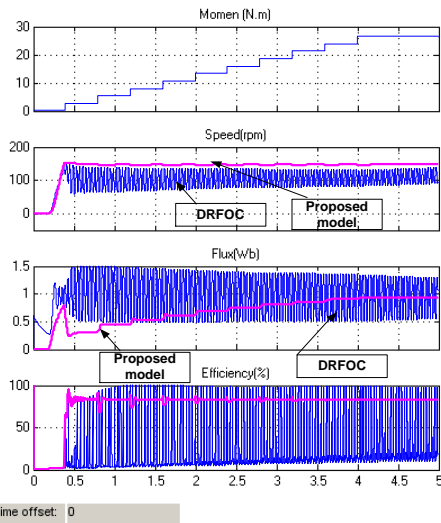
Thông số	Kí hiệu (đơn vị)	Giá trị
Điện trở cuộn dây pha stator	R_s (Ω)	1.15
Điện trở cuộn dây pha rotor	R_r (Ω)	1.44
Điện trở mạch từ hóa	R_m	8.7
Điện cảm mạch từ hóa	L_m (mH)	0.143
Điện cảm cuộn stator	$L_{\sigma s}$ (mH)	0.156
Điện cảm cuộn rotor	$L_{\sigma r}$ (mH)	0.156
Số cặp cực động cơ	n_p	2
Mô men quán tính cơ	J (kg.m ²)	0.024
Mô men định mức	T_{dm} (N.m)	26.5
Tốc độ định mức	ω_{dm}	1395
Hiệu suất định mức	%	85

1. Khảo sát độ chính xác của các bộ quan sát.

Để đánh giá chất lượng của các bộ quan sát, ta tăng giá trị của điện trở stator theo thời gian từ giá trị định mức của R_s đến 2 lần định mức với độ chia 0.1. Đồng thời thay đổi tốc độ đặt với 3 giá trị khác nhau lần lượt là 36.5 (rad/s), 73 (rad/s) và 146 (rad/s). Kết quả mô phỏng được trình bày trên hình 6 cho thấy bộ quan sát cho giá trị ước lượng rất chính xác.



Time offset: 0
Hình 6. So sánh điện trở stator, tốc độ thực và ước lượng



Time offset: 0
Hình 7. Đáp ứng của hệ thống (mô men đặt, tốc độ, từ thông và hiệu suất) khi và R_s tăng 200%
2. Khảo sát khả năng đáp ứng của mô hình khi điện trở stator thay đổi: tăng điện trở stator tăng lên 200 % giá trị định mức.

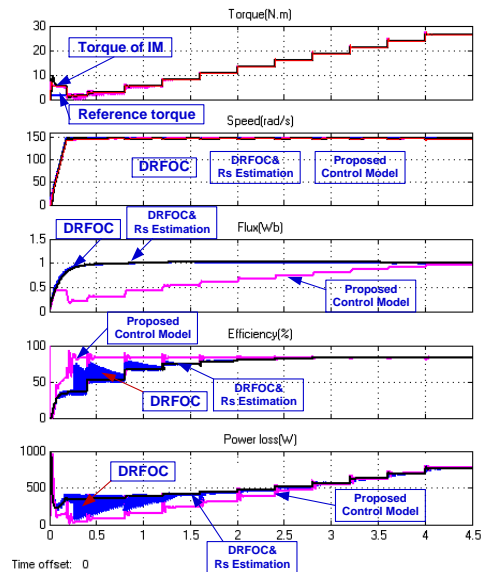
Khi tăng điện trở mạch stator của động cơ lên 200% so với giá trị định mức, hệ thống DRFOC truyền thống bị mất ổn định và không còn khả năng điều khiển, trong khi mô hình đề xuất vẫn đáp ứng và hiệu suất vẫn đảm bảo đạt 78 %. Kết quả mô phỏng được trình bày trên hình 7. Điều này chứng tỏ ưu điểm vai trò quan trọng không thể thiếu của bộ ước lượng điện trở stator trong mô hình điều khiển.

3. Khảo sát khả năng giảm tổn hao của các mô hình.

Tiến hành so sánh khả năng giảm tổn hao trong mô hình DRFOC truyền thống, mô hình DRFOC có sử dụng bộ quan sát sự thay đổi của điện trở stator mô hình điều khiển giảm tổn hao đề xuất cho 3 trường hợp:

a. Khi điện trở stator bằng 150% định mức và tốc độ động cơ là định mức.

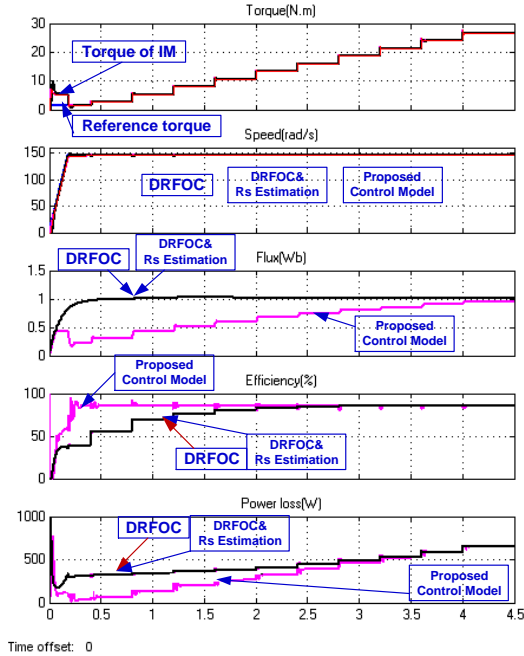
Kết quả mô phỏng trong hình 8 cho thấy khi tải nhỏ hơn 30% định mức, hiệu suất của mô hình DRFOC truyền thống không ổn định, trong khi mô hình DRFOC có sử dụng bộ quan sát sự thay đổi của điện trở stator cho thấy sự ổn định trong cả dải điều khiển. Khi tải nhỏ hơn 70% định mức hiệu suất của mô hình đề xuất có hiệu suất cao hơn nhiều so với cả hai mô hình DFOC đặc biệt trong vùng non tải và hầu như không đổi trong toàn dải của tải. Kết quả này đã cho thấy chất lượng của bộ quan sát điện trở R_s và khả năng giảm tổn hao của mô hình đề xuất.



Time offset: 0
Hình 8. Đáp ứng của hệ thống (mô men động cơ, tốc độ, từ thông và hiệu suất, tổn hao) khi $R_s=1.5R_{sdm}$ và tốc độ là định mức

b. Khi điện trở stator bằng định mức và tốc độ động cơ là định mức.

Kết quả mô phỏng được trình bày trong hình 9 cho thấy chất lượng điều khiển của mô hình



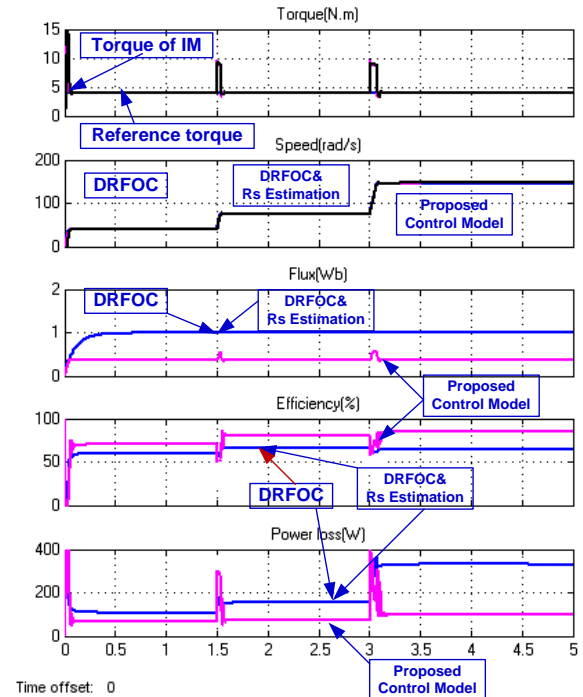
Hình 9. Đáp ứng của hệ thống (mô men động cơ, tốc độ, từ thông, hiệu suất, tổn hao) khi $R_s=R_{sdm}$ và tốc độ là định mức

DRFOC và DRFOC có sử dụng bộ quan sát sự thay đổi của điện trở stator như nhau. Khi tải nhỏ hơn 70% định mức hiệu suất của mô hình đề xuất có hiệu suất cao hơn nhiều so với cả hai mô hình DFOC đặc biệt trong vùng non tải và hầu như không đổi trong toàn dải của tải.

c. Khi điện trở stator bằng định mức và tốc độ động cơ thay đổi và tải bằng 15% định mức.

Tải của động cơ được giữ không đổi bằng 15% định mức và tốc độ điều khiển lần lượt 3 giá trị khác nhau lần lượt là 36.5 (rad/s), 73 (rad/s) và 146 (rad/s). Kết quả được trình bày trên hình 10

cho thấy với mọi tốc độ, điều khiển đề xuất có hiệu suất cao hơn so với cả hai mô hình DRFOC. Với cùng một tải, tốc độ càng lớn độ chênh lệch về tổn hao giữa các mô hình ngày càng cao.



Hình 10. Đáp ứng của hệ thống (mô men động cơ, tốc độ, từ thông, hiệu suất, tổn hao) khi $R_s=R_{sdm}$ và tốc độ thay đổi và tải bằng 15% định mức

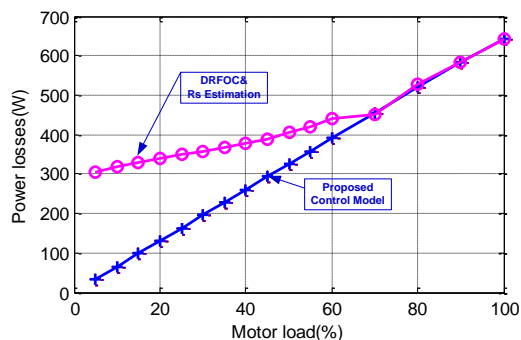
4. So sánh hiệu quả kinh tế

Để so sánh hiệu quả kinh tế của mô hình đề xuất với mô hình DFOC truyền thống, tiến hành mô phỏng với tốc độ là định mức và tải tăng dần từ 0 đến định mức. Kết quả được trình bày ở bảng 2

Bảng 2. So sánh hiệu quả kinh tế

Stt	Tỷ lệ tải định mức (%)	Tổn thất công suất $\Delta P_{\Sigma}(W)$		Hiệu suất (%)	
		DFO C	Giải thuật đề xuất	DFO C	Giải thuật đề xuất
1	5	303	32.5	38.68	85.58
2	10	318	65.12	54.83	85.58
3	15	329.9	97.66	63.81	85.58
4	20	341.1	130.1	69.41	85.58
5	25	351	162.7	73.36	85.58
6	30	358	195.2	76.42	85.58
7	35	367	227.7	78.67	85.58
8	40	378	260	80.37	85.58
9	45	390	292.8	81.68	85.58
10	50	405	325.3	82.64	85.58
11	55	421	357	83.48	85.58
12	60	439.2	390.2	84.09	85.58
13	70	450	455	84.93	85.58
14	80	528	520	85.4	85.58
15	90	583	584	85.5	85.58
16	100	644	644	85.68	85.58

Từ bảng 2 ta vẽ đồ thị so sánh tổn hao công suất giữa các mô hình điều khiển (hình 11).



Hình 11. Tổn hao công suất của hai mô hình khi tốc độ là định mức

Để thấy rõ hiệu quả kinh tế của các hệ thống với giải thuật đề xuất với phương pháp DRFOC, ta có thể sử dụng cách đánh giá theo công thức:

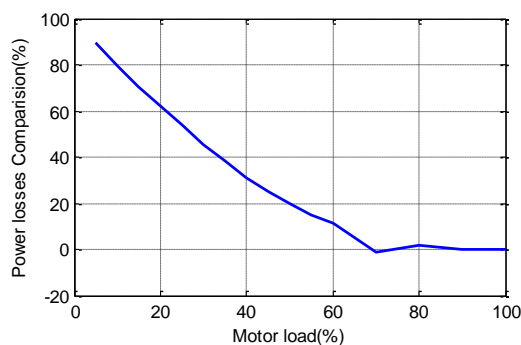
$$E = \frac{\Delta P_{FOC} - \Delta P_{Opt}}{\Delta P_{FOC}} \cdot 100\% \quad (31)$$

Trong đó:

ΔP_{FOC} - Tổng tổn hao của động cơ khi điều khiển theo phương pháp FOC.

ΔP_{Opt} - Tổng tổn hao của động cơ khi điều khiển theo phương pháp đề xuất.

Kết quả tỷ lệ tổn thất giữa hệ thống với giải thuật đề xuất với phương pháp DRFOC được trình bày trong hình 12.



Hình 12. Kết quả so sánh tổn thất hai mô hình.

Từ hình 11-12 cho thấy mô hình điều khiển đề xuất cho phép giảm tổn hao công suất so với DFOC truyền thống đến 85% và tăng hiệu suất đến 42% ứng với giá trị tải từ 5% định mức.

VI. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày hệ thống điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha tích hợp giải thuật giảm tổn thất công suất dựa trên cơ sở phương pháp điều khiển DRFOC sử dụng bộ ước lượng tốc độ và ước lượng. Kết quả mô phỏng bằng Matlab/Simulink cho thấy sự khác biệt về hiệu suất của mô hình đề xuất so với DRFOC truyền thống lớn nhất đạt 42% khi non tải (nhỏ hơn 70%) nhờ việc điều khiển tìm từ thông tối ưu. Từ thông tối ưu thay đổi theo tải và khác với từ

thông trong DRFOC không đổi và bằng định mức. Ngoài ra, nhờ sự chính xác của các bộ quan sát tốc độ, hệ thống đề xuất có đáp ứng tốt và vẫn đảm bảo đạt hiệu suất cao tốt ngay cả khi điện trở stator thay đổi đến 200% định mức ứng với mọi giá trị tốc độ và tải trong vùng định mức. Kết quả mô phỏng bằng Matlab Simulink cho thấy tính ưu việt và khả thi của các giải thuật đề xuất và phù hợp với lý thuyết được trình bày.

LỜI CẢM ƠN

Xin chân thành cảm ơn Phòng thí nghiệm “Nghiên cứu Điện tử công suất” – Bộ môn Cung Cấp Điện – Khoa Điện-Điện tử - Trường ĐHBK TPHCM đã hỗ trợ và tạo điều kiện tốt nhất cho nhóm tác giả thực hiện bài báo khoa học này.

Adaptive-Loss minimization control for speed sensorless induction machines

- Lê Minh Phương
- Nguyễn Hoài Phong
- Đặng Ngọc Hưng

University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT:

This paper presents a new online loss-minimization algorithm in the adaptive control model for speed sensorless based on the Direct Rotor Flux Oriented Control (DRFOC) with optimum flux in the condition of do variable stator resistance. The paper also presents a new approach to develop a reference and adaptive models to estimate the speed and to observe stator resistance change. Simulation results in Matlab

Simulink showed good adaptability of the presented model controls even when the stator resistance changes to up 200% of rated. In addition, using the proposed algorithm allows reducing losses and improving efficiency of proposed control model in comparison with DRFOC traditional model for load range 0-70% of the rated. Where the difference of efficient can reach 42%, and the difference in loss to 85%.

Keywords: *loss-minimization, a reference and adaptive models*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ali M. Bazzi, and Philip T. Krein, Review of Methods for Real-Time Loss Minimization in Induction Machines, *IEEE Transactions on Volume 46, NO 6, Industry Applications*, 2010, Page(s) 2319 – 2328.
- [2] Famouri P; Cathey, J.J. Loss minimization control of an induction motor drive, *IEEE Transactions on Volume 27, Industry Applications*, 1991, Page(s) 32- 37.
- [3] Veran Vasic, Robust MRAS-Based Algorithm for Stator Resistance and Rotor Speed Identification, *Power Engineering, IEEE*, 1991, Page(s): 16- 25.
- [4] Veran Vasic, Slobodan N. Vukosavic, A Stator Resistance Estimation Scheme for Speed Sensorless Rotor Flux Oriented Induction Motor Drives, *Energy Conversion, IEEE Transactions on, Volume 18, Issue 4, 2003* , Page(s): 476- 483.
- [5] Ramon Blasco Gimenez, High Performance Sensorless Vector Control of Induction Motor Drivers, Thesis submitted to the University of Nottingham for degree Doctor of Philosophy, 12/1995.
- [6] Москаленко В.В. Электрический привод - Учебник для студенческих высших учебных заведений. 2007, 362 стр.
- [7] Zorgani, Y.A. ; Koubaa, Y. ; Boussak, M., Simultaneous estimation of speed and rotor resistance sensorless FOC induction motor drive based on MRAS Scheme, *Electrical Machines (ICEM)*, 2010 XIX International Conference, 2010 , Page(s): 1- 6.
- [8] Jingchuan Li, M.S.E.E, Adaptive Sliding Mode Observer And Loss Minimization For Sensorless Field Orientation Control Of Induction Machine, Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University, 2000.
- [9] Zaky, M.S.; Khater, M.M.; Yasin, H.; Shokralla, S.S, Speed and stator resistance identification schemes for a low speed sensorless induction motor drive, *Power System Conference, 2008, MEPCON 2008. 12th International Middle-East, 2008* , Page(s): 96- 102.
- [10] Gan Dong; Ojo, O., Efficiency Optimizing Control of Induction Motor Using Natural Variables, *Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Volume 53, Issue 6, 2006*, Page(s): 1791- 1798.