

KỸ THUẬT ĐIỀU CHẾ RỜI RẠC VECTOR KHÔNG GIAN TRONG ĐIỀU KHIỂN TRỰC TIẾP MÔMEN ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

ThS. PHÙNG VĂN TRANG, ThS. ĐÀO HIẾU
Trường Đại học Mở-Địa chất

Những năm gần đây nhiều nghiên cứu được phát triển nhằm tìm giải pháp điều khiển nhanh, chính xác mômen trong vận hành động cơ không đồng bộ ba pha. Phương pháp điều khiển trực tiếp mômen (DTC) được đưa ra để đáp ứng các yêu cầu trên [1], [2], [3].

Điểm mạnh của phương pháp DTC là ta có thể điều khiển riêng biệt từ thông và mômen mà không cần các cảm biến đo tốc độ và vị trí, không cần điều khiển trực tiếp dòng. Tuy nhiên do hạn chế về số lượng các vector điện áp dẫn tới đồ thị từ thông và mômen dao động mạnh với tần số cao. Điều này khiến động cơ làm việc không êm, tổn hao tăng.

Để làm giảm sự dao động này, giải pháp được đưa ra là cần tăng số lượng vector điện áp trong một chu kỳ giúp bù điện áp chính xác hơn. Khi đó từ thông và mômen sẽ được điều khiển chính xác hơn. Phương pháp này được gọi là phương pháp điều chế vector không gian - Space Vector Modulation (SVM), tuy nhiên kéo theo đó là sự phức tạp của mạch điều khiển. Để dung hòa giữa mục tiêu điều khiển và sự phức tạp của mạch điều khiển phương pháp điều chế rời rạc vector không gian (DSVM) được lựa chọn. DSVM sử dụng phương pháp SVM nhưng cũng không làm tăng nhiều độ phức tạp của mạch điều khiển [4], [5].

1. Ảnh hưởng của tốc độ và điện áp stator tới mômen

Theo [3] các phương trình động cơ trên tọa độ không gian tựa theo vector điện áp stator là:

$$\bar{U}_s = r_s \bar{i}_s + \frac{d\bar{\psi}_s}{dt}; \bar{U}_r = r_r \bar{i}_r + \frac{d\bar{\psi}_r}{dt} \quad (1)$$

$$\bar{\psi}_s = L_s \bar{i}_s + L_0 \bar{i}_r; \bar{\psi}_r = L_r \bar{i}_r + L_0 \bar{i}_s \quad (2)$$

Với r_s , r_r là điện trở dây quấn stator và rotor; L_s , L_r là tự cảm của dây quấn stator, rotor; L_0 là hỗ

cảm của dây quấn stator và rotor; i_r , i_s là dòng điện rotor và stator; ω_m là vận tốc góc rotor.

Biểu thức mômen điện từ:

$$M = p \frac{L_0}{\sigma L_s L_r} (\bar{\psi}_s \cdot j \bar{\psi}_r) \quad (3)$$

Với p là số cặp cực từ và $\sigma = (1 - L_0^2 / L_s L_r)$. Ký hiệu là tích vô hướng của hai vector. $j \bar{\psi}_r$ là vector nhận được khi quay $\bar{\psi}_r$ góc 90° ngược chiều kim đồng hồ. Thay σ và đặt $\tau_s = L_s / r_s$; $\tau_r = L_r / r_r$ vào (1), (2) ta có:

$$\begin{bmatrix} \frac{d\bar{\psi}_s}{dt} \\ \frac{d\bar{\psi}_r}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sigma \tau_s} & \frac{L_0}{\sigma L_s \tau_r} \\ \frac{L_0}{\sigma L_s \tau_r} & j\omega_m - \frac{1}{\sigma \tau_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\psi}_s \\ \bar{\psi}_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \bar{U}_s \quad (4)$$

Phương trình (3) cho thấy độ lớn của mômen phụ thuộc vào góc lệch giữa $\bar{\psi}_s$ và $\bar{\psi}_r$. Thêm vào đó, các phương trình (1), (2) đưa ra mối liên hệ giữa hai vector từ thông $\bar{\psi}_s$ và $\bar{\psi}_r$ bằng phương trình:

$$\frac{d\bar{\psi}_r}{dt} + \left(\frac{1}{\sigma \tau_r} - j\omega_m \right) \bar{\psi}_r = \frac{L_0}{\sigma L_s \tau_r} \bar{\psi}_s \quad (5)$$

Viết (5) dưới dạng rời rạc với $dt = \Delta t$ rất nhỏ, chúng ta có:

$$\bar{\psi}_{s_{k+1}} = \bar{\psi}_{s_k} \left(1 - \frac{1}{\sigma \tau_s} \right) + \bar{\psi}_{r_k} \frac{L_0}{\sigma L_s \tau_r} \Delta t + \bar{U}_{s_k} \Delta t \quad (6)$$

$$\bar{\psi}_{r_{k+1}} = \bar{\psi}_{r_k} \left[1 + \left(j\omega_{m_k} - \frac{1}{\sigma \tau_s} \right) \Delta t \right] + \bar{\psi}_{s_k} \frac{L_0}{\sigma L_s \tau_r} \Delta t \quad (7)$$

Phương trình (6) cho thấy từ thông stator thay đổi tùy thuộc vào vector điện áp stator nào được chọn. Nếu ta bỏ qua tự tác động của điện trở stator, lúc đó $\tau_s = L_s / r_s \rightarrow \infty$ phương trình (6) có dạng:

$$\bar{\psi}_{s_{k+1}} = \bar{\psi}_{s_k} + \bar{U}_{s_k} \Delta t \quad (8)$$

Phương trình (8) chỉ ra rằng biến thiên từ thông stator $\Delta\psi_{s_k} = \psi_{s_{k+1}} - \psi_{s_k}$ cùng chiều với chiều của vector điện áp stator được chọn $\overline{U}_{s_k}$ và có giá trị tỷ lệ thuận với Δt và $|\overline{U}_{s_k}|$.

Ta viết lại biểu thức tính mômen điện từ dạng rời rạc xuất phát từ (3):

$$M_{k+1} = p \frac{L_0}{\sigma L_s L_r} (\overline{\psi}_{s_{k+1}} \cdot j\overline{\psi}_{r_{k+1}}) \quad (9)$$

Thay (6), (7) vào (9) và bỏ đi các thành phần vô cùng bé chứa $(\Delta t)^2$ ta có được giá trị mômen điện từ tại thời điểm $(k+1)$ như sau:

$$M_{k+1} = M_k + \Delta M_{k1} + \Delta M_{k2}. \quad (10)$$

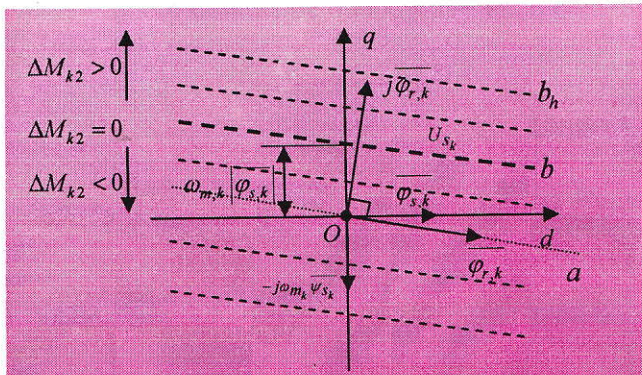
$$\text{Với: } \Delta M_{k1} = -M_k \left(\frac{1}{\tau_r} + \frac{1}{\tau_s} \right) \frac{\Delta t}{\sigma}. \quad (11)$$

$$\Delta M_{k2} = p \frac{M}{\sigma L_s L_r} [(\overline{U}_{s_k} - j\omega_{mk} \overline{\psi}_{s_k}) j\overline{\psi}_{r_k}] \Delta t. \quad (12)$$

Phương trình (11) cho thấy điện trở stator và rotor làm suy giảm giá trị tuyệt đối của mômen điện từ. ΔM_{k1} tỷ lệ thuận với giá trị mômen ở thời điểm t_k nhưng không phụ thuộc vào vector điện áp stator được chọn $\overline{U}_{s_k}$ cũng như tốc độ của động cơ ω_{mk} tại thời điểm đó.

Phương trình (12) chỉ ra ảnh hưởng của vector điện áp tác dụng $\overline{U}_{s_k}$ tới sự thay đổi giá trị mômen điện từ. Với một vector điện áp nhất định, ΔM_{k2} cho thấy ảnh hưởng của tốc độ động cơ tới mômen qua sức điện động cảm ứng $\omega_{mk} \psi_{sk}$.

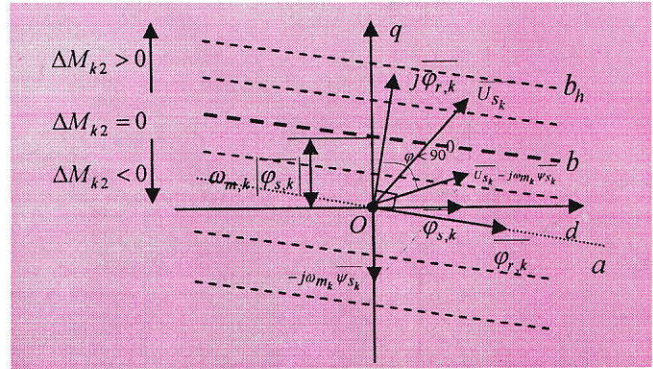
Giả sử vector từ thông stator $\overline{\psi}_{s_k}$ nằm trên trục d của hệ tọa độ (d-q). Góc tạo bởi hai vector từ thông $\overline{\psi}_{s_k}$ và $\overline{\psi}_{r_k}$ xác định bởi mômen M_k như H.1.



H.1. Sự biến thiên của ΔM_{k2}

Rõ ràng $\Delta M_{k2}=0$ chỉ khi 2 vector $j\overline{\psi}_{r_k}$ và $(\overline{U}_{s_k} - j\omega_{mk} \overline{\psi}_{s_k})$ vuông góc với nhau, khi đó vector

$(\overline{U}_{s_k} - j\omega_{mk} \overline{\psi}_{s_k})$ có phương trùng với phương của vector $\overline{\psi}_{r_k}$. Vì vector điện áp $\overline{U}_{s_k}$ có gốc tại O, ta thấy tập hợp các đầu mút của những vector $\overline{U}_{s_k}$ làm cho vector $(\overline{U}_{s_k} - j\omega_{mk} \overline{\psi}_{s_k})$ có phương trùng với phương của vector $\overline{\psi}_{r_k}$ (đường thẳng a) là một đường thẳng có phương trùng với phương của đường thẳng a và cắt trục q ở tung độ $\omega_{mk} \cdot |\overline{\psi}_{s_k}|$ - đường thẳng b (H.1). Mỗi đường thẳng chấm dứt đại diện cho quỹ tích vector điện áp stator ứng với một giá trị cụ thể của ΔM_{k2} .



H.2. Khi vector điện áp nằm trên b

Nếu đầu mút vector điện áp nằm phía trên đường thẳng b thì góc tạo bởi hai vector $j\overline{\psi}_{r_k}$ và $(\overline{U}_{s_k} - j\omega_{mk} \overline{\psi}_{s_k})$ bé hơn 90° làm cho $\Delta M_{k2} > 0$ (H.2) dẫn tới M_{k+1} tăng. Ngược lại nếu đầu mút vector điện áp nằm dưới đường thẳng b sẽ cho kết quả $\Delta M_{k2} < 0$ và làm giảm mômen. Từ nhận xét trên ta thấy rằng có những vector điện áp stator có thể làm tăng giá trị mômen khi rotor ở tốc độ thấp (ω_{mk} nhỏ) và làm giảm giá trị mômen khi rotor đang quay ở tốc độ cao (ω_{mk} lớn). Điều này cần được xem xét tới khi ta đưa ra chiến lược lựa chọn vector điện áp.

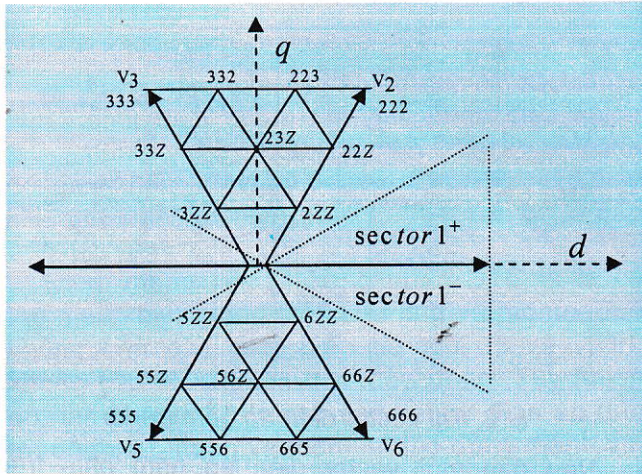
Thêm vào đó, cũng từ H.1 và H.2 ta thấy hai vector điện áp cùng biên độ nhưng ngược chiều gây ra những biến thiên mômen có trị tuyệt đối gần nhau ở tốc độ thấp nhưng sai khác lớn ở tốc độ cao.

2. Xây dựng Bảng đóng cắt dựa trên kỹ thuật DSVM

Trong phần này ta đi xây dựng Bảng đóng cắt theo kỹ thuật DSVM cho cấu trúc DTC. Sự khác biệt là ở chỗ: một vector điện áp trong phương pháp DSVM có thể được tổng hợp từ các vector cơ bản của phương pháp DTC cổ điển, Khi đó ta sẽ

tính toán vector điện áp thích hợp hơn. Điều đó có nghĩa, trong một chu kỳ có thể có nhiều vector cơ bản được chọn.

Số lượng vector điện áp được tạo ra phụ thuộc vào số khoảng thời gian phân chia từ một chu kỳ. Số lượng vector điện áp càng nhiều thì đáp ứng mômen và từ thông càng chính xác. Tuy nhiên, khi số lượng vector điện áp nhiều sẽ kéo Bảng đóng cắt phức tạp hơn, mạch điều khiển sẽ phức tạp hơn. Giải pháp hợp lý là dung hòa giữa yêu cầu về độ dao động của mômen và từ thông với độ phức tạp của mạch điều khiển. Theo thực nghiệm một chu kỳ điều khiển được chia làm ba là giải pháp tối ưu [4].

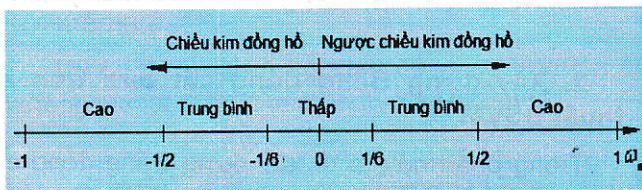


H.3. Kỹ thuật DSVM khi chu kỳ điều khiển được chia ba

Phương pháp DSVM với mỗi chu kỳ chia làm ba khoảng bằng nhau, 19 vector điện áp có thể được sử dụng (H.3). Ví dụ, ký hiệu "332" là vector điện áp tổng hợp từ các vector điện áp V_3 , V_3 và V_2 ứng với mỗi khoảng thời gian bằng $1/3$ chu kỳ. Chiến lược lựa chọn vector điện áp có thể sử dụng cả 19 vector điện áp. Việc lựa chọn vector phụ thuộc nhiều vào sức điện động $\omega_{mk}\psi_{sk}$. Người ta dùng tỷ số

$$\lambda = \frac{\omega_{mk}\psi_{mk}}{\omega_{ref}\psi_{ref}} \quad (13)$$

để phân biệt tốc độ động cơ đang là thấp, trung bình hay cao, ω_{ref} , ψ_{ref} thứ tự là tốc độ và từ thông stator định mức của động cơ (H.4).



H.4. Trục phân chia cấp tốc độ

Ta dùng λ và đầu ra bộ điều khiển mômen (H.5.a), từ thông (H.5.b) làm cơ sở xây dựng Bảng

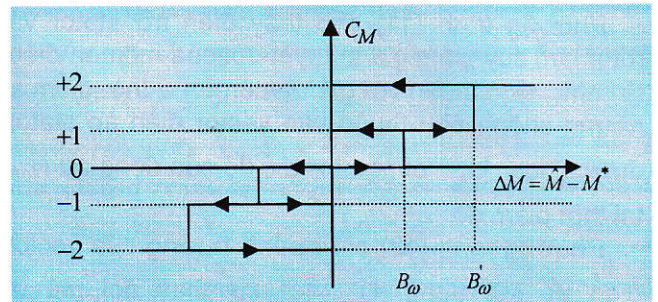
đóng cắt. Trong phạm vi bài báo này, các tác giả đưa ra bốn bảng cho trường hợp động cơ quay ngược chiều kim đồng hồ (Bảng 1+4).

Vẫn với giả thiết rằng vector từ thông stator đang nằm ở sector 1 trong hệ tọa độ (d-q), khi đó, do $\bar{U}_{sk}$ sớm hơn $\bar{\psi}_{sk}$ một góc 90° nên $\bar{U}_{sk}$ nằm giữa 2 vector điện áp V_2 và V_3 (H.6).

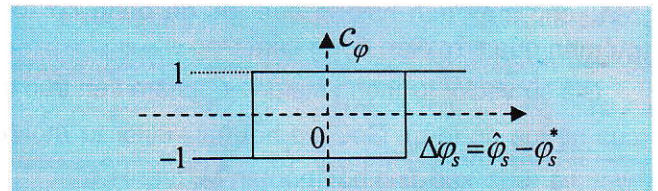
Giả sử động cơ đang quay ngược chiều kim đồng hồ với vận tốc lớn và có nhu cầu tăng mômen.

Trong trường hợp này, đường thẳng in đậm ở H.6 liên quan tới trạng thái tốc độ cao của động cơ và bốn vector có thể được sử dụng là "333", "332", "223" và "222".

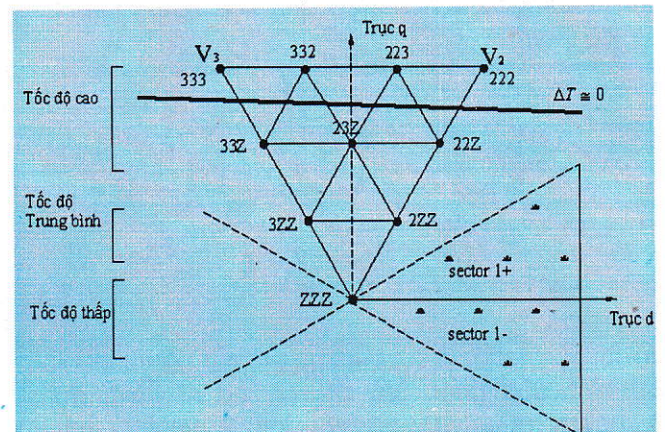
Tùy thuộc vào nhu cầu tăng hay giảm từ thông mà hai vector đầu hay hai vector sau sẽ được chọn. Ví dụ, để giảm từ thông ta có thể chọn vector điện áp là "333" và "332" tương ứng khi từ thông đang nằm trong sector 1^+ và 1^- .



H.5.a. Năm cấp so sánh mômen



H.5.b. Hai cấp so sánh từ thông



H.6. Vector điện áp được chọn khi từ thông stator ở sector 1

Bảng 1. Tốc độ thấp: sector 1+ và 1-

C_ψ	C_M				
	+2	+1	0	-1	-2
+1	555	55Z	ZZZ	3ZZ	333
-1	666	6ZZ	ZZZ	2ZZ	222

Bảng 2. Tốc độ trung bình: sector 1+ và 1-

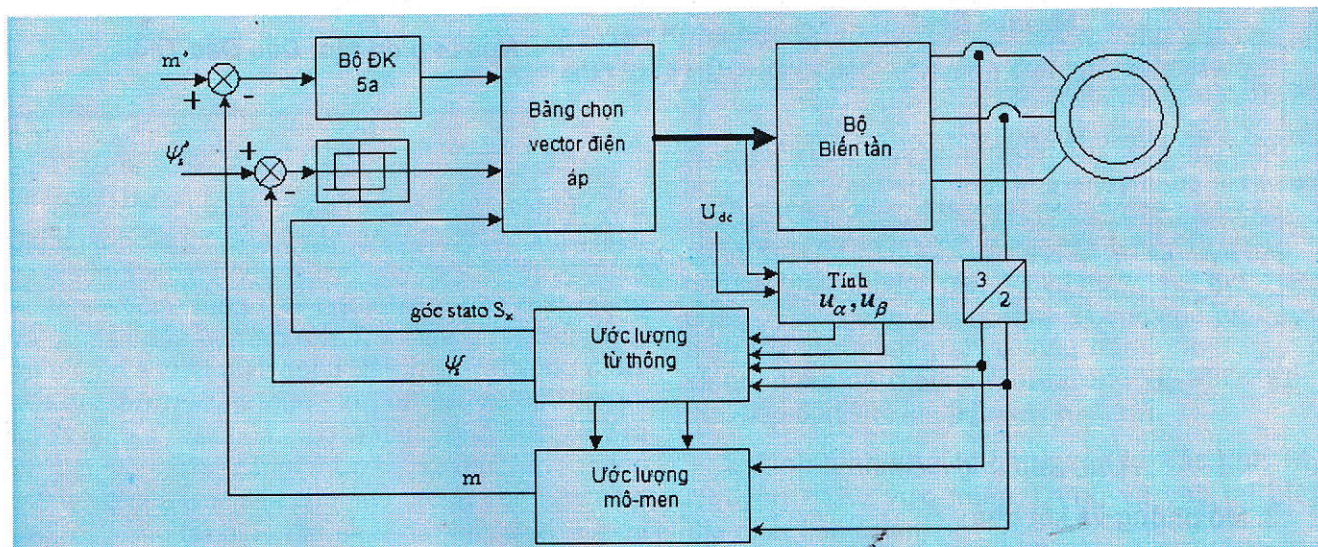
C_ψ	C_M				
	+2	+1	0	-1	-2
+1	555	ZZZ	3ZZ	33Z	333
-1	666	ZZZ	2ZZ	22Z	222

Bảng 3. Tốc độ cao: sector 1+

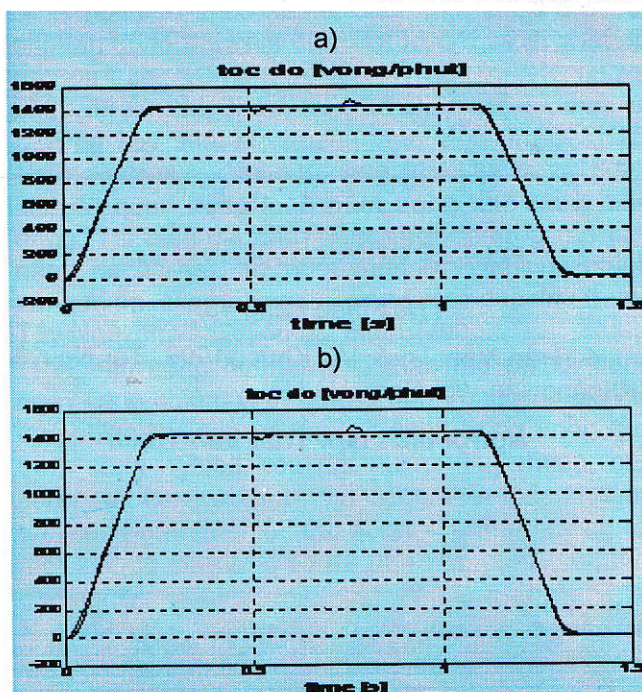
C_V	C_M				
	+2	+1	0	-1	-2
+1	555	3ZZ	33Z	333	333
-1	666	2ZZ	23Z	223	222

Bảng 4. Tốc độ cao: sector 1-

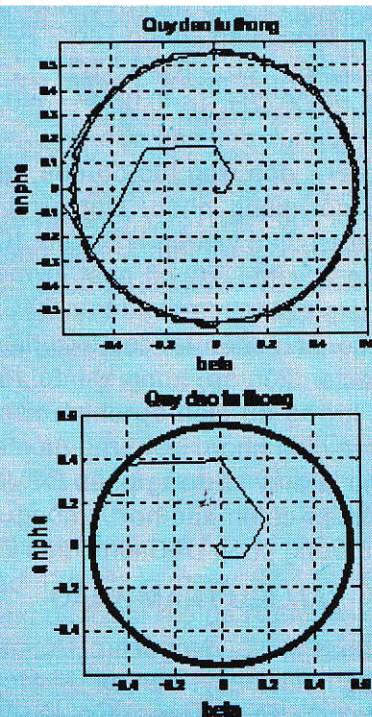
C_ψ	C_M				
	+2	+1	0	-1	-2
+1	555	3ZZ	23Z	332	333
-1	666	2ZZ	22Z	222	222



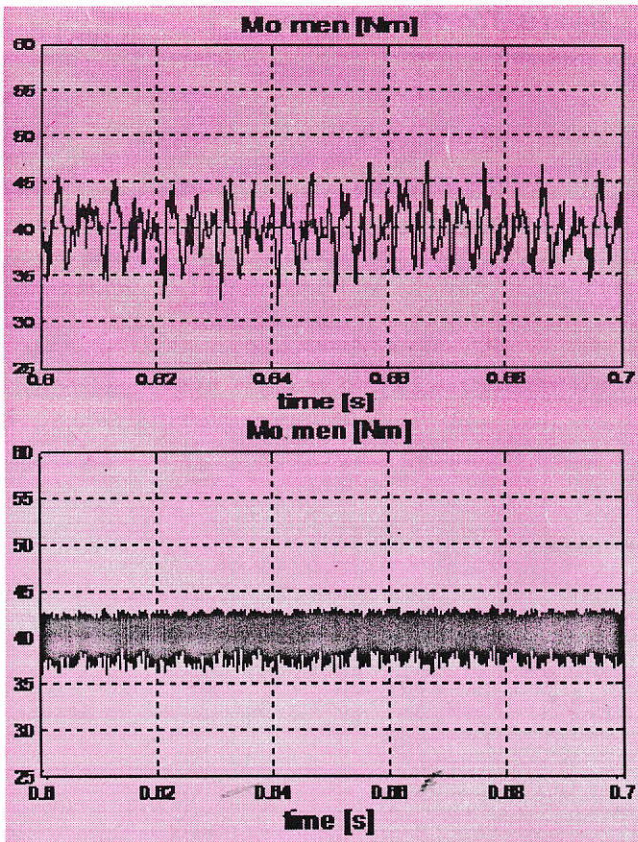
H.7. Cấu trúc điều khiển DTC theo kỹ thuật DSVM



H.8. Đáp ứng tốc độ: a - Phương pháp DTC kinh điển; b - Phương pháp DSVN-DTC.



H.9. Quỹ đạo từ thông stator



H.10. Đáp ứng mômen

3. Mô phỏng và kết quả

Cấu trúc điều khiển theo phương pháp DSVM-DTC đưa ra trên H.7 cho động cơ không đồng bộ ba pha với thông số động cơ: $P=4200$ W; $U_{dm}=220$ V, $f_{dm}=50$ Hz; $R_s=0.51\Omega$; $L_s=0.0022$ H; $R_r=0.42\Omega$, $L_r=0.0022$ H; $L_0=0.056$ H; $J=0.05$ kgm²; $n_{dm}=1420$ vòng/phút; $p=2$ cặp cực; $\Psi_{stator}=0.56$ Wb.

Ta thấy ở H.8 đáp ứng tốc độ của hai phương pháp tương đối giống nhau. Đáp ứng từ thông stator và mômen điện từ trên H.9 và H.10 cho thấy phương pháp DSVM-DTC có chất lượng tốt hơn. Ở H.9, từ thông stator trong cấu trúc DTC kinh điển không tròn, có đỉnh nhọn tại các thời điểm chuyển mạch của vector điện áp, trong khi đó với kỹ thuật DSVM-DTC lượng bù điện áp chính xác hơn nên không gây các đỉnh nhọn. Đáp ứng mômen điện từ trên H.10 cho ta thấy phương pháp DSVM-DTC có đáp ứng mômen chính xác hơn, không đập mạch mạnh như phương pháp DTC kinh điển. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. I.Takahashi, T. Noguchi, "A new quick-response high-efficiency control strategy of an induction motor", IEEE Trans. On IA, Vol. IA-22, N.5, pp 820-827.

2. M. Depenbrok, "Direct self-control of inverter-fed induction machine", IEEE Trans. On PE, Vol. PE-3, N.4, pp 420-429.

3. Q.K. Bùi, V.L. Nguyễn, "Điều khiển truyền động điện", NXB Khoa học kỹ thuật, 2006.

4. A. Kurma, B.G. Fernandes, K. Chatterjee, "DTC of open-end winding induction motor using space vector modulation with reluctance switching frequency", IEEE Conf. On PE, 35th - 2004, pp 1214-1219.

5. E. Ozkop, H.I. Okumus, "Direct torque control of induction motor using space vector modulation", IEEE Conf, 2008, pp. 368-372.

Người biên tập: Đào Đức Tạo

SUMMARY

The Direct Torque Control technique (DTC) driving asynchronous electrical machines has been developed for applications which demand high excited torque supplied by the same source. The low number of voltage vectors which can be applied to the machines using basic DTC scheme may cause undesired torque and current ripple. In this paper, the authors present a technique using discrete space vector modulation used in the DTC scheme for an asynchronous electrical machine with a larger number of selected voltage vectors. The results will be verified by a simulation model based on Matlab-Simulink software.

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU...

(Tiếp theo trang 43)

4. Trần Văn Trị & Vũ Khúc, 1996. Tài Nguyên Khoáng sản Việt Nam, Hà Nội.

Người biên tập: Trần Văn Trạch

SUMMARY

The paper introduces the study results processing technology for antimony ore in the Cốc Lùng, Đề Thám, Trảng Định and Hoa Thám, Bình Gia, Lạng Sơn zone with content Sb=4.85 %.