

# ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA KHÔNG DÙNG CẢM BIẾN TỐC ĐỘ THEO PHƯƠNG PHÁP THÍCH NGHI DÙNG MÔ HÌNH CHUẨN SPEED SENSOR-LESS VECTOR CONTROL OF INDUCTION MOTOR WITH MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM(MRAS)

ThS. PHẠM TÂM THÀNH  
Khoa Điện – ĐTTB, Trường ĐHHH

**Tóm tắt:**

Điều khiển véc tơ động cơ không đồng bộ được cấp từ biến tần không cần tín hiệu phản hồi tốc độ từ cảm biến tốc độ, điều này có thể giảm giá thành của thiết bị điều khiển và nâng cao chất lượng các ứng dụng trong công nghiệp. Bài báo này mô tả một phương pháp nhận dạng tốc độ rô to theo phương pháp thích nghi dùng mô hình mẫu(MRAS). Khâu nhận dạng tính toán tốc độ rô to để điều khiển véc tơ động cơ không đồng bộ. Các biến trạng thái phụ được đưa ra thực hiện việc nhận dạng chính xác và ổn định. Khâu nhận dạng được thiết kế sao cho chức năng chuyển đổi của nó có nhiều ưu điểm. Các kết quả thực nghiệm thể hiện rằng khâu nhận dạng tốc độ làm việc rất tốt, đáp ứng được yêu cầu điều khiển.

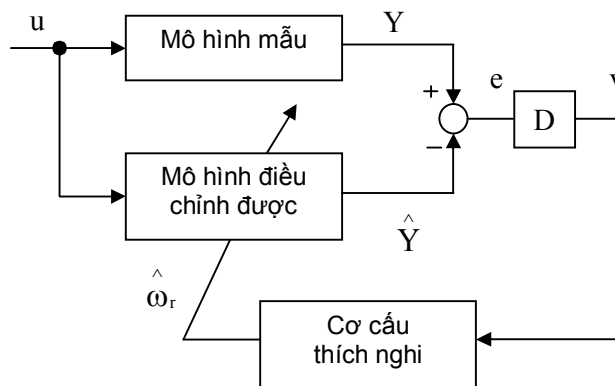
**Abstract:**

When the vector control, which does not need a speed signal from a mechanical speed sensor, is applied to an inverter-fed induction motor, it is possible to reduce the cost of the control equipment and to improve the control performance in many industrial application. This paper describes a rotor speed identification method of an induction motor based on the theory of Model Reference Adaptive System(MRAS). The identifier executes the rotor speed identification so that the vector control of the induction motor may be achieved. The auxiliary state variables are introduced to perform stable and accurate identification. The identifier is designed so that its transfer function may have good characteristic. The experimental investigation confirms the excellent performance of the presented rotor speed identifier.

**1. Điều khiển vectơ ĐCKĐB không dùng cảm biến tốc độ theo phương pháp thích nghi mô hình mẫu (MRAS)**

**1.1. Giới thiệu về biến trạng thái**

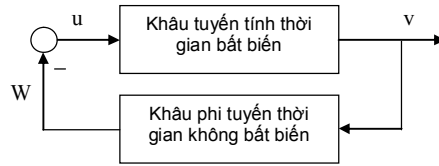
Có rất nhiều phương pháp điều khiển vectơ không sử dụng cảm biến tốc độ. Trong đó, điều khiển thích nghi dùng mô hình mẫu là phương pháp có ưu điểm là đơn giản với tính thích nghi tốc độ cao. Theo phương pháp này, một hệ thống điều khiển thích nghi dùng mô hình mẫu song song được sử dụng để nhận dạng tốc độ rô to trong hệ thống điều khiển vectơ dựa từ thông rô to. Cấu trúc cơ bản của bộ nhận dạng tốc độ được trình bày trong hình 1.



Hình 1. Cấu trúc cơ bản của bộ ước lượng tốc độ MRAS

Hệ thống nhận dạng tốc độ rô to dùng mô hình song song trong hình 1 có thể được thay thế bằng một hệ thống phản hồi không tuyến tính tương đương bao gồm một mạch tuyến tính bất biến thời gian và một mạch phi tuyến phụ thuộc vào thời gian ở mạch phản hồi (hình 2).

Các biến đầu ra  $Y$  và  $\hat{Y}$  trong hình 1 có thể là từ thông rôto, có thể là sức phản điện động hoặc cũng có thể là tích vector giữa sức phản điện động và dòng điện stato (hay chính là công suất phản kháng). Ở đây, trường hợp đơn giản nhất, vì từ thông rôto là một trong các biến cần điều khiển trong hệ thống điều khiển vector nên ta sẽ chọn từ thông rôto là các biến đầu ra.



Hình 2. Hệ thống phản hồi phi tuyến tương đương

Vì các giá trị điện áp và dòng điện đầu cực động cơ có thể dễ dàng đo được trong hệ tọa độ tĩnh gắn với stato (hệ tọa độ  $\alpha\beta$ ) nên để thuận tiện, từ thông rôto ở đây sẽ được xác định dựa vào phương trình động cơ trong hệ tọa độ  $\alpha\beta$ . Từ thông rôto có thể được viết theo hai cách được gọi là mô hình điện áp và mô hình dòng điện:

Mô hình điện áp:

$$p \begin{bmatrix} \Psi_{r\alpha} \\ \Psi_{r\beta} \end{bmatrix} = \frac{L_r}{L_m} \left\{ \begin{bmatrix} u_{s\alpha} \\ u_{s\beta} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (R_r + p\sigma L_r) & 0 \\ 0 & (R_r + p\sigma L_r) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix} \right\} \quad (1)$$

Mô hình dòng điện:

$$p \begin{bmatrix} \Psi_{r\alpha} \\ \Psi_{r\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (-1/T_r & -\omega_r \\ \omega_r & -1/T_r) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Psi_{r\alpha} \\ \Psi_{r\beta} \end{bmatrix} + \frac{L_m}{T_r} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (2)$$

### 1.2. Thiết kế bộ nhận dạng tốc độ

Ta viết phương trình (2) viết cho mô hình có thể điều chỉnh và viết cho mô hình mẫu. Sau đó trừ 2 phương trình cho nhau ta được phương trình  $\hat{\omega}_r$  sai số trạng thái sau:

$$p \begin{bmatrix} \varepsilon_{r\alpha} \\ \varepsilon_{r\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (-1/T_r & -\omega_r \\ \omega_r & -1/T_r) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{r\alpha} \\ \varepsilon_{r\beta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{s\alpha} \\ \hat{\Psi}_{s\beta} \end{bmatrix} (\omega_r - \hat{\omega}_r) \quad (3)$$

Một cách tổng quát ta có:

$$p[\varepsilon] = [A][\varepsilon] - [w] \quad (4)$$

Trong đó:

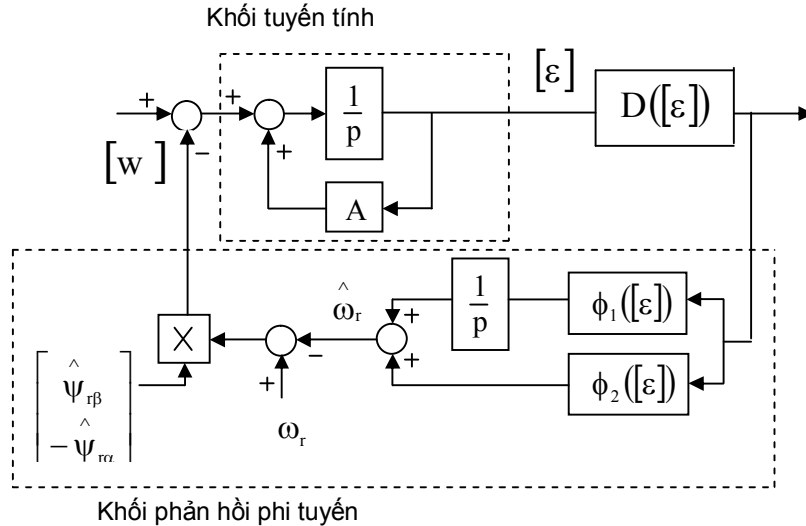
$$[\varepsilon] = \begin{bmatrix} \varepsilon_{r\alpha} \\ \varepsilon_{r\beta} \end{bmatrix}; [A] = \begin{bmatrix} -1/T_r & -\omega_r \\ \omega_r & -1/T_r \end{bmatrix}; [w] = \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{r\beta} \\ -\hat{\Psi}_{r\alpha} \end{bmatrix} (\omega_r - \hat{\omega}_r) \quad (5)$$

Trong biểu thức (3), biến đầu vào chính là sai lệch giữa tốc độ thực và tốc độ ước lượng của rôto động cơ.

Vì theo lý thuyết MRAS song song, thông thường, vector cột đầu vào của mô hình mẫu và vector trạng thái của hệ thống điều chỉnh được là những vector khác không nên đối với tất cả các đại lượng theo thời gian điều kiện sai số phải tiệm cận về không. Tức là trong cơ cấu thích nghi phải có một khâu tích phân. Mặt khác vì tốc độ ước lượng ở đầu ra của cơ cấu thích nghi là hàm của sai số nên luật thích nghi với tốc độ rôto phải là:

$$\hat{\omega}_r = \phi_2([\varepsilon]) + \int_0^t \phi_1([\varepsilon]) dt \quad (6)$$

Từ các phương trình trên, cấu trúc của MRAS được biểu diễn dưới dạng hệ thống phản hồi phi tuyến như sau:



Hình 3. Cấu trúc MRAS theo hệ thống phản hồi phi tuyến

Như vậy, việc thiết kế bộ nhận dạng tốc độ rôto động cơ đưa về bài toán xác định  $D([\varepsilon])$  sao cho hàm truyền của khối tuyến tính bất biến là thực, dương và xác định các hàm  $\phi_1([\varepsilon])$ ,  $\phi_2([\varepsilon])$  sao cho bất đẳng thức tích phân của Popov được thoả mãn.

Để xác định  $D([\varepsilon])$  đồng thời kiểm tra đáp ứng động của bộ nhận dạng tốc độ MRAS, đầu tiên ta phải chuyển phương trình xác định từ thông rôto về hệ toạ độ quay đồng bộ, sau đó tuyến tính hoá quanh điểm làm việc để sử dụng các tín hiệu nhỏ.

$$\Delta \varepsilon = \left( \psi_{rq0} \Delta \hat{\psi}_{rd} - \psi_{rd0} \Delta \hat{\psi}_{rq} \right) - \left( \hat{\psi}_{rq0} \Delta \psi_{rd} - \hat{\psi}_{rd0} \Delta \psi_{rq} \right) \quad (7)$$

Từ các phương trình trên ta có hàm truyền của khối tuyến tính như sau:

$$\left. \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta \hat{\omega}_r} \right|_{\Delta \hat{\omega}_r=0} = \left. \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta \hat{\omega}_r} \right|_{\Delta \omega_r=0} = \frac{(p + 1/T_r) |\psi_0|^2}{(p + 1/T_r)^2 + (\omega_{s0} - \omega_{r0})^2} = G_1(p) \cdot |\psi_0|^2 \quad (8)$$

Trong đó  $|\psi_0|^2 = (\psi_{rd0}^2 + \psi_{rq0}^2)$  và giả thiết rằng  $\psi_{rq0} = \hat{\psi}_{rq0}$  và  $\psi_{rd0} = \hat{\psi}_{rd0}$ . Từ biểu thức (6) ta thấy rằng với sai số đầu ra là  $\varepsilon$  thì hàm truyền của khối tuyến tính là thực và dương, tức là thoả mãn điều kiện thứ nhất theo tiêu chuẩn của Popov. Do đó, để đơn giản chọn  $D([\varepsilon]) = 1$ .

Sau khi điều kiện thứ nhất đã thoả mãn, thuật toán thích nghi có thể được xây dựng dựa trên cơ sở của bất đẳng thức tích phân Popov.

Ta thấy rằng nếu các hàm  $\phi_1$  và  $\phi_2$  được chọn như sau thì bất đẳng thức tích phân của Popov thoả mãn:

$$\phi_1 = K_2 \left( \varepsilon_{r\beta} \hat{\psi}_{r\alpha} - \varepsilon_{r\alpha} \hat{\psi}_{r\beta} \right) = K_2 \left( \psi_{r\beta} \hat{\psi}_{r\alpha} - \psi_{r\alpha} \hat{\psi}_{r\beta} \right) \quad (9)$$

$$\phi_2 = K_1 \left( \varepsilon_{r\beta} \hat{\psi}_{r\alpha} - \varepsilon_{r\alpha} \hat{\psi}_{r\beta} \right) = K_1 \left( \psi_{r\beta} \hat{\psi}_{r\alpha} - \psi_{r\alpha} \hat{\psi}_{r\beta} \right) \quad (10)$$

Với  $K_1, K_2$  là các hằng số.

Ta thấy rằng cơ cấu thích nghi có dạng một khâu tỉ lệ - tích phân (PI).

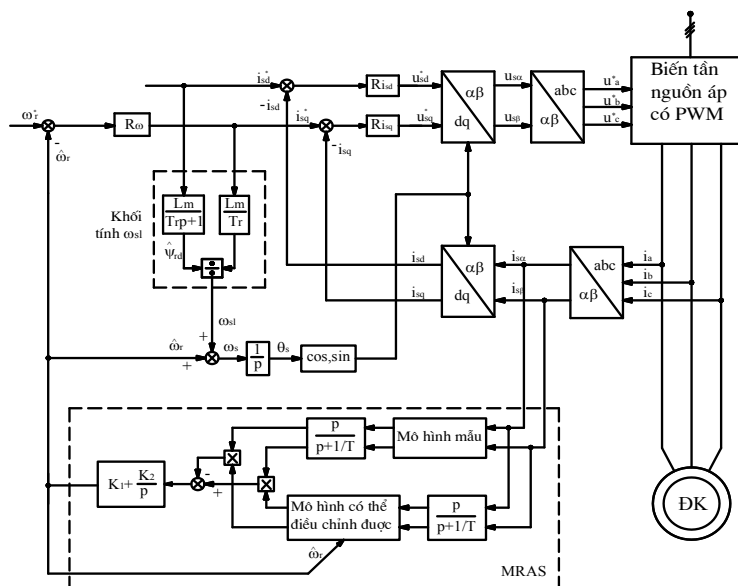
Trong thực tế, khi sử dụng bộ điều khiển PI thì vấn đề quan trọng nhất là phải lựa chọn được các thông số  $K_p$  và  $K_i$  cho phù hợp với đối tượng điều khiển nhằm đạt được các chỉ tiêu chất lượng của quá trình quá độ. Để đơn giản, giả sử  $\omega_s = 0$ , ta có thể xác định  $K_p$  và  $K_i$  qua các thông số như hệ số tắt dần  $\xi$  và tần số góc tự nhiên  $\omega_c$  theo công thức sau:

$$\begin{cases} K_p = (2\xi\omega_c - 1/T_r) / |\psi_r|^2 \\ K_i = \omega_c^2 / |\psi_r|^2 \end{cases} \quad (11)$$

Tuy nhiên trong thực tế, sự tổng hợp từ thông rôto dựa vào mô hình mẫu là rất khó thực hiện, đặc biệt là ở vùng tốc độ thấp, do phép tích phân đơn thuần của các tín hiệu điện áp. Để khắc phục những nhược điểm như phải có điều kiện đầu hay hiện tượng trôi do phần tử tích phân này gây ra, có thể đặt các bộ lọc thông cao ở đầu ra hoặc vào của hai mô hình.

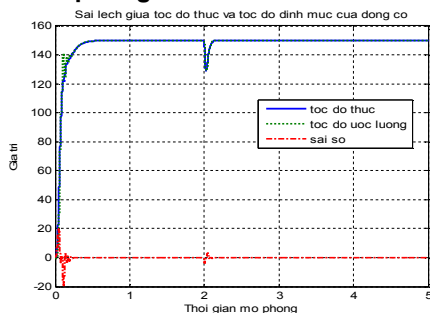
Sự ổn định, tính đúng đắn của bộ MRAS đã điều chỉnh này sẽ được minh chứng trong phần sau- phần mô phỏng và đánh giá.

### 1.3. Sơ đồ cấu trúc toàn hệ thống

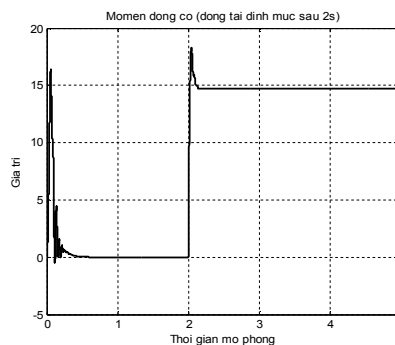


Hình 4. Sơ đồ điều khiển vector gián tiếp hệ thống ĐK - biến tần nguồn áp không sử dụng bộ ước lượng tốc độ MRAS

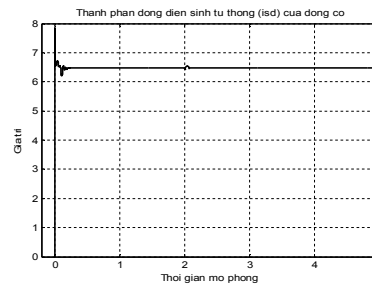
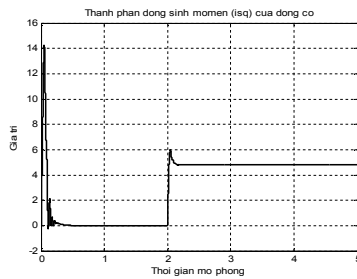
## 2. Kết quả mô phỏng



Hình 5. Sai lệch giữa giá trị tốc độ thực và tốc độ ước lượng của động cơ



Hình 6. Mômen động cơ



**Hình 7. Thành phần dòng điện sinh mômen  $i_{sq}$**       **Hình 8. Thành phần dòng điện sinh từ thông  $i_{sd}$**

Khi mô phỏng toàn hệ thống điều khiển vectơ ĐCKĐB không dùng cảm biến tốc độ theo phương pháp thích nghi dùng mô hình mẫu MRAS cho động cơ với các thông số như trên ta được các kết quả sau:

Từ hình 5 ta thấy rằng đường đồ thị tốc độ ước lượng của động cơ bám rất sát, gần như trùng khít với đường đồ thị tốc độ thực của động cơ, rất khó phân biệt hai đường đồ thị này. Sai số giữa tốc độ thực và tốc độ ước lượng chỉ xảy ra ở chế độ quá độ, còn khi động cơ làm việc ở chế độ xác lập, giá trị sai số này không đáng kể, gần như là bằng không. Điều này chứng tỏ rằng bộ ước lượng tốc độ MRAS làm việc khá tốt.

Đường mômen, thành phần dòng điện sinh mômen  $i_{sq}$ , thành phần dòng điện sinh từ thông  $i_{sd}$  được trình bày tương ứng trong các hình 6, 7, 8. Ta thấy rằng thời gian quá độ của các giá trị rất ngắn chỉ khoảng 0,3s, phù hợp với mong muốn.

### 3. Kết luận

Trên cơ sở nghiên cứu tính ổn định và hội tụ của hệ thống theo tiêu chuẩn Popov, ta đã đưa ra được lý thuyết thiết kế bộ ước lượng tốc độ MRAS, hoàn toàn độc lập với hệ thống điều khiển động cơ mà chỉ cần biết thông tin về điện áp và dòng điện đặt vào động cơ. Điểm mấu chốt của việc thiết kế bộ ước lượng tốc độ MRAS là phải xác định được các hệ số tích phân, tỉ lệ của khâu cơ cấu thích nghi một cách phù hợp để giá trị tốc độ ước lượng hội tụ về giá trị đặt.

Thuật toán ước lượng tốc độ theo phương pháp thích nghi mô hình mẫu đã được kiểm nghiệm với mô hình ĐCKĐB trên phần mềm Matlab – Simulink. Các kết quả mô phỏng đã khẳng định hệ thống điều khiển vectơ ĐCKĐB không dùng cảm biến tốc độ với thuật toán thích nghi mô hình mẫu hoàn toàn có thể ứng dụng trong thực tế do hệ thống có đặc tính tĩnh và động tốt và giá trị tốc độ ước lượng được khá chính xác so với các hệ truyền động dùng máy phát tốc.

Tuy nhiên, những yếu tố dẫn đến sự thành công một hệ truyền động ĐCKĐB không dùng cảm biến tốc độ không chỉ là sự ước lượng tốc độ nhanh và tin cậy mà còn phụ thuộc vào độ chính xác của tốc độ ước lượng khi các tham số của động cơ thay đổi. Do đó, hướng nghiên cứu của đề tài là xây dựng thuật toán thích nghi với một số thông số của động cơ như điện trở stato, hằng số thời gian rôto.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1]. Nguyễn Văn Liễn, Nguyễn Mạnh Tiến, Đoàn Quang Vinh-*Điều khiển động cơ xoay chiều cấp từ biến tần bán dẫn* - NXB Khoa học và Kỹ thuật - 2005
- [2]. Nguyễn Phùng Quang-*Điều khiển tự động truyền động điện xoay chiều ba pha* - NXB Giáo dục - 1998
- [3]. Y.P. Landau-*Adaptive Control: The Model Reference Approach* – Macrel Dekker – New York - 1979
- [4]. H. Tajima, Y. Hori-*"Speed sensorless field-orientation control of the induction machine"* - IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.29, no.1 Jan./Fed.1993, pp.175-180
- [5]. Li Zhen, Longya Xu-*"Sensorless Field Orientation Control of Induction Machines Based on a Mutual MRAS Scheme"* – IEEE Trans. Ind. Applicat.
- [6]. Shiu- Yung Lin, Hwa Wu, Ying- Yu Tzou-*"Sensorless Control of Induction Motors with On-line Rotor Time Constant Adaptation"* – IEEE Trans. Ind. Application – 1998

**Người phản biện: TS. Trần Anh Dũng**