

# TỔNG QUAN PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ KÍCH THÍCH NAM CHÂM VĨNH CỬU, ĐỀ XUẤT KỸ THUẬT DỰA TRÊN BỘ QUAN SÁT VỚI MÔ HÌNH BẬC HAI

OVERVIEW OF PARAMETER ESTIMATION FOR THE PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MACHINE, PROPOSAL OF AN OBSERVER-BASED TECHNIQUE WITH SECOND ORDER FORM

Vũ Hoàng Giang

## TÓM TẮT

Giá trị các thông số mô hình của máy điện là dữ liệu đầu vào quan trọng trong thiết kế điều khiển, vận hành và giám sát trạng thái của hệ thống. Bài báo giới thiệu tổng quan mang tính định hướng về các phương pháp xác định thông số mô hình của máy điện đồng bộ kích thích nam châm vĩnh cửu. Từ đó đề xuất một phương pháp mới sử dụng bộ quan sát phi tuyến để xác định từng thông số của máy. Bộ quan sát được thiết kế cho hệ thống có mô hình đơn giản bậc hai dựa trên đầu ra là thành phần ngang trục của dòng điện stato. Kết quả mô phỏng trên máy tính cho kết quả ước lượng tốt, xác nhận tính hiệu quả của phương pháp. Xác định thông số có thể thực hiện trực tuyến, là thông tin đầu vào hữu ích trong giám sát trạng thái của máy.

**Từ khóa:** Bộ quan sát phi tuyến, giám sát trạng thái, máy điện đồng bộ kích thích nam châm vĩnh cửu, ước lượng thông số.

## ABSTRACT

The values of model parameters of electric machine are essential inputs in the control design, operation and condition monitoring of the system. The paper introduces a pilot overview of parameter estimation methods of permanent magnet synchronous machine. Next, a nonlinear observer-based technique is proposed to estimate each parameter of the permanent magnet synchronous machine. The observer is simple since it is designed for second order systems with the output of the quadrature axis stator current. Computer simulation results show that good estimation can be achieved that confirms the effectiveness of the proposed method. The parameters are online estimated and can be useful in the condition monitoring of the machine.

**Keywords:** Nonlinear observer, condition monitoring, permanent magnet synchronous machine, parameter estimation.

Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực

Email: giangvh@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/10/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/12/2020

Ngày chấp nhận đăng: 23/12/2020

## 1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, máy điện đồng bộ kích thích nam châm vĩnh cửu (MĐĐB-KTVC) được sử dụng ngày càng phổ biến. Về cấu tạo, rô to của máy được chế tạo từ nam châm vĩnh cửu nên không yêu cầu cung cấp dòng điện cho mạch rô to. Nhờ đó rô to của máy có cấu trúc đơn giản, tổn hao trong rô to bé nên hiệu suất của máy được nâng cao. Hơn nữa do không cần dòng điện kích từ nên máy làm việc với hệ số công suất cao, cho phép giảm công suất của các bộ biến đổi trong các bộ truyền động. Ở chế độ máy phát điện, MĐĐB-KTVC được sử dụng trong hệ thống điện gió với bộ biến đổi toàn công suất (full-rated converter). Cùng với cấu hình sử dụng máy phát điện không đồng bộ nguồn kép (DFIG), đây là cấu hình phổ biến nhất trong công nghệ phát điện bằng năng lượng gió. Ở chế độ động cơ điện, MĐĐB-KTVC được sử dụng phổ biến trong các lĩnh vực như xe điện, rô bốt,... nhờ ưu điểm làm việc ổn định, hiệu suất và mật độ công suất cao.

Trong quá trình vận hành, thông số mô hình của máy cần được xác định và giám sát để điều khiển được thực hiện chính xác hơn. Ví dụ, điều khiển véc tơ là thuật toán thường được sử dụng trong điều khiển nâng cao cho các bộ truyền động MĐĐB-KTVC; trong đó các thông số của bộ điều khiển được tính toán theo giá trị của thông số mô hình của máy. Hơn nữa, cập nhật giá trị của các thông số mô hình cũng có thể giám sát được tình trạng của máy.

Bài báo tổng hợp được các phương pháp thường được sử dụng để xác định thông số mô hình của máy. Qua đó có thể cung cấp cho người đọc tham khảo hữu ích để lựa chọn xác định thông số của máy trong giai đoạn đầu bắt đầu sử dụng máy cũng như là trong suốt quá trình vận hành. Tiếp theo đó, đề xuất được phương pháp xác định thông số mô hình bằng ứng dụng bộ quan sát phi tuyến cho hệ có cấu trúc bậc hai.

**2. TỔNG QUAN VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP ƯỚC LƯỢNG THÔNG SỐ CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ KÍCH THÍCH**

Trong lĩnh vực nghiên cứu xác định thông số của MĐĐB-KTVC, có thể phân nhóm các phương pháp theo điều kiện áp dụng ở trạng thái dừng máy (offline) hay trạng thái máy đang vận hành (online). Trong nghiên cứu này, các phương pháp xác định được phân loại thành: phương pháp dựa trên các phép đo; phương pháp thực hiện khi dừng máy; phương pháp thực hiện trực tuyến.

Thông số của máy cho trên nhãn mác và tài liệu sử dụng đi kèm là thông tin cơ bản ban đầu cho người sử dụng. Để có giá trị chính xác của các thông số này cần áp dụng các phương pháp xác định khác nhau, sẽ được tổng hợp trong mục này.

**2.1. Xác định thông số điện của MĐĐB-KTVC thông qua đo đặc**

Trong tính toán thông số của các bộ điều khiển, giá trị của thông số mô hình là đầu vào quan trọng và mang tính quyết định. Cụ thể là theo phương pháp điều khiển véc tơ có định hướng từ thông thông số của bộ điều khiển dòng điện kiểu tích phân tỷ lệ (PI) được xác định như sau [1]:

$$K_p = 2\xi\omega_0 L - R; K_i = \omega_0^2 L \tag{1}$$

Trong đó,  $\omega_0$  là tần số dao động tự nhiên của vòng điều khiển dòng điện,  $\xi$  là hệ số hãm. Do đó thông tin về các thông số mô hình cần có bao gồm: Điện trở pha của máy R, Điện cảm pha của máy L (hoặc điện cảm dọc trục  $L_d$  và ngang trục  $L_q$ ),

Ngoài ra các thông số khác cũng cần xác định như: hằng số điện  $K_e$  (V.s/rad), đây là thông số được sử dụng cho các bộ quan sát; số đôi cực p (thường được cho theo catalogue của máy), để tính góc và tốc độ của máy. Chú ý rằng trong trường hợp chưa biết giá trị của p thì có thể xác định bằng phép đo dòng điện khi máy được điều khiển V/Hz. Khi đó p được tính bằng:

$$p = \frac{60.f}{n} \tag{2}$$

Trong đó, n là tốc độ quay, tần số f được xác định theo chu kỳ T dựa vào tín hiệu dòng điện đo được.

Đối với bộ điều khiển tốc độ, thông số của bộ điều khiển PI được tính theo các thông số cơ của mô hình như hằng số quán tính J và hệ số ma sát  $F_v$ . Một trong các phương pháp tính thông số là [1]:

$$K_{p\omega} = 2\xi_{\omega}\omega_{0\omega} J; K_{i\omega} = \omega_0^2 J \tag{3}$$

Trong đó,  $\omega_{0\omega}$  là tần số dao động tự nhiên của vòng điều khiển dòng điện,  $\xi_{\omega}$  là hệ số hãm. Tuy nhiên các thông số cơ như hằng số quán tính J ít thay đổi và thường được cho trong hồ sơ của máy.

**a) Xác định điện trở**

Điện trở của cuộn dây là một thông số phụ thuộc vào nhiệt độ:

$$R = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta t) \tag{4}$$

$\alpha$  là hằng số nhiệt độ, đối với dây đồng  $\alpha = 0,004$  ( $K^{-1}$ ), điện trở tăng 20% khi nhiệt độ tăng  $50^{\circ}C$ ; Điện trở có thể được xác định bằng cách sử dụng đồng hồ vạn năng kỹ thuật số (phù hợp với trường hợp có điện trở lớn ( $>10\Omega$ )) hoặc đồng hồ đo RLC (trường hợp điện trở có giá trị nhỏ).

**b) Xác định điện cảm**

Điện cảm của MĐĐB-KTVC gồm điện cảm dọc trục  $L_d$  và điện cảm ngang trục  $L_q$ .

Do cấu trúc của máy, loại MĐĐB-KTVC kiểu chìm (Interior Permanent Magnet Synchronous Motor (IPMSM)) có hai giá trị điện cảm này khác nhau trong khi đó loại MĐĐB-KTVC kiểu bề mặt hai điện cảm có giá trị xấp xỉ nhau.

Điện cảm L được xác định theo mạch đo, từ đó có thể xác định được giá trị của các điện cảm dọc trục và ngang trục như sau:

$$L_d = (2/3)L \text{ với } \theta_e = 0; L_q = (2/3)L \text{ với } \theta_e = 90^{\circ}; \tag{5}$$

Trong đó,  $\theta_e$  là góc rô to,  $\theta_e = 0$  khi trục của pha A trùng với trục của rô to.

**c) Xác định từ thông**

Từ thông thường được ký hiệu là  $\lambda_m$  có thể xác định theo điện áp dây không tải khi MĐĐB-KTVC được quay bởi động cơ nối trục bên ngoài với tốc độ  $\omega_m$ . Do thường không lấy được điểm trung tính nên thay vì sử dụng điện áp pha thì trong thí nghiệm đo điện áp dây.

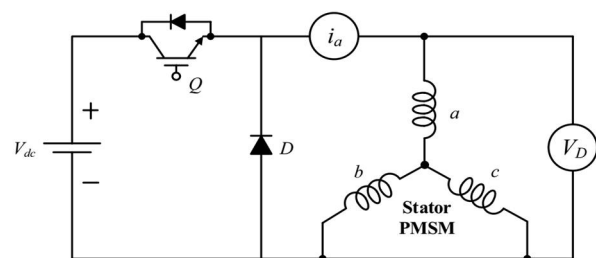
Hằng số điện áp có thể tính theo biểu thức sau:

$$k_e = \frac{U_d}{\sqrt{3}\omega_e} \tag{6}$$

Trong đó,  $U_d$  là điện áp dây và  $\omega_e$  được tính theo chu kỳ  $T_e$  của tín hiệu điện áp hình sin đo được.

Trên đây là mô tả ngắn gọn về phương pháp xác định thông số của MĐĐB-KTVC bằng cách đo trực tiếp điện áp, dòng điện và tốc độ quay của máy. Có thể thấy ưu điểm của phương pháp này là có thể xác định chính xác giá trị của thông số để sử dụng cho thiết kế điều khiển của máy. Tuy nhiên hạn chế là có những thông số không thể giám sát trực tuyến khi máy đang làm việc.

**2.2. Phương pháp thực hiện khi dừng máy**



Hình 1. Sơ đồ nối dây để đo các điện cảm dọc trục và ngang trục của MĐĐB-KTVC [4]

Thí nghiệm với dòng điện một chiều tắt dần có thể xác định được các điện cảm đã được thực hiện từ khá lâu [3]. Sơ đồ thực hiện được thể hiện trên hình 1 ứng với điều kiện trục của rô to trùng với trục của pha A (dọc trục). Để

thí nghiệm ở điều kiện rô to ở vị trí ngang trục, nguồn được nối tới các đầu cuộn dây pha B và C, cuộn dây pha A để hở mạch.

Như vậy, thí nghiệm ứng với điều kiện máy ở vị trí dọc trục (d) và ngang trục (q) được thực hiện ở chế độ ngắn mạch của cuộn dây. Dòng điện tắt dần trong mạch được biểu diễn dưới dạng tổng của thành phần một chiều và ba hàm mũ có hằng số thời gian khác nhau. Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản và dễ thực hiện nhưng đã bỏ qua tổn hao của mạch từ trong quá trình làm việc bình thường và vẫn tồn tại sai số điện cảm.

Thí nghiệm với máy ở trạng thái đứng yên khi cho kích thích bằng nguồn điện xoay chiều hình sin một pha cho phép xác định điện cảm của các cuộn dây stato và hồ cảm giữa chúng, từ đó có thể xác định được điện cảm dọc trục và ngang trục trong mô hình của máy [5].

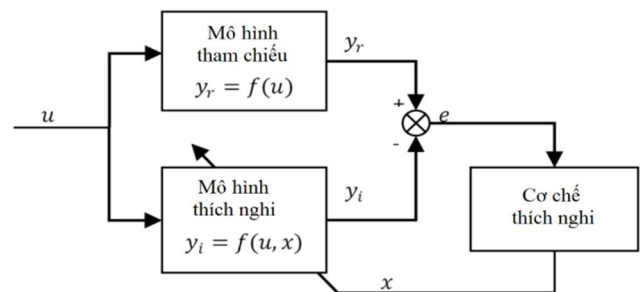
Phương pháp đưa thêm tín hiệu vào để xác định thông số của máy được sử dụng khá phổ biến [6, 7, 8]. Tính chính xác trong xác định thông số đã được xác nhận bằng kết quả tính toán sử dụng phần mềm phân tích phần tử hữu hạn (FEA). Tác giả trong [6] đề xuất phương pháp xác định điện trở và điện cảm của máy, ở đó bản đồ điện cảm theo không gian các trục dq và ba pha đã được xây dựng có xét đến hiện tượng bão hòa và tương tác điện từ. Mô hình sai số trong hệ trục dq có xét đến tính phi tuyến của bộ nghịch lưu và phương pháp bù không phụ thuộc vào thông số của bộ nghịch lưu, dựa trên phép nội suy Hermite. Mô hình tổng trở tương đương tần số cao được đề xuất trong [7], trong đó tín hiệu tần số cao được đưa vào cả hai trục d và q. Phương pháp này cho phép xác định điện trở và điện cảm ở cả trạng thái dừng máy và khi máy đang làm việc; xác định được hằng số từ thông khi máy đang làm việc. Trong [8], tín hiệu điều hòa của điện áp được đưa vào trục  $\alpha\beta$  để xác định các điện cảm dọc trục và ngang trục; tín hiệu điện áp một chiều được đưa vào trục  $\alpha$  để xác định điện trở. Các thông số đã được sử dụng trong sơ đồ điều khiển không cảm biến với bộ quan sát góc. Phương pháp kích thích bằng sóng hài và phương pháp Gauss-Newton sử dụng mô hình Hammerstein [9]. Thông số của MĐĐB-KTVC có thể xác định dựa trên bộ lọc Kalman [10], ở đó sơ đồ có xét đến tính phi tuyến của bộ biến đổi nguồn áp trong bộ truyền động.

**2.3. Phương pháp thực hiện trực tuyến**

Như đã đề cập ở trên, tín hiệu bổ sung có thể đưa vào máy để xác định thông số ở trạng thái ngừng hoạt động. Nghiên cứu đã qua cho thấy, kỹ thuật này cũng có thể áp dụng trực tuyến trong quá trình máy đang vận hành [7]. Ngoài ra cách tiếp cận thực tế cho các phương pháp thực hiện trực tuyến là áp dụng các thuật toán quan sát hay ước lượng thông số vào hệ thống. Các bộ quan sát thường gặp dựa trên mô hình tham chiếu (MRAS) hay thuật toán bình phương cực tiểu.

Phương pháp bình phương cực tiểu [11, 12, 13] là kỹ thuật dựa trên các phép đo các biến trạng thái là dòng điện và điện áp để xác định các thông số của mô hình dựa trên mô hình toán học bình phương cực tiểu. Tác giả trong [13]

đề xuất sự kết hợp hai thuật toán bình phương cực tiểu toàn phần đệ quy (RTLS) được áp dụng cho các hệ thống ứng với thành phần dọc trục (d) và ngang trục (q). Phương pháp TLS là phiên bản cải tiến của thuật toán RLC chuẩn có xét đến sai lệch của các đầu vào và đầu ra đồng thời. Do đó TLS được sử dụng để ước lượng thông số và tạo các bộ lọc thích nghi. Mặc dù vậy, thuật toán này cần xử lý thêm vấn đề lập kỳ dị (singular). Tuy nhiên phương pháp có một số nhược điểm như các bộ ước lượng thông số có hằng số không đổi nên độ chính xác ước lượng không được đảm bảo và làm ảnh hưởng đến chất lượng làm việc của hệ thống do các sai lệch thông số.



Hình 2. Cấu trúc xác định thông số dựa trên mô hình tham chiếu

Phương pháp dựa trên mô hình tham chiếu (MRAS) được áp dụng để xác định điện trở, từ thông và điện cảm dọc trục của MĐĐB-KTVC [14]. Cấu trúc của MRAS được thể hiện trên hình 2. Trong [15], điện trở và điện cảm được ước lượng dựa trên mô hình của máy điện trong hệ tọa độ hai trục của stato ( $\alpha\beta$ ). Sự ảnh hưởng của tính phi tuyến của bộ biến đổi nguồn áp đã được xét đến và đề xuất phương pháp bù để nâng cao độ chính xác của kết quả ước lượng. Ngoài ra, phương pháp ước lượng thông số còn dựa trên bộ lọc Kalman [10] hay bộ quan sát Luenberger [16].

**3. PHƯƠNG PHÁP ƯỚC LƯỢNG THÔNG SỐ CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ KÍCH THÍCH DỰA VÀO BỘ QUAN SÁT PHI TUYẾN**

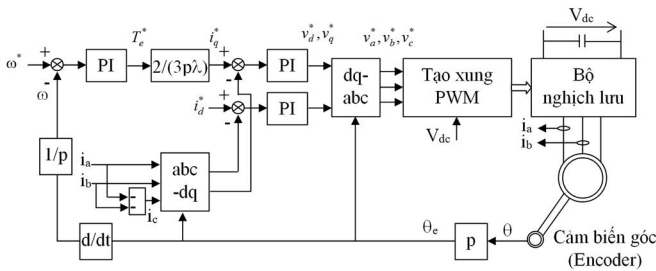
**3.1. Mô hình của MĐĐB-KTVC**

Mô hình toán học thu gọn của MĐĐB-KTVC bề mặt (SPMSM) trong hệ tọa độ đồng bộ (dq) được mô tả bởi hệ phương trình sau [17]:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} i_d = \frac{1}{L} v_d - \frac{R}{L} i_d + p\omega i_q \\ \frac{d}{dt} i_q = \frac{1}{L} v_q - \frac{R}{L} i_q - p\omega i_d - \frac{\lambda}{L} p\omega \\ \frac{d}{dt} \omega = \frac{1}{J} (T_e - F_v \omega - T_m) \\ T_e = 1.5p\lambda i_q \end{cases} \quad (7)$$

Trong đó,  $i_d, i_q$ : thành phần dòng điện stato theo các trục d và q;  $v_d, v_q$ : thành phần điện áp stato theo các trục d và q;  $\omega$ : tốc độ góc của rôto;  $\lambda$ : biên độ của từ thông của rôto cảm ứng sang các pha của stato; R: điện trở của cuộn dây stato; L: điện cảm pha của cuộn dây stato; p: số cặp cực;  $T_e$ : mô men điện từ;  $T_m$ : mô men cơ trên trục của máy điện; J: hằng số quán tính; và  $F_v$ : hệ số ma sát.

Sơ đồ của hệ thống có điều khiển sử dụng MĐĐB-KTVC được thể hiện trên hình 3 [18]. Trong đó có hai vòng điều khiển: vòng điều khiển ngoài cho tốc độ quay của rôto và vòng điều khiển trong cho dòng điện stato.



Hình 3. Sơ đồ mạch điều khiển MĐĐB-KTVC

**3.2. Thiết kế bộ quan sát**

Qua phân tích trong mục 2 có thể thấy phương pháp ước lượng thông số rất đa dạng và tùy thuộc vào ứng dụng cụ thể mà chúng được lựa chọn tương ứng. Để xác định thông số ban đầu để triển khai ứng dụng MĐĐB-KTVC thì các phương pháp offline thường được sử dụng để xác định thông số nhờ ưu điểm có sơ đồ đơn giản và dễ thực hiện. Tuy nhiên để giám sát thông số trực tuyến trong quá trình làm việc thì các phương pháp dựa trên các bộ quan sát thường được sử dụng giống như trong các hệ điều khiển không cảm biến mà ở đó phản hồi được quan sát dựa trên các đại lượng sẵn có hoặc số ít các đo đếm.

Không nằm ngoài xu hướng chung, mục này giới thiệu một phương pháp ước lượng các thông số của MĐĐB-KTVC dựa trên bộ quan sát áp dụng cho hệ có mô hình bậc hai.

Trong quá trình làm việc, thông số của PMSM có thể thay đổi do các tác động khác nhau của môi trường làm việc và sự già cỗi sau một thời gian phục vụ. Vì vậy, vấn đề ước lượng thông số của máy điện nói chung và đối với PMSM nói riêng được quan tâm nhiều trong các nghiên cứu đã qua. Ba thông số cơ bản của trong mô hình (1) được ước lượng là R, L và hằng số mômen KT (hay từ thông của rô to λ, tỷ lệ thuận với KT) xem [19, 20] và các tài liệu tham khảo trong đó.

**a) Bộ quan sát điện trở**

Lấy ý tưởng từ thiết kế bộ quan sát điện trở cho máy điện không đồng bộ [21], cấu trúc của bộ quan sát điện trở cho PMSM cũng được xây dựng nhằm xác định thông số điện trở của máy thực tế.

Để xây dựng bộ quan sát ước lượng điện trở với giả thiết các thông số khác (điện cảm L và từ thông λ), mô hình được lựa chọn với chú ý một số hệ thống điều khiển của PMSM sử dụng thành phần ngang trục để điều khiển tốc độ trong khi đó thành phần dọc trục không sử dụng và có giá trị đặt bằng 0. Khi đó mô hình hệ thống được chọn là:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} i_q = \left(-\frac{i_q}{L}\right)R + \frac{1}{L}v_q - p\omega i_d - \frac{\lambda}{L}p\omega \\ \frac{d}{dt} R = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Hệ (8) có thể được viết dưới dạng ma trận như sau:

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \alpha_1(t) \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f_1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

trong đó:  $x_1 = i_q; x_2 = R; \alpha_1(t) = -\frac{i_q}{L};$

$$f_1 = \frac{1}{L}v_q - p\omega i_d - \frac{\lambda}{L}p\omega.$$

Tác giả trong [21] đã chứng minh được với cấu trúc có dạng (9), bộ quan sát có thể thiết kế với cấu trúc sau:

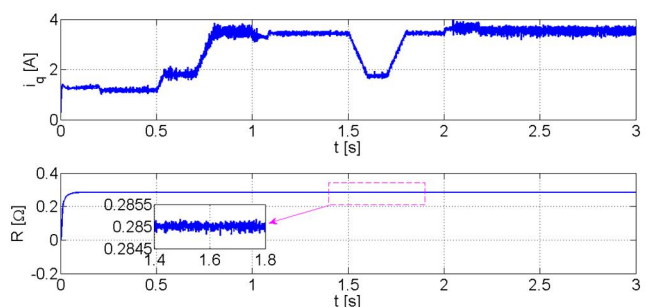
$$\begin{pmatrix} \dot{\hat{x}}_1 \\ \dot{\hat{x}}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \alpha_1(t) \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f_1 \\ 0 \end{pmatrix} + \alpha_1(t)K(\hat{x}_1 - y) \quad (10)$$

$$y = x_1$$

Trong đó, K là ma trận hệ số, được xác định theo tần số dao động tự nhiên  $\omega_n$  và hệ số hãm  $\xi$  như sau:

$$K = \begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{2\xi\omega_n}{\alpha_1(t)} \\ \omega_n^2 \\ -\frac{\omega_n^2}{\alpha_1^2(t)} \end{pmatrix}$$

Hình 4 thể hiện kết quả mô phỏng từ khi khởi động máy cho đến khi mang tải. Tốc độ đặt là 1000; 600 và 1500 vòng/phút tương ứng trong các khoảng thời gian (0-1)s; (1-2)s và (2-3)s. Ngoài ra giá trị mô men tải được thiết lập tăng dần tại các thời điểm 0s; 0,5s; và 0,7s; giảm tại thời điểm 1,5s và tăng trở lại tại thời điểm 1,7s. Kết quả là thành phần ngang trục của dòng điện stato biến thiên như trên hình 4 (hình trên). Hình 4 (phía dưới) cho thấy ước lượng điện trở stato có kết quả rất tốt trong điều kiện có sự biến động mạnh về điều kiện vận hành.



Hình 4. Kết quả quan sát điện trở stato

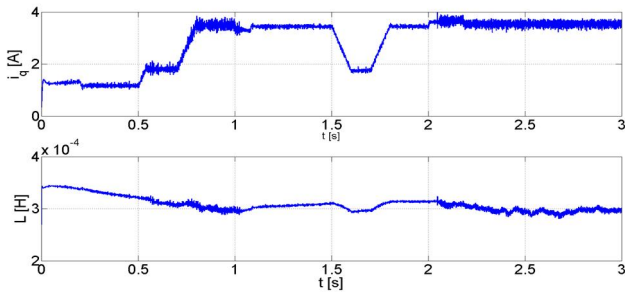
Tương tự như bộ quan sát điện trở, hệ thống để thiết kế bộ quan sát điện cảm và từ thông được viết lại ở dạng phù hợp dưới đây.

**b) Bộ quan sát điện cảm**

Hệ thống để thiết kế bộ quan sát điện cảm được viết lại ở dạng:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} i_q = (v_q - Ri_q - p\omega\lambda) \frac{1}{L} - p\omega i_d \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{L}\right) = 0 \end{cases} \quad (11)$$

Bộ quan sát có cấu trúc (10) được sử dụng, trong đó  $x_1 = i_q$ ;  $x_2 = 1/L$ ;  $f_1 = -p\omega i_d$ ;  $\alpha_1(t) = v_q - R i_q - p\omega \lambda$ . Kết quả quan sát điện cảm được thể hiện trên hình 5.



Hình 5. Kết quả ước lượng điện cảm của stato

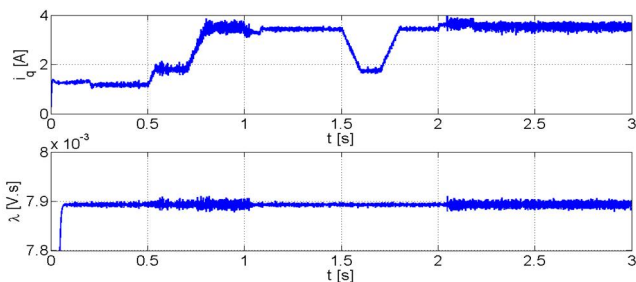
Mô phỏng được tiến hành trong điều kiện tương tự như trường hợp ước lượng điện trở và thu được kết quả như trên hình 5. Mặc dù giá trị ước lượng của điện cảm nhạy cảm hơn với sự thay đổi của thành phần ngang trục của dòng điện stato nhưng kết quả ước lượng là có thể chấp nhận.

**c) Ước lượng từ thông**

Hệ thống để thiết kế bộ từ thông có dạng:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} i_q = -\frac{\lambda}{L} p\omega - \frac{i_q}{L} R + \frac{1}{L} v_q - p\omega i_d \\ \frac{d}{dt} \lambda = 0 \end{cases} \quad (12)$$

Bộ quan sát có cấu trúc (10) được sử dụng, trong đó  $x_1 = i_q$ ;  $x_2 = \lambda$ ;  $f_1 = -p\omega i_d$ ;  $\alpha_1(t) = -\frac{i_q}{L} R + \frac{1}{L} v_q - p\omega i_d$ . Kết quả quan sát điện cảm được thể hiện trên hình 6.



Hình 6. Kết quả mô phỏng ước lượng từ thông của nam châm vĩnh cửu

Điều kiện mô phỏng được áp dụng giống như trường hợp ước lượng điện trở và điện cảm. Kết quả ước lượng từ thông của nam châm vĩnh cửu rất hội tụ như được thể hiện trên hình 6.

Tóm lại, kết quả mô phỏng cho thấy các thông số có thể được xác định với đáp ứng rất chính xác đặc biệt là đối với điện trở và từ thông trong điều kiện thay đổi của tốc độ yêu cầu và tương ứng với sự thay đổi của thành phần ngang trục của dòng điện stato.

**4. KẾT LUẬN**

Nhiều phương pháp xác định thông số khác nhau của MĐĐB-KTVC đã được giới thiệu nhằm định hướng lựa chọn trong trong các ứng dụng khác nhau. Tiếp theo đó, một bộ

quan sát cho hệ bậc hai đã được đề xuất để ước lượng thông số của máy. Ưu điểm của bộ quan sát này là cấu trúc đơn giản và dễ áp dụng. Tuy nhiên nhược điểm là mới xác định được từng thông số riêng lẻ. Kết quả thu được có ý nghĩa nhất định khi từng thông số phụ thuộc vào những yếu tố nhất định nên có thể coi như các thông số khác đã biết và cần giám sát một thông số để giám sát tình trạng của máy.

Trong các nghiên cứu tiếp theo, mô hình của hệ thống sẽ được tiếp tục phân tích để có thể đề xuất phương pháp ước lượng dựa trên sự liên kết giữa các bộ quan sát thành phần hoặc áp dụng một cấu trúc của bộ quan sát phù hợp để ước lượng nhiều thông số khác nhau.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. V. Bobek, 2013. *PMSM Electrical Parameters Measurement, Application Note*. Freescale Semiconductor, Inc., 2013.
- [2]. P. Krause, O. Wasynczuk, S. Sudhoff, 2020. *Analysis of electric machinery and drive systems*. IEEE Press, 2002.
- [3]. P. J. Turner, A. B. J. Reece, D. C. Macdonald, 1989. *The DC decay test for determining synchronous machine parameters: measurement and simulation*. IEEE transactions on energy conversion, vol. 4, no. 4, pp. 616-623, 1989.
- [4]. H. Ahn, H. Park, C. Kim, H. Lee, 2020. *A Review of State-of-the-art Techniques for PMSM Parameter Identification*. Journal of Electrical Engineering & Technology, pp. 1-11, 2020.
- [5]. Y. Gao, R. Qu, Y. Liu, 2013. *An improved AC standstill method for inductance measurement of interior permanent magnet synchronous motors*. in 2013 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Busan, 2013.
- [6]. Q. Wang, G. Zhang, G. Wang, C. Li, D. Xu, 2019. *Offline parameter self-learning method for general-purpose PMSM drives with estimation error compensation*. IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 34, no. 11, pp. 11103-11115, 2019.
- [7]. Q. Wang, G. Wang, N. Zhao, G. Zhang, Q. Cui, D. Xu, 2020. *An Impedance Model-Based Multiparameter Identification Method of PMSM for Both Offline and Online Conditions*. IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 36, no. 1, pp. 727-738, 2020.
- [8]. C. Wu, Y. Zhao, M. Sun, 2020. *Enhancing Low-Speed Sensorless Control of PMSM Using Phase Voltage Measurements and Online Multiple Parameter Identification*. IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 35, no. 10, pp. 10700-10710, 2020.
- [9]. I. Vesely, L. Pohl, 2016. *Stator resistance identification of PMSM*. IFAC-PapersOnLine, vol. 49, no. 25, pp. 223-228, 2016.
- [10]. X. Li, R. Kennel, 2020. *General Formulation of Kalman-Filter Based Online Parameter Identification Methods for VSI-fed PMSM*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2020.
- [11]. S. J. Underwood, I. Husain, 2009. *Online parameter estimation and adaptive control of permanent-magnet synchronous machines*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 7, pp. 2435-2443, 2009.
- [12]. M. S, S. M, T. Y, 2006. *Mechanical sensorless drives of ipmsm with online parameter identification*. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 42, no. 5, pp. 1241-1248, 2006.

- [13]. Y. Wang, S. Xu, H. Huang, Y. Guo, H. Jin, 2018. *A coupled recursive total least squares-based online parameter estimation for PMSM*. Journal of Electrical Engineering & Technology, vol. 13, no. 6, pp. 2344-2353, 2018.
- [14]. I. Vesely, L. Vesely, Z. Bradac, 2018. *MRAS identification of permanent magnet synchronous motor parameters*. IFAC-PapersOnLine, vol. 51, no. 6, pp. 250-255, 2018.
- [15]. G. Pei, J. Liu, L. Li, P. Du, L. Pei, Y. Hu, 2018. *MRAS Based Online Parameter Identification for PMSM Considering VSI Nonlinearity*. in IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC), Shenzhen, 2018.
- [16]. J. Lai, C. Zhou, J. Su, M. Xie, J. Liu, T. Xie, 2019. *A Permanent Magnet Flux Linkage Estimation Method Based on Luenberger Observer for Permanent Magnet Synchronous Motor*. in 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2019.
- [17]. R. Krishnan, 2009. *Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives*. Taylor & Francis, 2009.
- [18]. H.-G. Vũ, 2016. *Ước lượng tốc độ quay và mô men cơ của máy điện đồng bộ kích thích nam châm vĩnh cửu dựa trên bộ quan sát phi tuyến điều*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Năng lượng, Đại học Điện lực, vol. 11, pp. 26-32, 2016.
- [19]. S. J. Underwood, I. Husain, 2010. *Online parameter estimation and adaptive control of permanent-magnet synchronous machines*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 7, pp. 2435-2443, 2010.
- [20]. V. H. Giang, 2019. *A method for the estimation of torque constant of permanent magnet synchronous machine based on a nonlinear observer*. EPU journal of science and technology for energy, no. 20, pp. 1-8, 2019.
- [21]. V. H. Giang, 2016. *Estimation of rotor resistance for the fault diagnosis of asynchronous machine*. in International conference on science and technology, 50th anniversary of Electric Power University, Hanoi, Vietnam, 2016.

---

**AUTHOR INFORMATION****Vu Hoang Giang**

Faculty of Electrical Engineering, Electric Power University