

**CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG TRUYỀN ĐỘNG KHÔNG ĐỒNG BỘ
BẰNG CẤU TRÚC TÁCH KÊNH TRỰC TIẾP
SỬ DỤNG KALMAN FILTER ĐỂ QUAN SÁT TỪ THÔNG**
IMPROVING QUALITY OF ASYNCHRONOUS DRIVES BY DIRECT-
DECOUPLING STRUCTURE AND USING KALMAN FILTER FOR FLUX
OBSERVER

ThS. ĐINH ANH TUẤN
Khoa Điện – Điện tử TB, Trường ĐHHH
NGUYỄN PHÙNG QUANG
Trường Đại học Bách khoa Hà nội

Tóm tắt

Bài báo này đề xuất một phương pháp mới trong cấu trúc mô hình dòng stator và ước lượng từ thông rotor động cơ không đồng bộ. Một bộ điều chỉnh dòng mới với tên gọi “tách kênh trực tiếp” trên cơ sở thuật toán tuyến tính hóa chính xác mô hình dòng cho ta một hệ thống tuyến tính mới trong không gian trạng thái mới cho phép thực hiện thiết kế bộ điều chỉnh dòng cũng như ước lượng từ thông rotor. Trên thực tế, để tính toán từ thông rotor ta thường sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng. Tuy nhiên, sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng có nhiều nhược điểm, trong bài báo đã sử dụng bộ lọc Kalman tuyến tính trên cơ sở mô hình tuyến tính sau khi đã tuyến tính hóa chính xác. Kết quả mô phỏng cho thấy từ thông rotor được ước lượng tốt trong tất cả các chế độ làm việc của động cơ cũng như với phương pháp mới đã cải thiện chất lượng trong các chế độ động của động cơ.

Abstract

This paper presents a new method of modeling stator current and estimating rotor flux of an induction motor. In the paper, a nonlinear control approach to the design using the full state feedback linearization will be presented. A new design of current controller emerged, named “direct - decoupling” based on the algorithm of exactly linearized model of the current. A new linear system in a new state-space and the design of the current controller and estimating flux will be based on this model. In order to estimate the flux, the extended Kalman filter must be used. The paper presents a linear Kalman filter for rotor flux observer with new linear system that reduces the number of operations by a factor compared with the extended Kalman filter. Simulations results show that the rotor flux is estimated in all operating conditions and it show that the new method has improved the quality under all dynamic modes.

1. Mô hình động cơ không đồng bộ

Theo [3] nếu ta định hướng chính xác hệ trục tọa độ d-q theo hướng của vector từ thông rotor thì ta có hệ phương trình mô tả ĐCDB trên hệ tọa độ d-q.

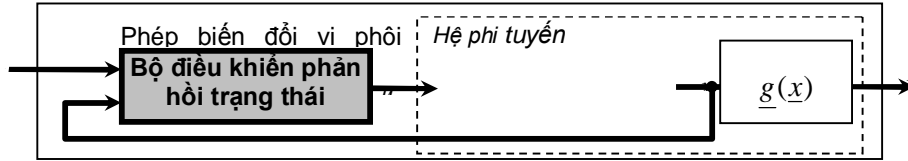
$$\begin{cases} \frac{di_{sd}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{sd} + \omega_s i_{sq} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\Psi'_{rd} + \frac{1}{\sigma L_s}u_{sd} \\ \frac{di_{sq}}{dt} = -\omega_s i_{sd} - \left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{sq} - \frac{1-\sigma}{\sigma}\omega\Psi'_{rd} + \frac{1}{\sigma L_s}u_{sq} \\ \frac{d\Psi'_{rd}}{dt} = \frac{1}{T_r}i_{sd} - \frac{1}{T_r}\Psi'_{rd} \\ 0 = \frac{1}{T_r}i_{sq} - (\omega_s - \omega)\Psi'_{rd} \end{cases} \quad (1)$$

Ngoài ra, ta có các phương trình mômen và chuyển động của động cơ như sau:

$$m_M = \frac{3}{2}z_p(1-\sigma)L_s\Psi'_{rd}i_{sd}; \quad m_M = m_T + \frac{J}{z_p} \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

Quan sát (1) ta thấy dòng điện i_{sd} , i_{sq} ngoài phụ thuộc các giá trị điện áp đầu vào còn phụ thuộc tần số góc quay của nguồn cấp stator ω_s . Điều này cho thấy mô hình dòng là một đối tượng phi tuyến.

2. Tuyến tính hóa chính xác mô hình dòng động cơ không đồng bộ



Hình 1. Hệ tuyến tính với vector trạng thái

Khác với phương pháp tuyến tính hoá xung quanh điểm làm việc và phương pháp tuyến tính hoá trong một phạm vi chu kỳ trích mẫu, phương pháp tuyến tính hoá chính xác đảm bảo hệ tuyến tính trong toàn bộ không gian trạng thái và chỉ có thể áp dụng được với một lớp đối tượng phi tuyến nhất định. Theo [1] nếu một hệ phi tuyến thỏa mãn các điều kiện bao gồm điều khiển được và có bậc tương đối bằng số biến trạng thái thì nó sẽ được chuyển về dạng tuyến tính chuẩn điều khiển bằng bộ điều khiển phản hồi trạng thái nhờ phép đổi trục tọa độ hình 1. Chúng ta có mô hình dòng ĐCDB trong hệ tọa độ từ thông rotor:

$$\begin{cases} \frac{di_{sd}}{dt} = -a i_{sd} + \omega_s i_{sq} + b d \Psi'_{rd} + c u_{sd} \\ \frac{di_{sq}}{dt} = -\omega_s i_{sd} - a i_{sq} - b \omega \Psi'_{rd} + c u_{sq} \\ \frac{d\theta_s}{dt} = \omega_s \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: $a = \frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}$, $b = \frac{1-\sigma}{\sigma}$, $c = \frac{1}{\sigma L_s}$, $d = \frac{1}{T_r}$

Sau khi kiểm tra thỏa mãn các điều kiện tuyến tính hóa chính xác trong [1], thì với bộ điều khiển phản hồi trạng thái:

$$\underline{u} = \begin{bmatrix} a x_1 \\ a x_2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_2 \\ 0 & 1 & x_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \underline{w} \quad (4)$$

Chúng ta đưa mô hình động cơ không đồng bộ trở thành hệ tuyến tính:

$$\begin{cases} \underline{\dot{x}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \underline{z} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \underline{w} \leftrightarrow \underline{\dot{x}} = \underline{w} \\ \underline{y} = \underline{z} \end{cases} \quad (5)$$

Ngoài ra, với bộ điều khiển phản hồi trạng thái có gán điểm cực từ những điểm cực đặt trước:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a x_1 + p_{r1} x_1 - x_2 x_3 p_{r3} \\ a x_2 + p_{r2} x_2 - x_1 x_3 p_{r3} \\ + x_3 p_{r3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_2 \\ 0 & 1 & x_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

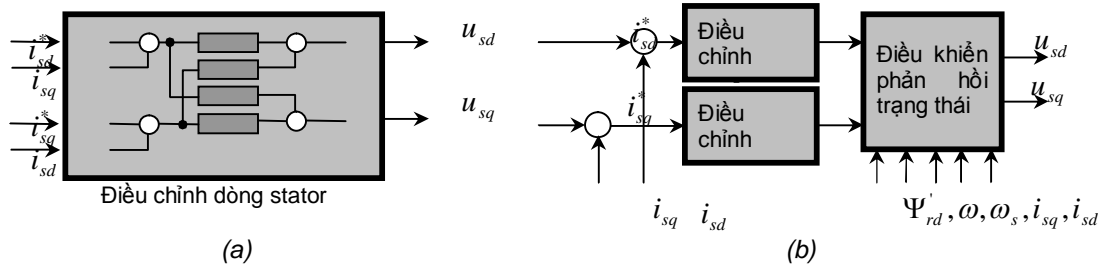
Ta được mô hình động cơ không đồng bộ trở thành hệ tuyến tính như sau:

$$\begin{cases} \underline{z} = \begin{bmatrix} p_{r1} & 0 & 0 \\ 0 & p_{r2} & 0 \\ 0 & 0 & p_{r3} \end{bmatrix} \underline{z} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \underline{w} \\ y = \underline{z} \end{cases} \quad (7)$$

Quan sát (5) và (7) chúng ta thấy hệ thống đã có *cấu trúc tách kênh trực tiếp (TKTT)*, mỗi đầu ra chỉ phụ thuộc duy nhất vào một đầu vào, luật điều khiển phản hồi trạng thái chỉ yêu cầu biến đổi đại số không tồn tại phép tích phân hoặc vi phân. Ngoài ra, ta có thể rời rạc hoá mô hình này một cách dễ dàng sử dụng phương pháp Forward Euler.

3. Cấu trúc điều khiển có tách kênh trực tiếp

Với cấu trúc tách kênh trực tiếp của ĐCDB bằng các bộ điều khiển phản hồi trạng thái ở mục 2 theo [4] ta có thể thiết kế bộ điều chỉnh dòng theo phương án FRT để dẫn dắt giá trị thực đạt tới giá trị đặt sau đúng n chu kỳ tính toán mà không hề gây nên quá điều chỉnh. Bên cạnh phương án thiết kế FRT ta thấy mô hình dòng của động cơ thu được có dạng tuyến tính và tách kênh do đó ta hoàn toàn có thể sử dụng các bộ điều chỉnh PI độc lập cho từng thành phần dòng hoặc sử dụng các bộ điều khiển trạng thái. Theo [3] bộ điều chỉnh từ thông được chọn là khâu PI và thiết kế dưới góc độ coi đối tượng điều khiển là đối tượng gần như liên tục theo tiêu chuẩn tối ưu module số và ta sẽ chọn được bộ tham số tối ưu module D_ψ, V_ψ . Bộ điều chỉnh tốc độ được thiết kế với giả thiết ĐCDB nối khớp cứng với phụ tải và giả thiết Ψ'_{rd} là không đổi, ta dễ dàng thu được hàm truyền đạt của tốc độ có dạng khâu tích phân. Bộ điều chỉnh tốc độ được chọn là khâu PI, theo tiêu chuẩn tối ưu đối xứng ta sẽ chọn được các hệ số D_ω, V_ω . Cũng theo [3] thì từ thông rotor được ước lượng theo phương pháp mô hình. Sau khi áp dụng các phương pháp tiết kể trên ta có sơ đồ cấu trúc hình 2b so sánh với hình 2a là cấu trúc điều khiển tuyến tính trong đó sử dụng phương pháp tách kênh gián tiếp thông qua thiết kế bộ điều chỉnh dòng stator.



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc sử dụng phương pháp tách kênh gián tiếp trong điều khiển ĐCDB

4. Nhận dạng từ thông bằng bộ lọc Kalman trong cấu trúc tách kênh trực tiếp

Đối với phương pháp thiết kế bộ điều chỉnh cho ĐCDB trong hệ tọa độ từ thông rotor vấn đề ước lượng tính toán chính xác từ thông rotor là hết sức quan trọng. Ngoài ra, với cấu trúc mới của ĐCDB ta sẽ khảo sát khả năng sử dụng bộ lọc Kalman để quan sát Ψ'_{rd} .

Ở trên sau khi TKTT mô hình dòng của ĐCDB ta thu được mô hình với cấu trúc tách kênh trực tiếp có đặc tính tuyến tính. Bằng cách thêm vào phương trình từ thông rotor và sử dụng công thức của phương pháp tích phân gần đúng Euler ta thu được mô hình trạng thái gián đoạn như sau:

$$\begin{cases} x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k \\ y_k = C_k x_k \end{cases} \quad (8)$$

Trong đó:

$$\underline{x}(k) = \begin{bmatrix} i_{sd}(k) \\ i_{sq}(k) \\ \Psi'_{rd}(k) \end{bmatrix}; \underline{u}(k) = \begin{bmatrix} w_1(k) \\ w_2(k) \end{bmatrix}; \underline{y}(k) = \begin{bmatrix} i_{sd}(k) \\ i_{sq}(k) \end{bmatrix} \quad A_k = I + AT = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \frac{T}{T_r} & 0 & -\frac{T}{T_r} \end{bmatrix};$$

$$B_k = BT = \begin{bmatrix} T & 0 \\ 0 & T \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; C_k = C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Hệ tuyến tính (8) nếu xem xét thêm vector nhiễu trạng thái, vector nhiễu đo thì có dạng như sau:

$$\begin{cases} \hat{x}_{k+1} = A_k \hat{x}_k + B_k u_k + G_k w_k, & k \geq 0 \\ y_k = C_k \hat{x}_k + v_k \end{cases}$$

Trong đó:

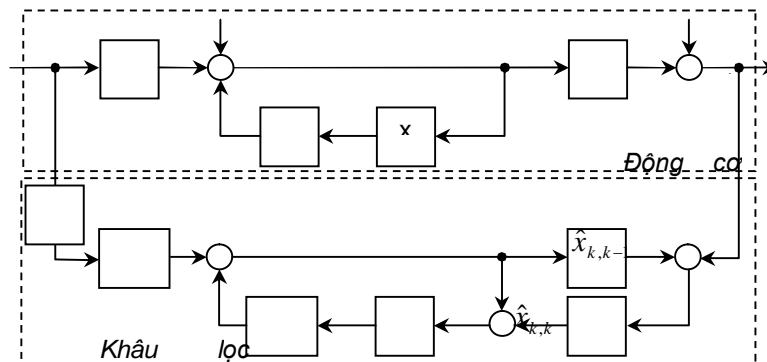
w_k, v_k là vector nhiễu trạng thái, vector nhiễu đo. G_k là trọng số nhiễu.

Các vector nhiễu w_k, v_k được giả thiết là nhiễu Gaussian trắng kỳ vọng 0.

Theo [5] ta có phương trình của bộ lọc Kalman trong cấu trúc (8) có dạng:

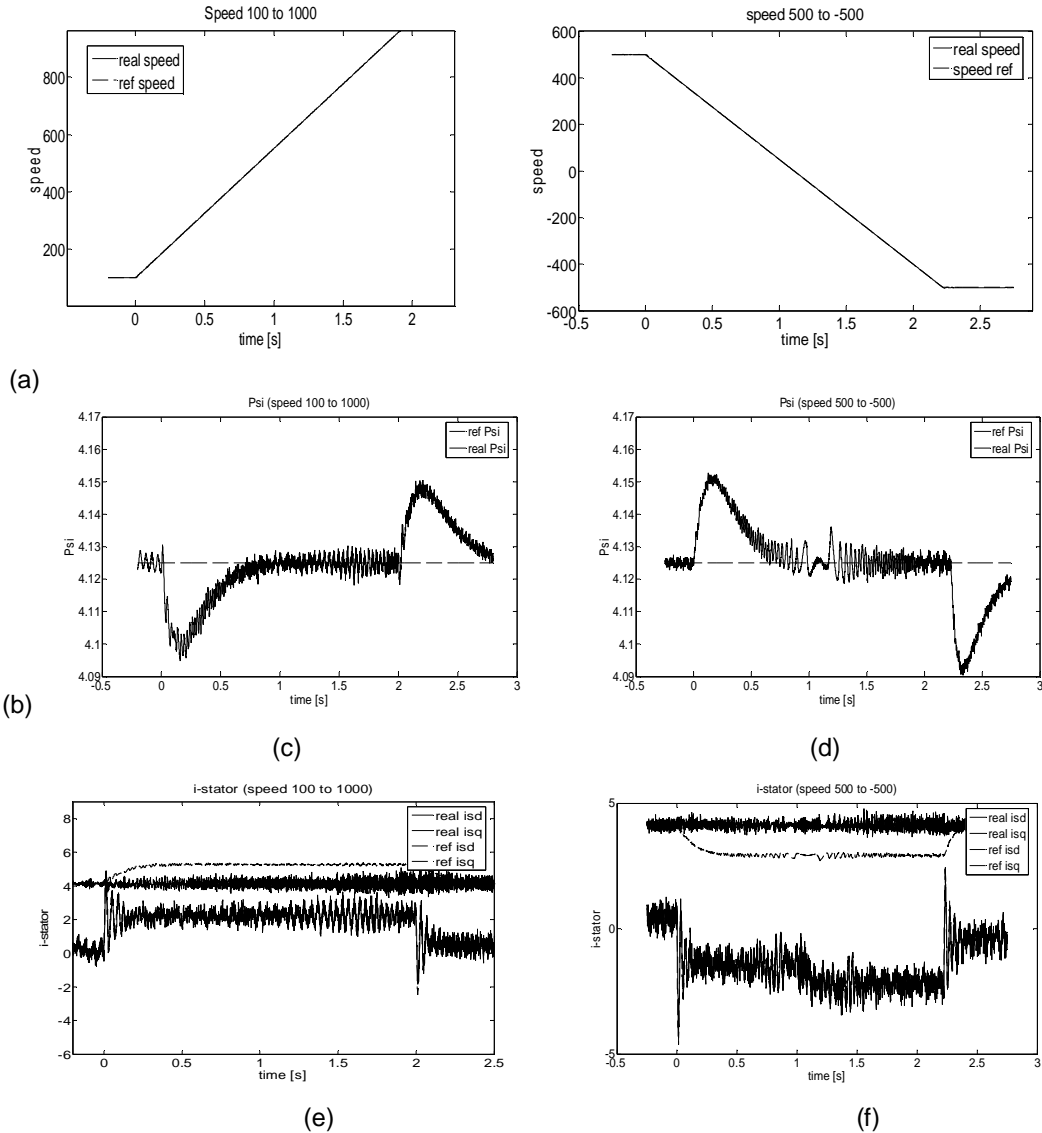
$$\begin{cases} \hat{x}_{k,k} = \hat{x}_{k,k-1} + K_k (y_k - C_k \hat{x}_{k,k-1}) \\ \hat{x}_{k,k-1} = A_{k-1} \hat{x}_{k-1,k-1} + B_{k-1} u_{k-1} \end{cases}$$

Vậy ta có cấu trúc tổng quát khâu lọc Kalman trong cấu trúc tách kênh trực tiếp của động cơ không đồng bộ trên hình 4.



Hình 3. Cấu trúc bộ lọc Kalman trong cấu trúc tách kênh trực tiếp

Ta sử dụng công cụ Simulink/Matlab, trong đó các bộ điều khiển phản hồi trạng thái, bộ điều khiển dòng, bộ điều khiển tốc độ và từ thông sử dụng công cụ có sẵn của Simulink. Đối tượng động cơ và mạch công suất của biến tần sử dụng công cụ Plecs. Ngoài ra, với hai khối còn lại là điều chế vector không gian và khâu lọc Kalman được lập trình trong file.c và đưa vào Simulink thông qua khối S-Function [2].



Hình 5. Đáp ứng của hệ thống trong hai trường hợp thay đổi tốc độ của động cơ

Trường hợp 1: Thay đổi tốc độ từ 100 tới 1000 Trường hợp 2: Thay đổi tốc độ từ 500 tới -500

(a) Tốc độ quay của động cơ, (c) Thành phần từ thông, (e) Thành phần dòng điện stator
(b) Tốc độ quay của động cơ, (d) Thành phần từ thông, (f) Thành phần dòng điện stator

Mô phỏng cho thấy trong mọi dải tốc độ thì hệ thống đều có đáp ứng rất tốt thể hiện khả năng tách kênh của phương pháp. Từ thông rotor được quan sát tốt bằng bộ quan sát Kalman trong mô hình mới của ĐCDB.

6. Kết luận

Các kết quả thu được bước đầu đã khẳng định một hướng đi mới trong điều khiển phi tuyến truyền động điện không đồng bộ đầy tiềm năng. Để hoàn thiện đầy đủ về mặt lý thuyết cũng như chứng minh khả năng áp dụng vào thực tiễn trước khi tiến hành các thực nghiệm cần thiết, bài báo tiếp theo sẽ chứng minh tính khả thi của hai vấn đề còn lại là điều khiển sensorless và thích nghi hằng số thời gian rotor.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ng.D Phước: *Lý thuyết điều khiển nâng cao*. NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà nội, 2007.
- [2] Ng.Ph Quang: *Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động*. NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà nội, 2004.
- [3] Ng.Ph Quang: Dittrich, A: *Truyền động điện thông minh*. NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà nội, 2002.
- [4] Ng.Ph Quang: Dittrich, A: *Vector Control of Three-phase AC Machiner*, Springer, 2008.
- [5] C.K. Chui: *Kalman filtering with Real-time application*. 2th edition Springer series in Information sciences, 1990.

Người phân biện: TS. Lưu Kim Thành