

THIẾT KẾ BỘ QUAN SÁT TRẠNG THÁI TRONG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TUYẾN TÍNH HOÁ ĐỘNG CƠ Dİ BỘ

Đặng Anh Đức (Trường ĐH Kỹ thuật công nghiệp - ĐH Thái Nguyên)

1. Đặt vấn đề

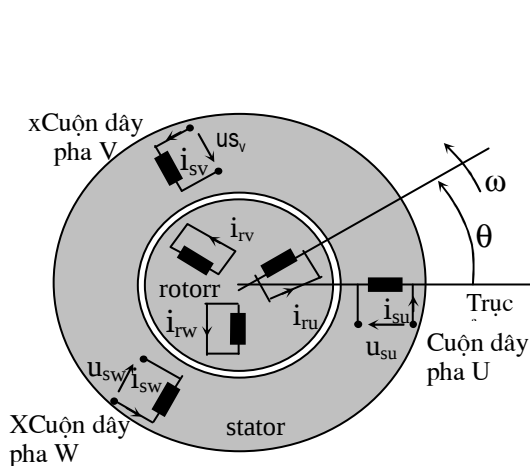
Tự động hoá quá trình sản xuất đã và đang là mũi nhọn then chốt giải quyết vấn đề nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm. Các hệ thống truyền động sử dụng động cơ dị bộ rotor lồng sóc đang được ứng dụng rộng rãi bởi nó có nhiều ưu điểm: cấu tạo đơn giản, giá thành rẻ, vận hành tin cậy..., điều này có ý nghĩa đặc biệt trong các hệ truyền động công suất lớn.

Tuy nhiên, động cơ dị bộ là đối tượng phi tuyến nên việc điều khiển gặp nhiều khó khăn và phức tạp. Một trong những phương pháp điều khiển phi tuyến hứa hẹn mang lại chất lượng cao là phương pháp tuyến tính hoá. Theo [2]: Phương pháp tuyến tính hoá là một trong các phương pháp điều khiển phi tuyến dựa trên cơ sở "hình học vi phân". Theo phương pháp này ta phải thiết kế bộ điều khiển phản hồi trạng thái (ĐKPHTT) thông qua phép đổi trục tọa độ thích hợp để đưa đối tượng phi tuyến về dạng tuyến tính trong toàn bộ không gian trạng thái mới (trong hệ tọa độ mới).

Như vậy, với phương pháp này phải xác định được giá trị của các biến trạng thái cần phản hồi. Trước đây, để xác định được giá trị của các tín hiệu này là đo trực tiếp nhờ các thiết bị cảm biến. Nhưng không phải mọi tín hiệu đều có thể đo trực tiếp (như từ thông, gia tốc...), song có thể quan sát (đo gián tiếp) trong một khoảng thời gian đủ lớn thông qua tín hiệu vào/ra - Bộ quan sát trạng thái.

2. Mô hình toán của Động cơ dị bộ

Xét đối tượng điều khiển là động cơ dị bộ rotor lồng sóc trên hên hệ tọa độ dq. Như ta đã biết hệ tọa độ dq (hệ tọa độ từ thông rotor) là hệ tọa độ cố trục thực d trùng với trục của vector từ thông rotor Ψ_r và hệ dq quay xung quanh gốc tọa độ với tốc độ góc $\omega_s = d\theta_s/dt$.



Hình 1: Mô hình của động cơ dị bộ

Gọi $i_{su}(t)$, $i_{sv}(t)$, $i_{sw}(t)$ tương ứng là các dòng điện ở đầu ra của biến tần cung cấp cho các pha u, v, w của động cơ và thỏa mãn phương trình sau:

$$i_{su}(t) + i_{sv}(t) + i_{sw}(t) = 0$$

Trong đó:
$$\begin{cases} i_{su}(t) = |i_s| \cos(\omega_s t) \\ i_{sv}(t) = |i_s| \cos(\omega_s t + 120^\circ) \\ i_{sw}(t) = |i_s| \cos(\omega_s t + 240^\circ) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{d\Psi'_{rd}}{dt} = \frac{1}{T_r} i_{sd} - \frac{1}{T_r} \Psi'_{rd} + (\omega_s - \omega) \Psi'_{rq} \\ \frac{d\Psi'_{rq}}{dt} = \frac{1}{T_r} i_{sq} - (\omega_s - \omega) \Psi'_{rd} - \frac{1}{T_r} \Psi'_{rq} \\ \frac{d\theta_s}{dt} = \omega_s \end{cases} \quad (2)$$

Theo [3], mô hình toán của động cơ trên hệ tọa độ dq như (2). Thành phần phi tuyến được cấu thành bởi tích giữa các thành phần Ψ'_{rd} , Ψ'_{rq} của vector trạng thái và biến vào ω_s .

Chuyển (2) sang không gian trạng thái, với các biến trạng thái x_1, x_2, x_3 , các biến đầu vào u_1, u_2, u_3 và các biến đầu ra y_1, y_2, y_3 , ta có hệ phương trình phi tuyến của động cơ trên không gian trạng thái như sau:

$$\begin{cases} x_1 = \Psi'_{rd} \\ x_2 = \Psi'_{rq} \\ x_3 = \theta_s \end{cases} \quad \begin{cases} u_1 = i_{sd} \\ u_2 = i_{sq} \\ u_3 = \omega_s \end{cases} \quad \begin{cases} y_1 = \Psi'_{rd} \\ y_2 = \Psi'_{rq} \\ y_3 = \theta_s \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -\frac{1}{T_r}x_1 - \omega x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = x_1\omega - \frac{1}{T_r}x_2 \\ \frac{dx_3}{dt} = 0 \end{cases} + \begin{bmatrix} \frac{1}{T_r} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{T_r} \\ 0 \end{bmatrix} u_2 + \begin{bmatrix} 0 \\ -x_1 \\ 1 \end{bmatrix} u_3 \quad (3)$$

Hệ (3) có dạng tổng quát:

$$\begin{cases} \frac{d\underline{x}}{dt} = A\underline{x} + H(\underline{x}).\underline{u} \\ \underline{y} = C\underline{x} \end{cases} \quad (4)$$

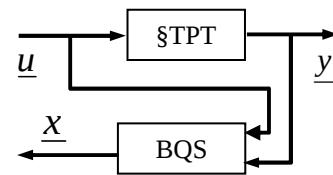
Với: $A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} & -\omega & 0 \\ 1 & -\frac{1}{T_r} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$, $H(\underline{x}) = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_r} & 0 & x_2 \\ 0 & \frac{1}{T_r} & -x_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, $C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

3. Thiết kế bộ quan sát trạng thái

3.1. Tính quan sát được của hệ phi tuyến

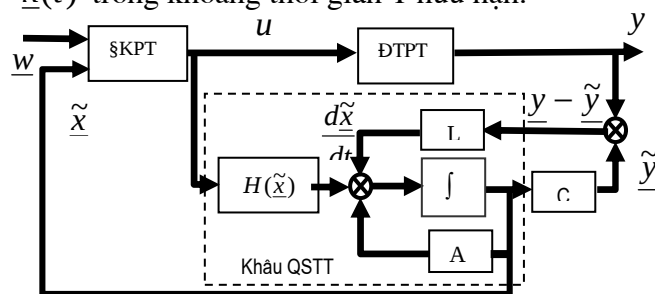
Theo [2], điểm trạng thái $\underline{x}_0$ của hệ phi tuyến có tín hiệu vào $\underline{u}(t)$ và tín hiệu ra $\underline{y}(t)$ được gọi là quan sát được, nếu ta có thể xác định được nó một cách chính xác thông qua các tín hiệu vào/ra trong một khoảng thời gian hữu hạn T. Khoảng thời gian quan sát càng ngắn sẽ càng tốt cho công việc điều khiển sau này. Nếu thời gian quan sát quá lớn, điểm trạng thái $\underline{x}_0$ vừa xác định được có thể sẽ mất đi ý nghĩa ứng dụng cho bài toán điều khiển, vì khi đó có thể hệ đã chuyển đến một điểm trạng thái mới cách rất xa điểm trạng thái $\underline{x}_0$.



Hình 2: Quan sát trạng thái

3.2. Bộ quan sát Luenberger mở rộng

Xét hệ phi tuyến như (4), với tín hiệu vào $\underline{u}(t)$, tín hiệu ra $\underline{y}(t)$, biến trạng thái quan sát được $\tilde{\underline{x}}(t)$, vector hàm phi tuyến $H(\underline{x})$ và $\underline{l}(\tilde{\underline{x}}, \underline{u}, \underline{y})$ là vector hàm dùng để hiệu chỉnh mô hình sao cho có được $\tilde{\underline{x}}(t) \approx \underline{x}(t)$ trong khoảng thời gian T hữu hạn.



Hình 3: Cấu trúc khâu quan sát trạng thái

Như vậy, bài toán thiết kế ở đây là tìm vector hàm $\underline{l}(\underline{\tilde{x}}, \underline{u}, \underline{y})$ sao cho có được $\underline{\tilde{x}}(t) \rightarrow \underline{x}(t)$ trong khoảng thời gian T hữu hạn. Theo [2], ta có thể chọn trước $\underline{l}(\underline{\tilde{x}}, \underline{u}, \underline{y}) = L(\underline{y} - C\underline{\tilde{x}})$, khi đó ta có bộ quan sát trạng thái (5).

$$\frac{d\underline{\tilde{x}}}{dt} = A\underline{\tilde{x}} + H(\underline{\tilde{x}}) + L(\underline{y} - C\underline{\tilde{x}}) \quad (5)$$

Trong đó L là ma trận hằng cần xác định, theo [1], ta chỉ cần xác định ma trận L sao cho tất cả các giá trị riêng λ_i của ma trận bất biến $(A - LC)$ nằm bên trái trục ảo, điều đó đồng nghĩa với việc tìm L^T để: $(A - LC)^T = A^T - C^T L^T$ nhận các giá trị cho trước $s_1, \dots, s_n$ có phần thực âm làm các giá trị riêng λ_i . Tuy nhiên, chúng nằm càng xa trục ảo về phía bên trái càng tốt, thời gian cần thiết để quan sát sẽ càng ngắn.

3.3. Tổng hợp thuật toán của khâu quan sát

Theo [3] và [4], với mô hình động cơ như (4) là hoàn toàn có thể quan sát được.

Thực vậy:

+ Chọn trước các điểm cực s_i

Tìm giá trị riêng của ma trận A, ta có:

$$\lambda_1 = 0, \lambda_2 = -\frac{1}{T_r} + j\sqrt{\omega}, \lambda_3 = -\frac{1}{T_r} - j\sqrt{\omega}$$

$$\det(A - \lambda I) = \det \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} - \lambda & -\omega & 0 \\ 1 & -\frac{1}{T_r} - \lambda & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda \end{bmatrix} = 0 \quad (6)$$

Ta thấy, đối tượng phi tuyến này có hai cặp nghiệm cực đối xứng qua trục thực của hệ tọa độ phức. Hai cặp cực đó không nằm cố định mà di động trên mặt phẳng phức theo một quỹ đạo (quỹ đạo điểm cực), nó phụ thuộc vào điểm công tác (tốc độ quay, phụ tải, tham số) của động cơ. Mặt khác, do nhiệt độ công tác và trạng thái bão hòa từ thay đổi liên tục cũng làm thay đổi vị trí các cặp cực. Như vậy, các cặp nghiệm cực của động cơ phụ thuộc vào tần số và các tham số của mô hình. Do đó, việc chọn trước các điểm cực để thiết kế bộ quan sát trạng thái sẽ gặp rất nhiều khó khăn, song nó lại không làm ảnh hưởng tới vị trí các điểm cực của đối tượng. Vì vậy, ta chủ động chọn trước các điểm cực như sau:

$$s_i = -\frac{1}{T_r} + b_i \quad \text{với } b < 0 \text{ để } s_i < \text{Re} \{ \lambda_2 \}$$

+ Tìm L^T sao cho $(A^T - C^T L^T)$ nhận các giá trị s_i làm các giá trị riêng:

$$L^T = -(t_1, \dots, t_n), (\underline{a}_1, \dots, \underline{a}_1)^{-1} \quad \text{với } \underline{a}_i = (s_i I - A^T)^{-1} C^T t_i,$$

$i = 1, 2, \dots, n$, t_i là các tham số tự do sao cho

các vector $\underline{a}_i$ độc lập tuyến tính.

Để $\underline{a}_1, \underline{a}_2, \underline{a}_3$ là các vector độc lập tuyến tính, ta chọn:

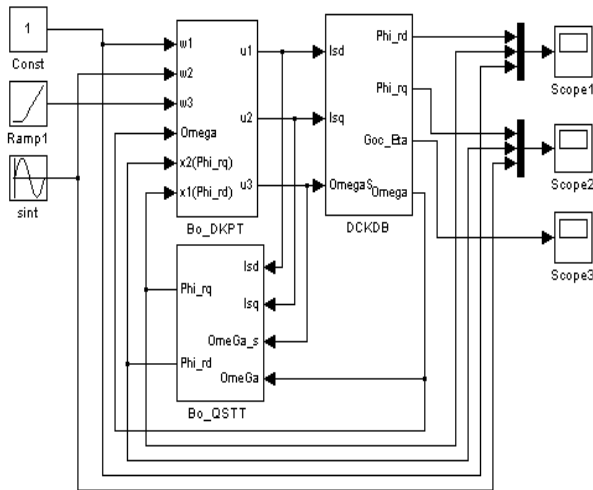
$$(s_i I - A^T)^{-1} C^T = \begin{bmatrix} \frac{b_i s_i}{d_i} & \frac{s_i}{d_i} & 0 \\ -\frac{\omega s_i}{d_i} & \frac{b_i s_i}{d_i} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{s_i} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \underline{t}_1 = \begin{bmatrix} d_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} &\Rightarrow \underline{a}_1 = \begin{bmatrix} s_1 b_1 \\ -\omega s_1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \underline{t}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ d_2 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \underline{a}_2 = \begin{bmatrix} s_2 \\ b_2 s_2 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \underline{t}_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ s_3 \end{bmatrix} \Rightarrow \underline{a}_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\ L^T = - \begin{bmatrix} d_1 \frac{s_2 b_2}{d} & -d_1 \frac{s_2}{d} & 0 \\ d_2 \frac{\omega s_1}{d} & d_2 \frac{s_1 b_1}{d} & 0 \\ 0 & 0 & s_3 \end{bmatrix} &\Rightarrow L = (L^T)^T = - \begin{bmatrix} d_1 \frac{s_2 b_2}{d} & d_2 \frac{\omega s_1}{d} & 0 \\ -d_1 \frac{s_2}{d} & d_2 \frac{s_1 b_1}{d} & 0 \\ 0 & 0 & s_3 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

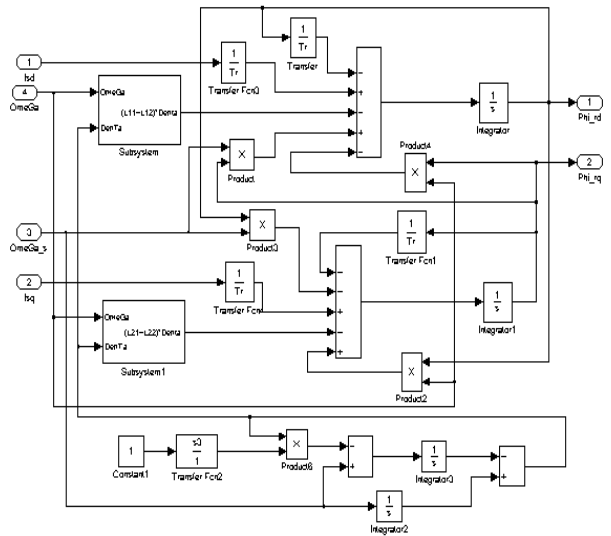
Trong đó:

$$\begin{aligned} d_1 &= (b_1^2 + \omega) s_1 \\ d_2 &= (b_2^2 + \omega) s_2 \\ d &= s_1 s_2 (b_1 b_2 + \omega) \end{aligned}$$

Từ (8), ta nhận thấy trong ma trận L có chứa ω, T_r , trong quá trình làm việc của động cơ, hai thông số này luôn thay đổi, L sẽ nhận dạng được sự thay đổi trạng thái của đối tượng và giúp cho bộ quan sát trạng thái nhận dạng được sự thay đổi trạng thái của đối tượng một cách chính xác. Như vậy, bộ quan sát trạng thái sẽ có các đầu vào là $i_{sd}, i_{sq}, \omega, \omega_s$ và các đầu ra là $\tilde{\psi}'_{rd}, \tilde{\psi}'_{rq}, \tilde{\theta}$.



Hình 5: Mô hình động cơ đã được tuyến tính hoá



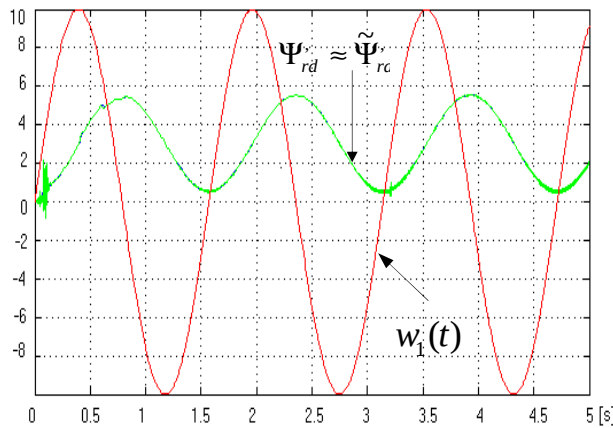
Hình 4: Mô hình simulink bộ quan sát trạng thái

3.4. Kết quả mô phỏng

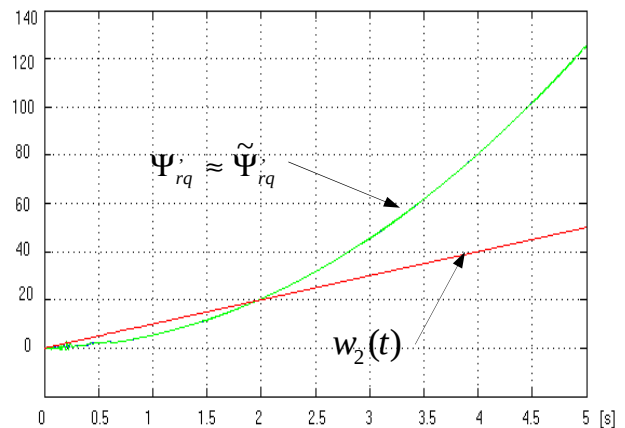
Để đánh giá kết quả nghiên cứu, ta mô phỏng bằng phần mềm Matlab Simulink:

Ví dụ cho các tín hiệu vào: $w_1 = 10\sin 4t$; $w_2 = 10t$; $w_3 = 0.05t$; với: $t = 0 \div 5$ (s)

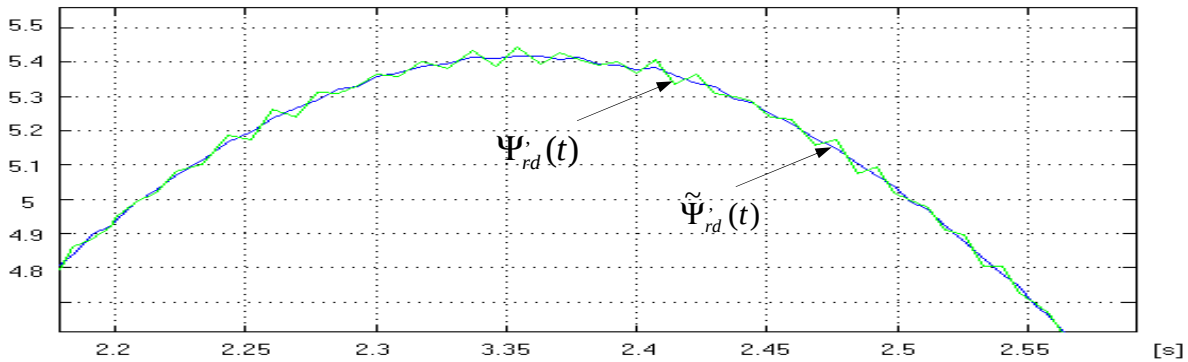
$$s_1 = -8 - \frac{1}{T_r}, s_2 = -7 - \frac{1}{T_r}, s_3 = -6 - \frac{1}{T_r}$$



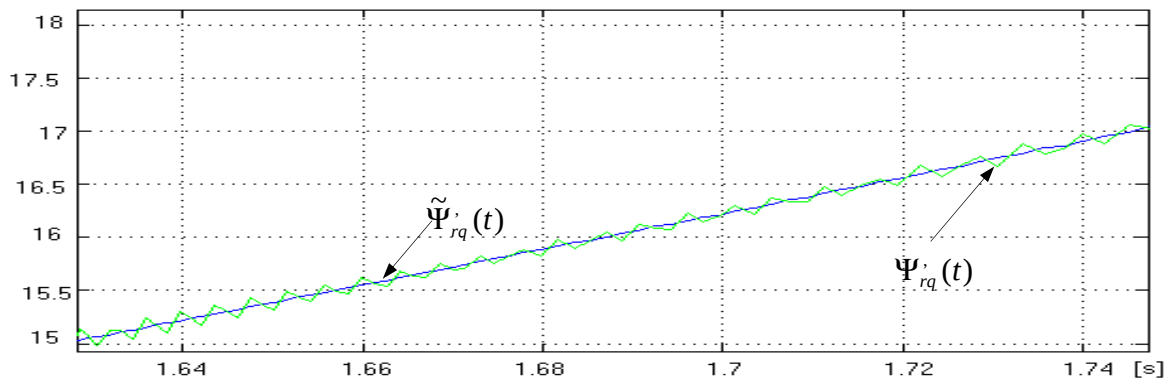
Hình 6: Quan hệ Ψ'_{rd}, w_1 theo thời gian



Hình 7: Quan hệ Ψ'_{rq}, w_2 theo thời gian.



Hình 8: Quan hệ $\Psi'_{rd}, \tilde{\Psi}'_{rd}$ theo thời gian.



Hình 9: Quan hệ $\Psi'_{rq}, \tilde{\Psi}'_{rq}$ theo thời gian.

4. Kết luận

Từ các kết quả mô phỏng trên ta thấy, với các điểm cực s_i nằm phía bên trái các điểm cực âm của đối tượng thì tín hiệu quan sát được $\tilde{\Psi}'_{rd}(t), \tilde{\Psi}'_{rq}(t)$ luôn bám sát và dao động xung quanh tín hiệu thực $\Psi'_{rd}(t), \Psi'_{rq}(t)$ với sai số rất nhỏ. Mối quan hệ giữa $w_1(t)$ và $\Psi'_{rd}(t)$, giữa $w_2(t)$ và $\Psi'_{rq}(t)$, là hoàn toàn tuyến tính theo quy luật tích phân. Như vậy, các kết quả mô phỏng này đã kiểm chứng được thuật toán của khâu quan sát là hoàn toàn đúng như lý thuyết.

Tóm tắt

Từ trước tới nay đã có nhiều công trình nghiên cứu về phương pháp Tuyến tính hoá, với các kết quả thu được cho thấy phương pháp này có triển vọng rất lớn trong điều khiển phi tuyến. Song nó lại có nhược điểm là phải xác định được chính xác giá trị của các biến trạng thái của đối tượng (thông thường là đo trực tiếp bằng các thiết bị Sensor) để đưa phản hồi về bộ điều khiển, nhưng thực tế có nhiều biến trạng thái không thể đo trực tiếp được. Vì vậy, trong bài báo này tác giả đã đưa ra một phương pháp mới để xác định giá trị của các biến trạng thái - phương pháp quan sát thông qua các tín hiệu vào/ra, thay cho việc đo trực tiếp. Với kết quả mô phỏng, phương pháp này đã cho thấy nó có khả năng ứng dụng rất cao trong điều khiển phi tuyến động cơ dị bộ rotor lồng sóc nói riêng và các đối tượng phi tuyến khác nói chung.

Summary

Observer-based feedback- Linearizing control for induction motors

Up till now, there have been several research works on linearizing method. The obtained results have shown that this method has great effect on non-linear control. Nevertheless, its shortcoming is the fact that we have to specify exactly the value of objects' signals of state (normally being direct-measured by sensors) in order to send the feedbacks to controller. In fact, there is a great number of signals that cannot be measured directly. Henceforth, in the article, a new research direction on determining the values of signals has been mentioned - the method of observing input and output signals, instead of direct-measure method. As the imitative results have shown, the method seems to have great applied potential in non-linear control for induction motors in particular and other non-linear objects in general.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Đặng Anh Đức (2005), *Kiểm tra khả năng sử dụng khâu quan sát trong hệ thống điều khiển tuyến tính hoá chính xác động cơ không đồng bộ-Rotor lồng sóc nuôi bằng biến tần nguồn dòng*, Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Đại học Thái Nguyên.
- [2]. Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh, Hán Thành Trung (2003), *Lý thuyết điều khiển phi tuyến*. Nxb Khoa học và kỹ thuật.
- [3]. Nguyễn Phùng Quang (2002), *Truyền động điện thông minh*. Nxb Khoa học và kỹ thuật.
- [4]. Nguyễn Phùng Quang, Dương Hoài Nam (2004), “Về triển vọng ứng dụng phương pháp tuyến tính hoá chính xác trong điều khiển động cơ không đồng bộ rotor lồng sóc”. Chuyên san Kỹ thuật điều khiển tự động tháng 12, tạp chí *Tự động hoá ngày nay*.
- [5]. Marc Bodson; John Chiasson (1998): *Differential-Geometric Methods for Control of Electric Motors*. Int. J. Robust Nonlinear Control, pp. 923 – 954.