

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH NỘI ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

● NGUYỄN HOÀNG VŨ - THẠCH NGỌC PHÚC

TÓM TẮT:

Bài báo trình bày hệ thống điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ (ĐCKĐB) 3 pha dùng phương pháp mô hình nội (Internal Model Control-IMC). Trên cơ sở phương pháp điều khiển mô hình nội cho đối tượng tuyến tính đã được M.Morari & E.Zafiriou phát triển năm 1987. Phương pháp này có ưu điểm là dễ thiết kế và thuật toán đơn giản. Bài báo phát triển ý tưởng trên để điều khiển cho đối tượng phi tuyến là ĐCKĐB 3 pha. Mục đích của tác giả là xây dựng mô hình hệ thống điều khiển bền vững tốc độ động cơ bằng phương pháp điều khiển mô hình nội. Tạo tiền đề cho việc xây dựng các mô hình thử nghiệm cho các hệ thống điều khiển động cơ chất lượng cao. Đồng thời đây cũng là cơ sở để chế tạo các bộ điều khiển tốc độ động cơ (bộ biến tần) ứng dụng trong các hệ thống truyền động điện chính xác.

Từ khóa: động cơ không đồng bộ, mô hình nội, phương pháp điều khiển.

1. Đặt vấn đề

ĐCKĐB được sử dụng rộng rãi trong dân dụng. Trong công nghiệp ĐCKĐB còn hạn chế như điều khiển không tin cậy, khả năng quá tải moment nhỏ, dòng mở máy lớn nên loại động cơ này phải nhường chỗ cho động cơ một chiều. Ngày nay, với sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật cũng như phát triển của lý thuyết điều khiển tự động, điện tử công suất, kỹ thuật vi xử lý đã khắc phục được nhược điểm trên, đưa ĐCKĐB trở thành động cơ phổ biến nhất trong công nghiệp. Với các phương pháp điều khiển được tích trong biến tần từ đó có nhiều phương pháp điều khiển động cơ.

- Điều khiển ĐCKĐB bằng phương pháp định hướng trường (field-oriented control) [1].
- Phương pháp điều khiển mô hình nội (Internal model control) [2].
- Phương pháp điều khiển tuyến tính hóa mô hình vào ra (input-output linearization) [3].
- Phương pháp điều khiển chế độ trượt (Non linear sliding mode) [4].
- Phương pháp điều khiển dựa trên tính thụ động (passivity based control) [5].
- Phương pháp điều khiển toàn phương tuyến tính hồi tiếp trạng thái (linear quadratic state feedback) [6].

Trong đó, phương pháp mô hình nội có nhiều ưu điểm. Các điều kiện về ổn định và tính bền vững được diễn tả một cách đơn giản thông qua các hàm truyền đạt của hệ thống nên dễ sử dụng trong thiết kế.

2. Tổng quan nghiên cứu

Phương pháp dùng mô hình nội có ưu điểm là thuật toán rất đơn giản. Các điều kiện về ổn định nội và tính bền vững được diễn tả một cách đơn giản thông qua các hàm truyền đạt của hệ thống, nên dễ sử dụng trong thiết kế và lập trình điều khiển.

Đặc biệt trong lĩnh vực điều khiển ĐCKĐB rotor lồng sóc, điện trở của rotor rất khó đo một cách chính xác. Chưa kể đến việc khi động cơ làm việc thì nhiệt độ tăng lên làm điện trở của dây quấn stator, rotor tăng theo. Điện cảm của dây quấn stator (L_s), rotor (L_r) và hồ cảm giữa stator và rotor (L_m)... thay đổi theo tải và theo nhiệt độ của động cơ. Phương pháp điều khiển mô hình nội phần nào khắc phục được khó khăn này nhờ vào tính chất điều khiển bền vững với sai số của mô hình.

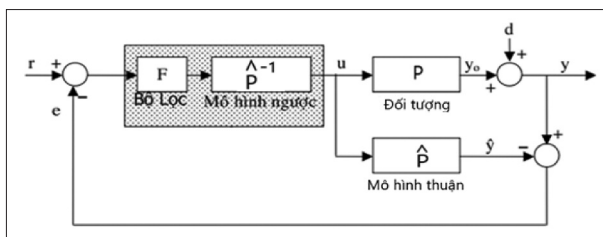
Khuyết điểm của phương pháp dùng mô hình nội để điều khiển ĐCKĐB rotor lồng sóc là phương pháp này được áp dụng rộng rãi cho hệ tuyến tính, nhưng đối với hệ phi tuyến thì còn nhiều hạn chế, đặc biệt là hệ phi tuyến của đối tượng đa biến.

3. Phương pháp điều khiển dùng mô hình nội

Phương pháp điều khiển mô hình nội cho đối tượng tuyến tính đã được

M.Morari & E.Zafiriou [2] phát triển. Hình 1 trình bày hệ thống điều khiển mô hình nội (Internal Model Control-IMC):

Hình 1: Hệ thống điều khiển mô hình nội



Trong đó: P là đối tượng cần điều khiển, $\hat{p}$ là mô hình của đối tượng, $\hat{p}^{-1}$ là mô hình ngược của đối

tượng, (gọi là bộ điều khiển Q), F là bộ lọc thông thấp, r là tín hiệu đặt, d là nhiễu ngõ ra, y là tín hiệu đáp ứng ngõ ra, $\hat{y}$ là tín hiệu ngõ ra của mô hình, e là sai số ngõ ra của mô hình so với ngõ ra thực của đối tượng.

* Trường hợp lý tưởng: ($\hat{p} = p$; $d=0$)

$$y = Fr + (I-F)d$$

Trường hợp này không có tín hiệu hội tiếp về, do đó: $y = p^*u = p^*(Q^*r) = p^*Q^*r$

Chọn: $Q = \hat{p}^{-1} = p^{-1}$ nên $p^*Q = I$ (với I là ma trận đơn vị)

=> $y = r$ là giá trị ngõ ra mong muốn.

* Trường hợp không lý tưởng: (trường hợp phải gặp trong thực tế ($P \neq \hat{p}$) còn gọi là trường hợp có sai số)

Theo sơ đồ hàm truyền ta có:

$$u = Q^*(r - \varepsilon) = Q^*[r - (y - \hat{y})]$$

$$= Q^*r - Q^*[p^*u - \hat{p}^*u]$$

$$u = Q^*r - Q^*[p - \hat{p}]^*u$$

$$[I + Q^*(p - \hat{p})]^*u = Q^*r$$

$$u = [I + Q^*(p - \hat{p})]^{-1} * Q^*r$$

Thông số ngõ ra: $y = p^*u$

$$y = p[I + Q^*(p - \hat{p})]^{-1} * Q^*r$$

Chọn: $Q = \hat{p}^{-1}$

$$\Rightarrow y = p[I + \hat{p}^{-1}p - \hat{p}^{-1}\hat{p}]^{-1} \hat{Q}^{-1} * r$$

$$\Rightarrow y = p[I + \hat{p}^{-1}p - I]^{-1} \hat{Q}^{-1} * r$$

$$\Rightarrow y = p[\hat{p}^{-1}p]^{-1} \hat{p}^{-1} * r$$

$$\Rightarrow y = p^*p^*r$$

$$\Rightarrow y = r \text{ (giá trị mong muốn)}$$

Nhận xét: nếu vì lý do nào đó $p \neq \hat{p}$ hay tồn tại nhiễu để $\hat{y} \neq y$ thì giá trị y vẫn đạt được giá trị mong muốn (giá trị đặt).

Tuy nhiên, khi tìm ma trận $Q = \hat{p}^{-1}$, ta thường gặp 2 vấn đề sau:

- Xuất hiện thừa số $(s - \alpha)$ ($\alpha > 0$) ở mẫu số làm cho hệ thống làm việc mất ổn định.

- Bậc tử lớn hơn mẫu nên hệ không có tính khả thi.

Để khắc phục vấn đề trên ta chọn ma trận Q:

$$Q = \hat{p}^{-1} \frac{k(s - \alpha)}{(s - \lambda)^n}$$

Trong đó: Giá trị n chọn sau cho ma trận Q có bậc tử bằng với bậc mẫu. $k, \alpha > 0$ là hai hằng số thực.

$$\Rightarrow y = P * u = P \left[I - \hat{P}^{-1} \frac{k(s-a)}{(s+\lambda)^n} (P - \hat{P}) \right]^{-1} \hat{P}^{-1} \frac{k(s-a)}{(s+\lambda)^n} r$$

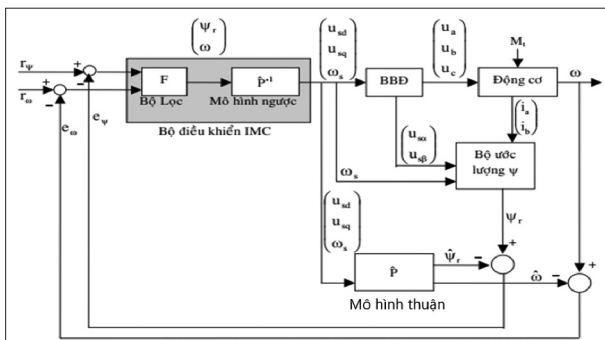
$$\Rightarrow y = P \left[\left(1 - \frac{k(s-a)}{(s+\lambda)^n} \right) I - \hat{P}^{-1} P \frac{k(s-a)}{(s+\lambda)^n} \right]^{-1} \hat{P}^{-1} \frac{k(s-a)}{(s+\lambda)^n} r$$

k và λ được chọn sao cho sai số xác lập là nhỏ nhất.

4. Thuật toán điều khiển động cơ không đồng bộ 3 pha dùng mô hình nội

Trên cơ sở phương pháp điều khiển mô hình nội cho đối tượng tuyến tính đã được M.Morari & E.Zafiriou [2] phát triển. Đề tài này phát triển ý tưởng trên để điều khiển cho đối tượng phi tuyến là động cơ không đồng bộ 3 pha dùng mô hình nội đề nghị được trình bày trong Hình 2.

Hình 2: Hệ thống điều khiển động cơ dùng mô hình nội với ước lượng từ thông



Trong đó:

- Tín hiệu điều khiển là tốc độ và thông.
- Khối đối tượng cần điều khiển gồm động cơ và bộ biến đổi.
- Động cơ không đồng bộ 3 pha bằng hệ phương trình toán học trong hệ tọa độ từ thông stator được qui đổi về 2 pha.

- Mô hình thuận $\hat{P}$:

Mô hình thuận là mô hình (phi tuyến) của động cơ không đồng bộ trong hệ tọa độ từ thông rotor (tọa độ dq) với các tín hiệu vào là các thành phần của điện áp [usd, usq, ωs] và các tín hiệu ra là các thành phần của modul từ thông rotor trong hệ tọa độ

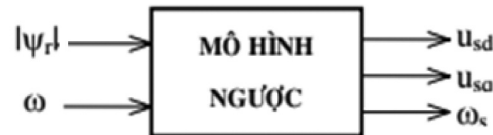
dq và tốc độ của động cơ tính bằng rad/s [|ψr|, ω]. Trong nghiên cứu này khối mô hình thuận được mô phỏng như Hình 3.

Hình 3: Mô hình thuận



- Mô hình ngược $\hat{P}^{-1}$:

Hình 4: Mô hình ngược



Mô hình ngược $\hat{P}^{-1}$ là mô hình nghịch đảo của mô hình thuận $\hat{P}$ được xây dựng theo phép biến đổi sau:

- Nếu trong mô hình thuận $\hat{P}$ khâu vi phân theo thời gian (dy/dt = x) được thay bởi khâu vi phân rời rạc [y(k+1) - y(k)]/Tsamp = x(k). Trong đó, Tsamp là thời gian lấy mẫu tín hiệu được chọn. Khi đó:

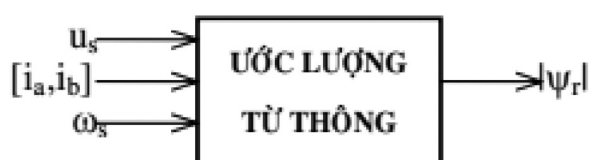
$$y(k+1) = y(k) + T_{s\text{amp}} x(k)$$

Thì trong mô hình ngược $\hat{P}^{-1}$ phải tính giá trị của hàm ngược của phương trình (dy/dt = x) là phương trình x(k) = [y(k+1) - y(k)]/Tsamp mâu thuẫn với nguyên lý nhân quả. Song vì các đại lượng của động cơ thay đổi rất chậm so với chu kỳ lấy mẫu (đặc biệt hệ tọa độ từ thông rotor) nên có thể thay x(k) bằng giá trị của chu kỳ lấy mẫu ngay trước đó.

$$\text{hay: } X(k) = [y(k+1) - y(k)]/T_{s\text{amp}}$$

* Ước lượng từ thông: Từ thông rotor không đo

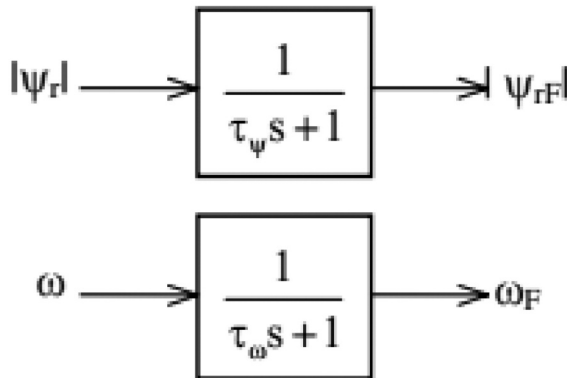
Hình 5: Bộ ước lượng từ thông rotor



trực tiếp được mà chỉ có thể ước lượng thông qua các thành phần của dòng điện i_a , i_b , i_c đo được, tốc độ từ tính được và điện áp u_s cung cấp cho động cơ. (Hình 5)

* Bộ lọc IMC (Internal Model Control): (Hình 6)

Hình 6: Bộ lọc IMC



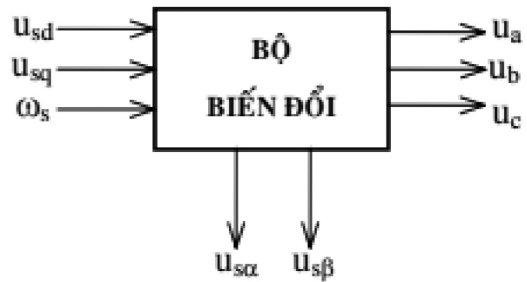
Bộ lọc IMC là bộ lọc thông thấp (bậc):

$$1/(T_\psi s + 1) \text{ và } 1/(T_\omega s + 1)$$

* Bộ biến đổi: là bộ chuyển đổi hệ trục điện áp từ u_{sd} , u_{sq} (trong hệ tọa độ từ thông rotor) và ω_s sang điện áp $u_{s\alpha}$ và $u_{s\beta}$ (trong hệ tọa độ stator đứng

yên), sau đó biến đổi sang các thành phần của điện áp 3 pha u_a , u_b , u_c cung cấp trực tiếp cho động cơ. (Hình 7)

Hình 7: Bộ biến đổi điện áp



5. Kết luận

Hệ thống điều khiển động cơ không đồng bộ 3 pha bằng phương pháp mô hình nội. Hệ thống ổn định và bền vững, sai số xác lập tương đối nhỏ. Thời gian đáp ứng tương đối nhanh, chất lượng đáp ứng danh định tốt. Hệ thống bền vững đối với sai lệch hệ thông số của mô hình so với đối tượng cần điều khiển. Đáp ứng của hệ thống không bị ảnh hưởng đáng kể bởi sự thay đổi của moment tải và nhiễu tác động ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Andrzej M.Trzynadlowski (1994). *The Field Orientation Principle In Control Of Induction Motors*. Russia: Kluwer Academic Publishers.
2. E. Zafiriou & M.Morari (1987). Internal Model Control: Robust Digital Controller Synthesis For Multivariable Open-Loop Stable For Unstable Systems. [Online] Available at https://drum.lib.umd.edu/bitstream/handle/1903/4654/TR_87-146.pdf?sequence=1&isAllowed=y
3. A. Benchaib, A. Racchid, E. Audrezet, And M. Tadjine (1999). Real- Time-Sliding-Mode Observer And Control Of An Induction Motor. *Ieee Trans. Ind. Electron.*, 46, 128-138.
4. H.J. Shieh & K.K. Sh Y (1999). Nonlinear Sliding Mode Torque Control With Adaptive Backstepping Approach For Induction Motor Drive. *IEEE Transactions on Industrial Electronics (IEEE)*, 46(2), 380-389.
5. C. Cecati, And N. Rotondale (1999). Torque And Speed Regulation Of Induction Motors Using The Passivity Theory Approach. *Ieee Trans. Ind. Electron*, 46, 119-127.
6. P. Marino, M.Milano, And F. Vasca (1999). Linear Quadratic State Feedback And Robust Neural Network Estimator For Field-Oriented-Controlled Induction Motors. *Ieee Trans. Ind. Electron*, 46, 380-389.

Ngày nhận bài: 11/2/2023

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 11/3/2023

Ngày chấp nhận đăng bài: 27/3/2023

Thông tin tác giả:

1. NGUYỄN HOÀNG VŨ

Giảng viên, Bộ môn Điện - Điện tử

Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh

2. THẠCH NGỌC PHÚC

Giảng viên, Bộ môn Cơ khí Động lực

Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh

USING THE INTERNAL MODEL CONTROL TO DEVELOP THE SPEED CONTROL SYSTEM OF THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTORS

● NGUYEN HOANG VU¹

● THACH NGOC PHUC²

¹Lecturer, Department of Electrical and Electronic engineering
Faculty of Engineering and Technology, Tra Vinh University

²Lecturer, Department of Automotive Engineering
Faculty of Engineering and Technology, Tra Vinh University

ABSTRACT:

This study presents the speed control system of three-phase asynchronous motors using the internal model method (Internal Model Control-IMC). This system is based on the method to control the internal model for linear objects which was developed by M.Morari & E.Zafiriou in 1987. This method has a simple algorithm and it can be desinged easily. This study develops a speed control system to control the three-phase asynchronous motor which is a nonlinear object. This study aims to build a speed control system which well control the motor speed by using the internal model control. This study is expected to provide useful information to develop models for high-quality engine control systems. At the same time, it is also the basis for manufacturing motor speed controllers (inverters) for precision electric drive systems.

Keywords: asynchronous motor, internal model, control method.