

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THAM SỐ ĐỘNG CƠ ĐẾN ĐẶC TÍNH BÙ TRONG PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN BÙ ĐẶC TÍNH TĨNH ĐỘNG CƠ PMSM CÔNG SUẤT NHỎ

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF MOTOR PARAMETERS ON COMPENSATION CHARACTERISTICS IN THE STATIC CHARACTERISTIC COMPENSATION CONTROL METHOD OF SMALL CAPACITY PMSM MOTORS

Vũ Hữu Thích^{1,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huih5804.2024.198>

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu sự ảnh hưởng của tham số nguồn cấp cũng như tham số động cơ đến đặc tính bù trong phương pháp điều khiển bù các đặc tính tĩnh động cơ đồng bộ kích thích vĩnh cửu. Kết quả nghiên cứu được đánh giá dựa trên kết quả mô phỏng bằng Matlab, sẽ giúp cho người thiết kế hệ truyền động loại động cơ này lường trước được các yếu tố sẽ ảnh hưởng đến chất lượng hệ thống, từ đó đưa ra các giải pháp khắc phục.

Từ khóa: Điều khiển động cơ PMSM, điều khiển bù các đặc tính tĩnh.

ABSTRACT

This article studies the influence of power supply parameters as well as motor parameters on compensation characteristics in the compensation control method of static characteristics of permanently excited synchronous motors. The research results are evaluated based on simulation results using Matlab, which will help designers of this type of engine drive system anticipate factors that will affect system quality, and thereby make recommendations remedial solutions.

Keywords: PMSM motor control, static characteristics compensation.

¹Trung tâm Việt Nhật, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: thichvh@hauai.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/3/2024

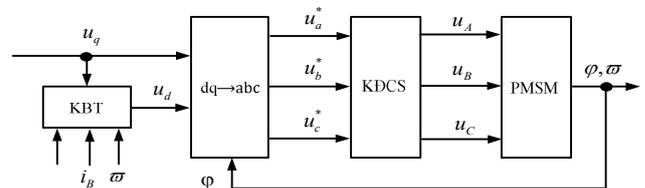
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/4/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2024

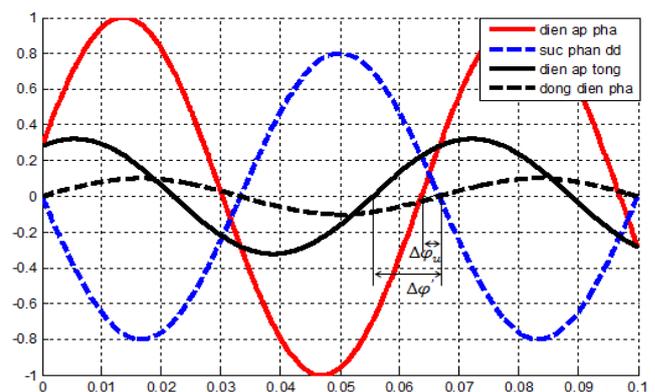
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Do có nhiều ưu điểm nổi trội, động cơ đồng bộ kích thích vĩnh cửu (PMSM) là loại máy điện có triển vọng ở dải công suất nhỏ. Nguyên tắc điều khiển loại động cơ này được phát triển cùng với sự ra đời và phát triển của các thiết bị kỹ thuật: cảm biến vị trí góc, cảm biến tốc độ, thiết bị biến đổi công suất, các bộ vi điều khiển [3, 4]. Trong khoảng vài chục năm trở lại đây, việc thực hiện điều khiển véc tơ (ĐKVT) đầy đủ động cơ PMSM ở hệ tọa độ dq đã trở thành phương pháp cơ bản và được trình bày tại [1]. Phương pháp ĐKVT rút gọn - còn gọi là điều khiển bù các đặc tính tĩnh (ĐKBT) xuất hiện và cũng tỏ ra rất hiệu quả với động cơ PMSM công suất nhỏ.

ĐKBT rất thuận lợi khi hằng số thời gian điện từ của động cơ (đặc trưng cho sự lệch pha giữa dòng điện và điện áp động cơ) và hằng số thời gian của các thiết bị điện tử (đặc trưng cho quán tính của khâu khuếch đại - biến đổi) có giá trị nhỏ (hình 1). Phương pháp này đã được trình bày khá chi tiết tại [2]. Tuy nhiên, cho đến thời điểm hiện nay, việc đánh giá ảnh hưởng của các tham số động cơ đến đặc tính bù còn đang bị bỏ ngỏ. Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng một trong các thuật toán bù đã được tổng hợp tại [2, 5-7] để đánh giá sự ảnh hưởng nói trên.



Hình 1. Nguyên lý ĐKVT rút gọn (KBT - khối bù tĩnh, KDCS - khuếch đại công suất)



Hình 2. Điện áp và dòng điện trong chế độ điều khiển bù [2]

Trong phương pháp ĐKVT đầy đủ động cơ xoay chiều nói chung, một trong những điều kiện cần thiết để điều khiển trơn momen là phải điều khiển cho dòng $i_d = 0$ ở mọi thời điểm. Nếu vấn đề này không được giải quyết triệt để sẽ làm ảnh hưởng đến momen của động cơ và vì thế làm tăng tính phi tuyến cho các đặc tính tĩnh của động cơ, gây ảnh hưởng

xấu đến chất lượng của cả hệ thống truyền động. Phương pháp ĐKBĐT có thể giải quyết được vấn đề nêu trên [2]. Cũng theo [2], đặc tính góc của PMSM có dạng hình sin, momen đạt cực đại khi vector từ thông stato và vector từ thông rotor vuông góc với nhau. Tuy nhiên, vì có sự lệch pha tương đối giữa dòng điện và điện áp đặt vào động cơ nên momen sẽ không đạt được giá trị cực đại. Để giải quyết vấn đề này, phương pháp ĐKBĐT sẽ làm cho dòng điện ngược pha với sức điện động phản kháng (hình 2).

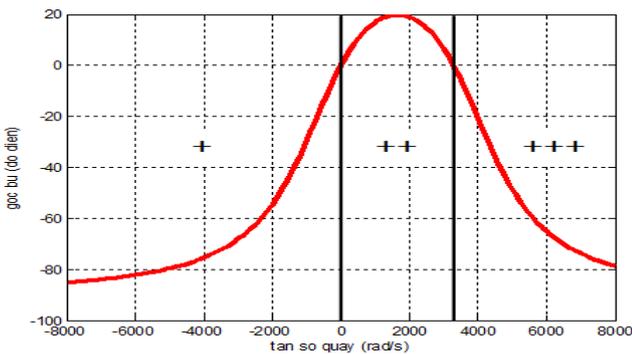
2. MỘT SỐ THUẬT TOÁN BÙ

Ở [5, 6] có đưa ra thuật toán bù như sau:

$$u_d = \omega T_\phi (C_e \omega - u_q) \tag{1}$$

Theo đó, nếu điều khiển u_d theo (1) thì i_d sẽ bằng 0 trong toàn dải điều chỉnh, momen động cơ sẽ có giá trị lớn nhất và do không còn chịu ảnh hưởng của thành phần i_d nên các đặc tính tĩnh của động cơ sẽ được cải thiện đáng kể. Cấu trúc hệ thống có thể sẽ giản đơn hơn vì không cần tới cả bộ điều chỉnh dòng điện R_{id} và R_{iq} , điều này là rất phù hợp với các hệ thống công suất nhỏ.

Mối quan hệ $\Delta\phi_u = F(\omega, u_q = \text{const})$ giữa góc bù và tần số quay theo (1) được thể hiện trong hình 3.



Hình 3. Góc bù ở các chế độ làm việc khác nhau của động cơ.

(Chế độ động cơ (++) tương ứng với góc bù dương, chế độ máy phát (+) tương ứng với góc bù âm, chế độ hãm (+++) góc bù tiến đến -90°)

Nghiên cứu [7] đưa ra ra thuật toán xác định giá trị của điện áp bù u_d như sau:

1. Với động cơ có công suất nhỏ, hằng số thời gian điện từ $T_\phi \ll T_y$ (T_y là hằng số thời gian của các thiết bị điện tử trong động cơ). Trong trường hợp này, nếu bỏ qua T_ϕ , thuật toán bù đưa ra ở dạng:

$$u_d = -T_y p_n u_q \omega \tag{2}$$

2. Với động cơ có công suất lớn thì ngược lại $T_\phi \gg T_y$ nghĩa là, thuật toán đưa ra ở dạng:

$$u_d = -(k_y u_q - C_e \omega) / k_y \tag{3}$$

Trong các biểu thức trên, p_n là số đôi cực của động cơ, $\omega = \omega / p_n$ là tốc độ quay của động cơ, k_y là hệ số khuếch đại của bộ biến đổi công suất.

Tại [7] cũng nêu ra một thuật toán bù khác như sau:

$$\begin{cases} \Delta\phi_u = \arctg\left(\frac{u_d}{\sqrt{u_m^2 - u_d^2}}\right) \\ u_{d1,2} = \left(-\frac{C_e}{T_\phi} \pm \sqrt{\frac{u_m^2}{\omega^2 T_\phi^2} + u_m^2 - \omega^2 C_e^2}\right) / \left(1 + \frac{1}{\omega^2 T_\phi^2}\right) \end{cases} \tag{4}$$

Về mặt triển khai thực hiện, thuật toán (4) mà [7] nêu ra là tương đối phức tạp, đòi hỏi vi điều khiển phải có tốc độ tính toán đủ lớn vì phải lựa chọn giá trị điện áp bù theo từng trường hợp. Hơn nữa, để triển khai thuật toán phải sử dụng đến cảm biến để đo điện áp nguồn cấp, vì vậy sẽ tăng giá thành và kích thước lắp đặt cho hệ thống. Trong các thuật toán bù trên: u_q là điện áp tại đầu vào điều khiển (đầu ra của bộ điều chỉnh tốc độ). $\omega = p_n \pi$ là tần số quay của động cơ, C_e là hệ số sức phản điện động, u_m là điện áp nguồn cấp

3. PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ ĐẾN ĐẶC TÍNH BÙ

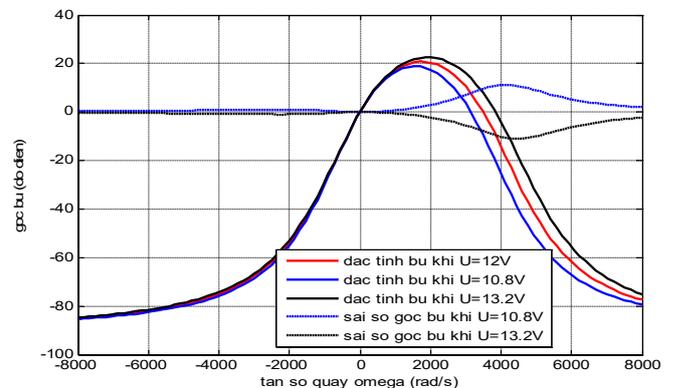
Qua phân tích các thuật toán bù ở trên, trong nghiên cứu này, tác giả lựa chọn thuật toán đã được đăng tải ở [5, 6] và sử dụng phần mềm Matlab để phân tích đánh giá ảnh hưởng của tham số nguồn cũng như các tham số động cơ đến đặc tính bù, từ đó đưa ra các khuyến nghị cần thiết khi xây dựng hệ thống.

Các tham số động cơ được sử dụng để mô phỏng: $U_{dm} = 12V$; Điện cảm pha stato $L = 0,8mH$; Điện trở pha Stato $R = 5\Omega$ (ở 20°C); hệ số sức phản điện động (ở chế độ danh định) $C_e = 0,12$.

3.1. Phân tích ảnh hưởng của điện áp nguồn

Trên hình 4 đưa ra ảnh hưởng của biên độ điện áp pha tới đặc tính bù. Khi thay đổi điện áp nguồn nuôi $\pm 10\%$ so với điện áp định mức của động cơ, tốc độ động không tải của động cơ sẽ thay đổi theo. Ở ngoài vùng tốc độ thấp, góc bù sẽ thay đổi tương khoảng 10%, nghĩa là sai số bù khoảng 10%.

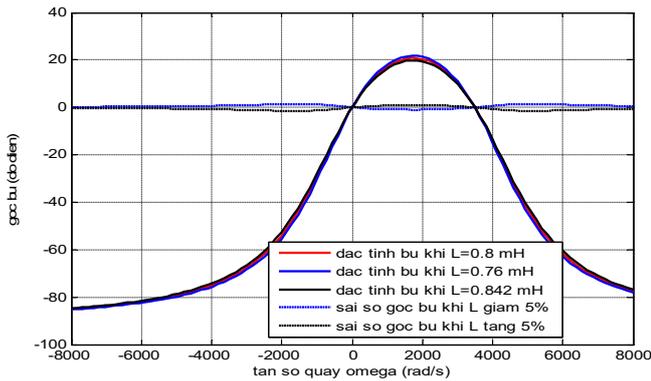
Qua kết quả trên, nghiên cứu này đưa ra gợi ý nên sử dụng nguồn một chiều ổn định để cấp cho bộ khuếch đại công suất.



Hình 4. Đặc tính bù khi điện áp nguồn của động cơ $U = 10V \pm 10\%$

3.2. Phân tích ảnh hưởng của điện cảm pha stato

Hình 5 đưa ra đặc tính bù khi giá trị điện cảm thay đổi $\pm 5\%$ so với giá trị định mức.



Hình 5. Đặc tính bù khi điện cảm của động cơ $L = 0,8\text{mH} \pm 10\%$

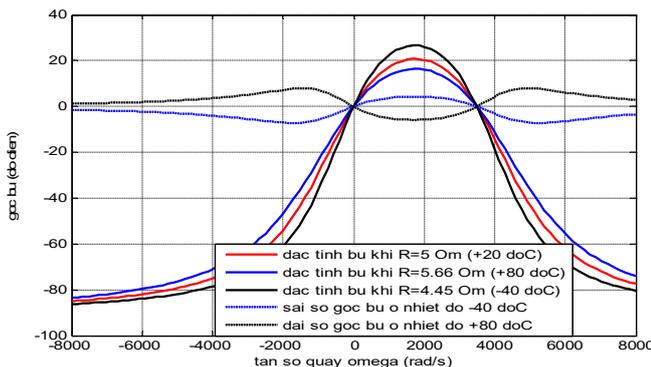
Từ kết quả trên cho ta nhận xét: sai lệch của điện cảm cuộn dây động cơ có ảnh hưởng không nhiều tới đặc tính bù. Thực tế cho thấy, ở các điều kiện sản xuất động cơ hàng loạt thì điện cảm của động cơ là thông số khá ổn định (lệch nhau không quá 2% đến 4%) [7]. Vì vậy không cần quan tâm nhiều tới sự biến đổi của giá trị điện cảm khi thực hiện ĐKBT.

3.3. Phân tích ảnh hưởng của điện trở pha stato

Như đã biết: $R = R_{20}(1 + \alpha\Delta t)$, trong đó: R_{20} là điện trở của cuộn dây ở 20°C , α là hệ số nhiệt điện trở (với đồng $\alpha = 0,004$ $^\circ\text{C}^{-1}$, Δt là độ quá nhiệt/làm mát của cuộn dây. Như vậy, đặc tính bù sẽ được biểu diễn bởi:

$$\begin{cases} u_d = \omega \frac{L}{R_{20}(1 + \alpha\Delta t)} (C_e \cdot \omega - u_q) \\ \Delta\varphi = \arctg(U_d/U_q) \end{cases} \quad (5)$$

Hình 6 chỉ ra sự phụ thuộc của đặc tính bù vào các giá trị khác nhau của điện trở pha. Khi hệ thống làm việc ở dải nhiệt độ rộng thì cần thiết phải có biện pháp khắc phục vấn đề này, chẳng hạn như làm mát động cơ hoặc biện pháp kỹ thuật nào đó để bù tham số điện trở.

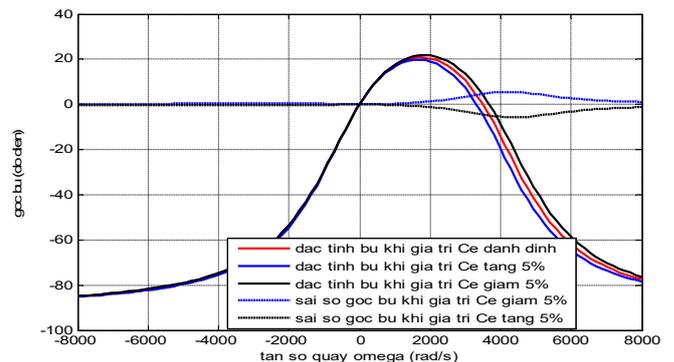


Hình 6. Đặc tính bù ở các giá trị thay đổi của điện trở pha động cơ ở dải nhiệt độ từ -40°C đến $+80^\circ\text{C}$

3.4. Phân tích ảnh hưởng của hệ số sức điện động phản kháng

Hình 7 chỉ ra sự phụ thuộc của đặc tính bù vào các giá trị khác nhau của hệ số sức phản điện động của động cơ. Tương tự như trường hợp ảnh hưởng của điện cảm, sai lệch của hệ số sức điện động phản kháng động cơ có ảnh hưởng không nhiều tới sự chính xác của đặc tính bù. Thông thường, hệ số

sức điện động phản kháng không vượt quá 2 đến 5% khi sản xuất động cơ hàng loạt [7]



Hình 7. Đặc tính bù ở các giá trị khác nhau của hệ số sức phản điện động của động cơ

4. KẾT LUẬN

Bằng việc sử dụng một thuật toán bù đã được công bố, thông qua mô phỏng kiểm chứng trên phần mềm Matlab, nghiên cứu đã chỉ ra sự ảnh hưởng của tham số nguồn cấp cũng như ảnh hưởng của các tham số động cơ đến đặc tính bù. Dựa theo kết quả này, nghiên cứu đã đưa ra một số vấn đề cần lưu ý khi thiết kế hệ thống như: sử dụng nguồn một chiều ổn định để cấp cho bộ khuếch đại công suất; không cần quan tâm nhiều tới sự biến đổi của giá trị điện cảm; Khi hệ thống làm việc ở dải nhiệt độ rộng thì cần thiết phải có biện pháp khắc phục sự biến đổi của điện trở pha và cuối cùng là sai lệch của hệ số sức điện động phản kháng động cơ có ảnh hưởng không nhiều tới sự chính xác của đặc tính bù.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyen Phung Quang, *Dieu kien tu dong truyen dong dien xoay chieu ba pha*. Vietnam Education Publishing House, Hanoi, 2015.
- [2]. Vu Huu Thich, Pham Tuan Thanh, "Improving the quality of the drive system of a small capacity permanently excited synchronous motor using a control algorithm that compensates for static characteristics," *Le Quy Don Technical University Journal of Science & Technique*, 170, 2015.
- [3]. Vinogradov A. B., *Vector control of AC electric drives*. Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin, Ivanovo, 298p, 2008.
- [4]. Goryachev O. V., *Digital electric AC servo drives with asynchronous three-phase motors for guidance and stabilization systems*. Publishing house of Tula State University, 211p, 2010.
- [5]. Mikerov A. G., *On-board multifunctional low-power electric drives with non-contact synchronous electric machines of built-in design (theory, development, research, implementation)*. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, St. Petersburg: 1991.
- [6]. Mikerov L. G., *Low power controllable brushless motors (tutorial)*. SPBGETU, St. Petersburg, 1997.
- [7]. Mikerov A. G., Dzhankhotov V. V., *Small electrical machines and drives (textbook in English)*. SPBGETU, St. Petersburg, 2002.

AUTHOR INFORMATION

Vu Huu Thich

Vietnam - Japan Center, Hanoi University of Industry, Vietnam