

NGHIÊN CỨU HỆ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT CHO ĐỘNG CƠ TỰ NÂNG KHÔNG LỖI THÉP

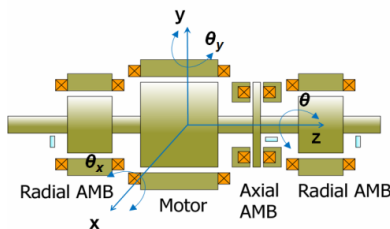
Nguyễn Xuân Biên

Trường Đại học Thủy lợi, email: xuanbien.ng@tlu.edu.vn

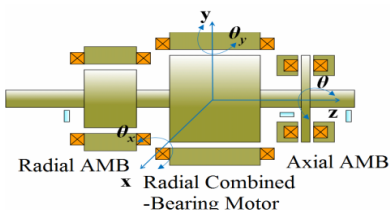
1. GIỚI THIỆU CHUNG

Các động cơ ổ từ truyền thống Hình 1 thường bao gồm một động cơ tạo chuyển động quay, hai ổ từ ngang trục hai bên để giữ ổn định rotor theo hướng ngang trục và một ổ từ dọc trục để giữ ổn định rotor theo hướng dọc trục. Rõ ràng với cấu trúc này thì động cơ ổ từ có kích thước lớn và sử dụng quá nhiều máy điện sẽ dẫn tới tổn hao nhiều và khó ứng dụng được trong các thiết bị có không gian giới hạn [1]-[3].

Gần đây, nhiều nghiên cứu đã tập trung vào việc giảm kích thước và giảm tổn hao cho các động cơ ổ từ và một trong những giải pháp nhận được nhiều sự quan tâm là tích hợp chức năng ổ từ ngang trục vào động cơ Hình 2 [4]-[5]. Mặc dù ở dải công suất lớn phương pháp tích hợp này đã cho thấy nhiều ưu việt, tuy nhiên ở dải công suất rất nhỏ việc tiếp tục yêu cầu tăng mật độ công suất và giảm tổn hao vẫn còn gặp khó khăn do động cơ vẫn phải sử dụng lõi thép.



Hình 1. Cấu trúc động cơ ổ từ truyền thống



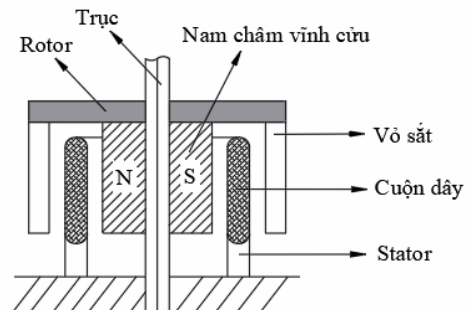
Hình 2. Cấu trúc động cơ tự nâng tích hợp ổ từ ngang trục

Để khắc phục nhược điểm này, gần đây một loại động cơ mới không sử dụng lõi thép nhưng vẫn đảm bảo khả năng chuyển động quay và dịch chuyển ngang trục đã được giới thiệu [6]-[7]. Do đó động cơ này được gọi là động cơ tự nâng không lõi thép.

Bài báo này trình bày về cấu tạo, nguyên lý hoạt động và phương pháp điều khiển trượt cho động cơ tự nâng không lõi thép. Đầu tiên, mô men quay và lực nâng ngang trục được tính toán, sau đó phương pháp thiết kế hệ điều khiển trượt cho tốc độ và vị trí ngang trục của động cơ được trình bày. Để minh chứng cho các đề xuất trên, mô hình mô phỏng cho hệ điều khiển động cơ tự nâng không dùng lõi thép được tiến hành trên phần mềm Matlab-Simulink.

2. XÂY DỰNG HỆ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT CHO ĐỘNG CƠ TỰ NÂNG KHÔNG LỖI THÉP

Động cơ tự nâng không lõi thép được đề xuất có cấu tạo như trong Hình 3 [7].



Hình 3. Cấu trúc động cơ tự nâng không lõi thép

Rotor bao gồm một nam châm vĩnh cửu hai cực hình trụ và một vỏ sắt bao quanh được gắn với trục quay nhờ đế nhôm. Khoảng cách giữa vỏ sắt và nam châm là không đổi để đảm bảo

lực hút không ổn định của nam châm bằng không. Ngoài ra vỏ sắt còn có tác dụng lớn trong việc định hướng khép mạch từ giúp giảm lượng phân tán từ thông ra bên ngoài, điều này có vai trò rất lớn trong việc giảm tổn hao năng lượng. Stator của động cơ bao gồm một cuộn dây sáu pha và không có lõi thép, cuộn dây được đặt giữa nam châm và vỏ sắt của rotor.

Về nguyên lý hoạt động, động cơ tự nâng không lõi thép hoạt động theo nguyên lý điện từ trường (lực Lorentz).

Theo tài liệu số [7], ta thấy rằng dòng điện cấp vào stator động cơ bằng tổng của thành phần dòng điện tạo lực nâng và thành phần dòng điện tạo momen:

$$\begin{cases} i_{a,d} = i_d \cos(\psi) + i_q \sin(\psi) \pm A_m \cos(\phi_m) \\ i_{b,e} = i_d \cos(\psi - 2\pi/3) + i_q \sin(\psi - 2\pi/3) \\ \quad \pm A_m \cos(\phi_m + \pi/3) \\ i_{c,f} = i_d \cos(\psi - 4\pi/3) + i_q \sin(\psi - 4\pi/3) \\ \quad \pm A_m \cos(\phi_m + 2\pi/3) \end{cases} \quad (1)$$

Lúc này lực nâng và momen quay của động cơ được xác định như sau:

$$\begin{cases} \tau = k_{nm} k_m A_m \sin(\phi_m - \psi + \theta_0 + \pi/4) \\ f_x = -k_{nb} k_b \{ i_d \sin(2\theta_0) - i_q \cos(2\theta_0) \} \\ f_y = k_{nb} k_b \{ i_d \cos(2\theta_0) + i_q \sin(2\theta_0) \} \end{cases} \quad (2)$$

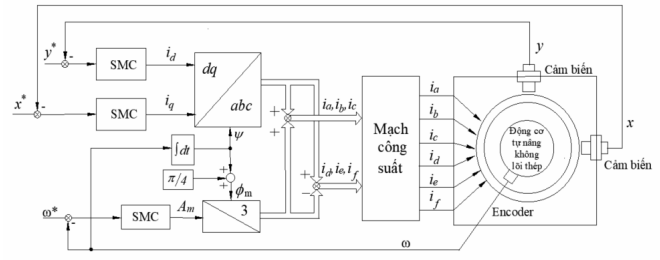
Giả sử $\theta_0 = 0$ và $\phi_m = \psi + \frac{\pi}{4}$ hay

$\phi_m - \psi + \theta_0 + \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{2}$, lúc này công thức (2) trở

thành:

$$\begin{cases} \tau = k_{nm} k_m A_m \\ F_x = k_{nb} k_b i_q \\ F_y = k_{nb} k_b i_d \end{cases} \quad (3)$$

Để thấy lúc này momen quay của động cơ chỉ phụ thuộc vào biên độ dòng điện A_m , lực nâng phụ thuộc vào dòng điện i_d và i_q . Do đó momen quay được điều khiển bởi dòng điện A_m và lực nâng được điều khiển bởi dòng điện i_d và i_q . Mặt khác hai bộ điều khiển hoàn toàn độc lập, nên ta có sơ đồ hệ thống điều khiển trượt như Hình 4.



Hình 4. Cấu trúc điều khiển động cơ tự nâng không lõi thép sử dụng bộ điều khiển trượt

Từ cấu trúc điều khiển, tiến hành tính toán, thiết kế bộ điều khiển trượt cho động cơ tự nâng không lõi thép. Theo công thức số (3) đặt $K_T = k_{nm} k_m$ và $K_{fx} = K_{fy} = k_{nb} k_b$ thu được:

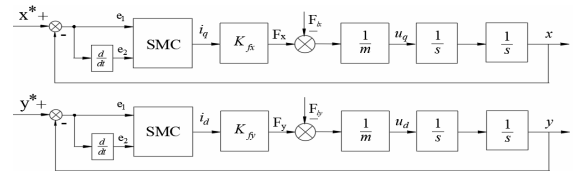
$$\begin{cases} \tau = K_T A_m \\ F_x = K_{fx} i_q \\ F_y = K_{fy} i_d \end{cases} \quad (4)$$

Công thức động lực học:

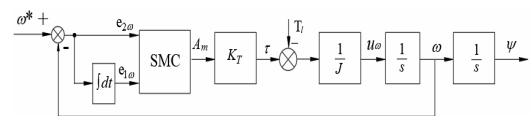
$$\tau - T_l = J \frac{d\omega}{dt} \quad (5)$$

$$F - F_l = Ma \quad (6)$$

Từ (4), (5), (6) xây dựng hàm truyền đạt các bộ điều khiển như trong Hình 5 và 6.



Hình 5. Mô hình hàm truyền bộ điều khiển vị trí



Hình 6. Mô hình hàm truyền bộ điều khiển tốc độ

Từ mô hình kết hợp cách thức thiết kế bộ điều khiển trượt (SMC) sẽ thu được các tín hiệu điều khiển lực nâng như sau:

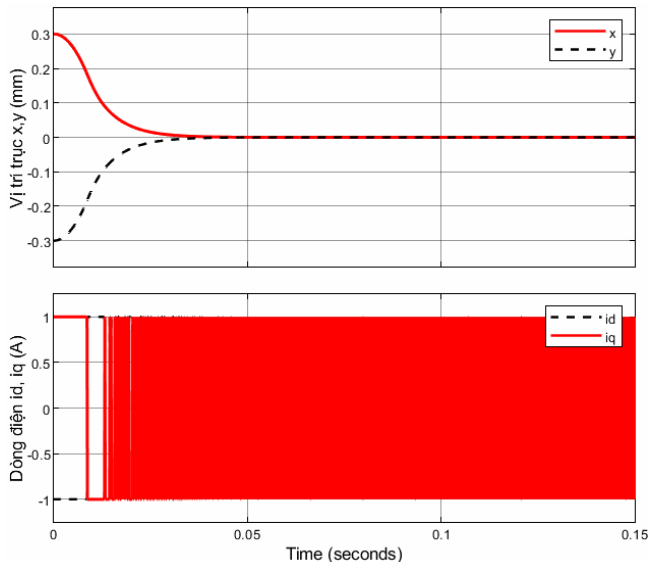
$$i_d = i_q = \frac{u}{K_f} = \frac{a_0 \frac{de_l}{dt} + k_0 \operatorname{sgn}(s_l(e))}{K_f} \quad \forall a_0, k_0 > 0 \quad (7)$$

Tín hiệu điều khiển tốc độ quay:

$$A_m = \frac{u}{K_{T\omega}} = \frac{b_0 \frac{de_{l\omega}}{dt} + C \operatorname{sgn}(s_\omega(e))}{K_{T\omega}} \quad \forall b_0, C > 0 \quad (8)$$

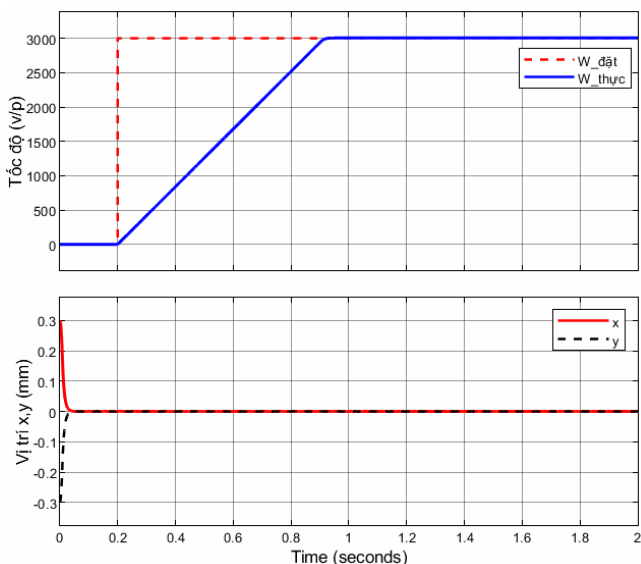
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Hình 7 mô tả bộ điều khiển vị trí với giá trị đặt ban đầu trục x là 0,3 mm và trục y là -0,3 mm, bộ điều khiển hoạt động và đưa rotor về vị trí cân bằng chỉ sau khoảng 0,04 s.



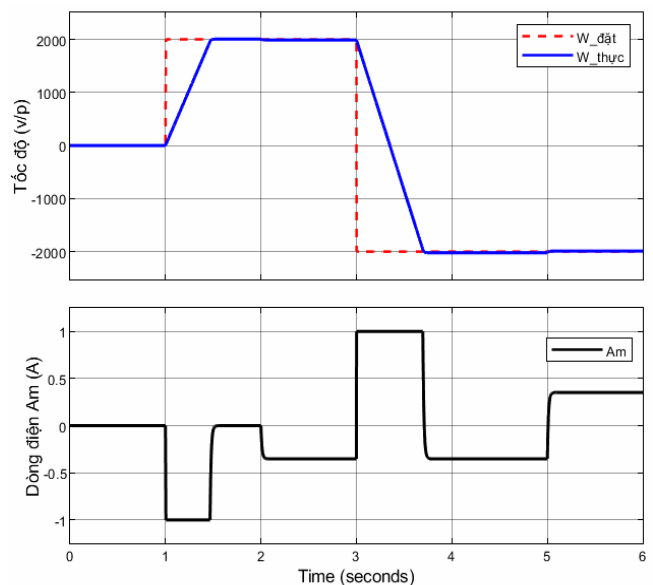
Hình 7. Vị trí trục x,y và dòng điện i_d, i_q

Hình 8 diễn tả sự hoạt động của 2 bộ điều khiển tốc độ và vị trí. Khi vị trí rotor trở về gốc tọa độ, tiến hành tăng tốc, ta thấy vị trí rotor không thay đổi, chứng tỏ 2 bộ điều khiển hoạt động độc lập với nhau.



Hình 8. Tốc độ và vị trí hoạt động độc lập

Cuối cùng hình 9 mô tả sự thay đổi tốc độ và dòng điện A_m tương ứng, giới hạn dòng điện là 1A. Để thấy tốc độ tăng từ 0 đến 2000 v/p chỉ sau 0,4 s và đảo chiều chỉ sau khoảng 0,6 s.



Hình 9. Tốc độ và biên độ dòng điện A_m

4. KẾT LUẬN

Động cơ tự nâng không lõi thép là một bước phát triển mới cho ngành công nghiệp sản xuất các động cơ chuyên dụng có yêu cầu hiệu suất và mật độ công suất cao. Bài báo này đã trình bày được cấu tạo nguyên lý làm việc, cấu trúc điều khiển và thiết kế bộ điều khiển trượt cho động cơ không lõi thép. Kết quả mô phỏng cho thấy cả tốc độ quay và vị trí của rotor đều được điều khiển ổn định.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1 Y. Okada, K. Dejima and T. Ohishi (1995) *Analysis and comparison of PM synchronous motor and induction motor type magnetic bearing*. IEEE Trans. Industry Applications, vol. 32, pp. 1047-1053.
- 2 Z. Ren and L. S. Stephens (2005) *Closed-loop performance of a six degree-offreedom precision magnetic actuator*. IEEE/ASME Trans. Mechatronics, vol. 10, no. 6, pp. 666-674
- 3 T. Schneider and A. Binder (2007) *Design and evaluation of a 60 000 rpm permanent magnet bearingless high speed motor*. Proc. Int. Conf. Power Electron. Drive Syst., pp. 1-8