

√ MÔ HÌNH HÓA VÀ ĐỀ XUẤT CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ TUYẾN TÍNH KÉP

SIMULATE AND SUGGEST CONTROL STRUCTURE FOR DOUBLE SIDE LINEAR MOTOR

TS. **Khổng Cao Phong**

Bộ môn Tự động hóa Xi nghiệp Mỏ và Dầu khí, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

TÓM TẮT

Động cơ tuyến tính kép được nghiên cứu ứng dụng trong các dây chuyền vận chuyển và gia công vật liệu. Để giảm độ phức tạp của kết cấu cơ khí hệ thống thực hiện việc điều khiển đồng thời cả lực tiếp tuyến và lực hút ở cả hai phía của động cơ để điều chỉnh hướng và vị trí cho phần di chuyển. Nội dung bài báo tiến hành phân tích, tính toán xây dựng bộ điều chỉnh tổng hợp lực tác động vào phần di chuyển của động cơ và tiến hành mô phỏng cho khả năng điều khiển cho hệ thống. Kết quả mô phỏng cho thấy khả năng ứng dụng của bộ điều chỉnh cho hệ thống.

Từ khóa: Động cơ tuyến tính, cấu trúc điều khiển, dây chuyền gia công.

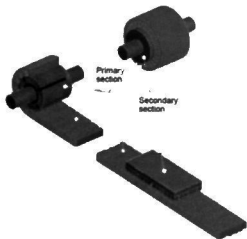
ABSTRACT

Double side linear motor has been studied to apply in material process and handling in recently. In order to reduce the mechanical complication, the normal forces and lateral forces are used to guide the direction and position for the vehicle. The paper analysis total forces effecting to the system and suggest a control structure for the double side linear motor. The whole system with the control structure is simulated by Matlab simulink. The results show the ability of the suggested control structure.

Keywords: Linear motor, control structure, material handling and processing.

1. MỞ ĐẦU

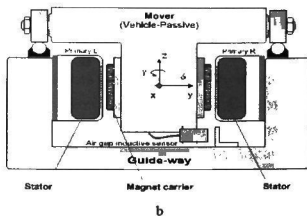
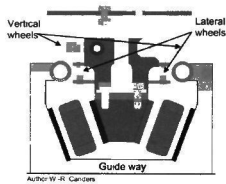
Động cơ tuyến tính, hiểu một cách đơn giản, là một động cơ điện có stator và rotor được trải thẳng (hình 1). Trái ngược với động cơ quay thông thường, động cơ tuyến tính tạo ra lực đẩy dọc theo chiều dài của động cơ. Điều đó có nghĩa là không có mô-men hay chuyển động quay được tạo ra bởi sự tương tác giữa từ trường và dòng điện ở động cơ tuyến tính. Với đặc điểm như vậy, động cơ tuyến tính có một số ưu điểm so với động cơ quay trong việc tạo ra chuyển động thẳng. Động cơ tuyến tính khắc phục được các nhược điểm của hệ thống truyền động thẳng truyền thống (động cơ quay – trục vít-me bi) ở những điểm sau [1], [2]:



Hình 1. Hình ảnh tương tượng của việc tạo ra động cơ tuyến tính [3]

- Động cơ có kết cấu đơn giản, dễ chế tạo.
- Không cần cơ cấu cơ khí đổi từ chuyển động quay sang chuyển động tịnh tiến.
- Có độ tin cậy và chính xác cao, đơn giản và an toàn trong vận hành.
- Có khả năng chuyển động tịnh tiến với tốc độ cao.
- Thời gian đáp ứng nhanh: Tốc độ đáp ứng của thiết bị truyền động động cơ tuyến tính lớn hơn rất nhiều lần so với các bộ truyền động cơ khí
- Ít gây ồn khi làm việc, bảo dưỡng cũng dễ dàng hơn, tuổi thọ trung bình dài hơn.

Với những ưu điểm đó, động cơ tuyến tính đã được ứng dụng vào lĩnh vực vận tải hành khách như hệ thống tàu cao tốc Maglev, hệ thống tàu điện từ Linimo của Nhật Bản hay hệ thống tàu cao tốc Transrapid của Đức. Bên cạnh các ứng dụng vận tải công cộng, động cơ tuyến tính cũng được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực truyền động khác như: Ứng dụng để tạo gia tốc cho xe goòng trong các trò chơi mạo hiểm (roller coaster); Thang máy của các tòa nhà chọc trời, cho các giếng đứng có độ sâu lớn trong công nghiệp khai thác mỏ; Ứng dụng cho các thiết bị khoan bơm lỗ giếng dầu; Các cửa trượt tự động trên tàu điện, cửa buồng thang máy hay di chuyển bàn máy của các máy gia công vật liệu có yêu cầu chuyển động theo hệ trục X-Y (máy cắt laze, máy sơn, hàn tự động, máy CNC...) [4]. Một trong những nghiên cứu ứng dụng của động cơ tuyến tính được phát triển mạnh trong những năm gần đây là trong lĩnh vực vận tải và gia công vật liệu [5]÷[7].

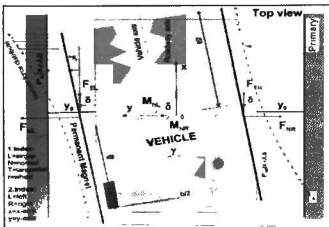


Hình 2. Động cơ tuyến tính kép

Để nâng cao lực đẩy cho phần di chuyển trong các ứng dụng vận tải, các động cơ tuyến tính kép (có hai cặp động cơ tuyến tính hai bên) như hình 2. Trong đó, ở hình 2 a, để giữ phần di chuyển cân bằng ở vị trí chính giữa của đường dẫn hệ thống cần sử dụng hệ thống gông kẹp và bánh xe dẫn hướng. Điều này gây ra lực ma sát lớn làm giảm hiệu suất của động cơ. Hệ thống trên hình 2 b, khắc phục nhược điểm này bằng cách để bộ phận di chuyển tự do trên đường dẫn. Tuy nhiên, hệ thống này đòi hỏi cấu trúc điều khiển phức tạp hơn do phải sử dụng cả lực tiếp tuyến và lực hút (vuông góc với mặt stator). Nội dung của bài báo này sẽ đưa ra đề xuất cấu trúc điều khiển cho động cơ tuyến tính kép trên hình 2 b. Kết quả mô phỏng của hệ thống cùng với bộ điều khiển trên Matlab simulink cho thấy khả năng thực hiện của cấu trúc điều khiển đề ra.

2. PHÂN TÍCH MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA HỆ THỐNG

Để thực hiện phân tích mô hình toán học của hệ thống, hình chiếu đứng của mô hình hình 2 b được thể hiện trên hình 3. Trong đó, ở mỗi cạnh của phần di chuyển (vehicle) sẽ chịu tác động của một cặp lực tiếp tuyến F_{Tx} và lực hút F_{Nx} . Các lực này phụ thuộc vào độ lệch của phần di chuyển khỏi trục giữa của đường dẫn có chứa stator (primary) δ , góc quay γ và vị trí của phần di chuyển theo đường dẫn.



Hình 3. Hình chiếu đứng của mô hình hệ thống hình 2 b

Trong [4], các lực này được phân tích toán gần đúng bằng phương pháp tuyến tính hóa (linearized). Cụ thể như các công thức (1) ÷ (5).

Lực hút giữa sơ cấp và thứ cấp của động cơ:

$$F_{NR,lm} = F_{NR}|_{\delta=0} + \frac{\partial F_{NR}}{\partial \delta}|_{\delta=0} \delta = \{K_1 + K_1 i_{al}^2 + K_2 i_{ar}^2\} \left(\frac{1}{(y_0 + d_M)^3} - \frac{2\delta}{(y_0 + d_M)^3} \right) \quad (1)$$

$$F_{NL,lm} = F_{NL}|_{\delta=0} + \frac{\partial F_{NL}}{\partial \delta}|_{\delta=0} \delta = \{K_1 + K_1 i_{al}^2 + K_2 i_{al}^2\} \left(\frac{1}{(y_0 + d_M)^3} + \frac{2\delta}{(y_0 + d_M)^3} \right) \quad (2)$$

Trong đó: $d_{LR} = y_0 + \delta$; $d_{LL} = y_0 - \delta$ là khe hở không khí ở bên trái và phải của động cơ xác định theo độ dịch của phần thứ cấp.

$F_{Nx,lin}$ là giá trị tuyến tính hóa của lực hấp dẫn bên trái (L) và phải (R);

i_{dx}, i_{qx} - Dòng điện trên hệ quy chiếu dq của cuộn dây sơ cấp trái và phải;

$i_{ax} = \sqrt{i_d^2 + i_q^2}$ Dòng điện trong cuộn dây sơ cấp trái và phải.

Lực hấp hút tổng hợp tác động lên phần thứ cấp của động cơ là hiệu số của lực hút dẫn bên trái và bên phải. Lực này, sẽ gây ra chuyển động của phần di chuyển theo phương ngang (δ).

$$F_{NL,lm} - F_{NR,lm} = C_{FN1} \delta + C_{FN2} (i_{al}^2 - i_{ar}^2) + C_{FN3} (i_{al} - i_{ar}) + C_{FN4} (i_{al}^2 + i_{ar}^2) \delta + C_{FN5} (i_{al} + i_{ar}) \delta \quad (3)$$

Trong đó:

$$C_{FN1} = \frac{4K_3}{(d_M + y_0)^3}; C_{FN2} = \frac{K_1}{(d_M + y_0)^2}; C_{FN3} = \frac{K_2}{(d_M + y_0)^2}; C_{FN4} = \frac{2K_1}{(d_M + y_0)^3}; C_{FN5} = \frac{2K_2}{(d_M + y_0)^3}$$

Lực tiếp tuyến sau khi được tính toán và tuyến tính hóa được xác định như trên (4), (5). Các lực tiếp tuyến này sẽ gây ra lực đẩy theo phương chuyển động x (tổng hợp lực) và mô-men quay (ngẫu lực) cho phần di chuyển của động cơ tuyến tính kép.

$$F_{TL,lin} = \frac{K_4}{d_M + y_0} i_{qL} + \frac{K_4}{(d_M + y_0)^2} i_{qL} \delta \quad (4)$$

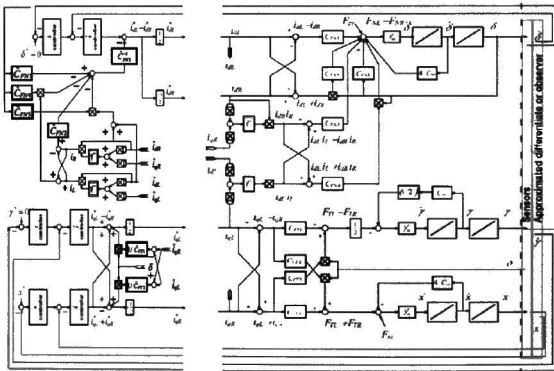
$$F_{IR,lin} = \frac{K_4}{d_M + y_0} i_{qR} - \frac{K_4}{(d_M + y_0)^2} i_{qR} \delta \quad (5)$$

K_1, K_2, K_3, K_4 trong các phương trình trên là các hằng số của động cơ.

Từ các phương trình thu được, mô hình cấu trúc hệ thống được mô tả như trên hình 4 b. Cấu trúc hệ thống bao gồm, các lực và mô-men

gây ra gia tốc chuyển động cho phần di chuyển theo phương ngang δ , gia tốc chuyển động dài x và chuyển động quay γ . Các chuyển động của hệ thống còn có sự tương tác chéo giữa các chuyển động thẳng và chuyển động quay.

Từ mô hình cấu trúc hệ thống, tác giả đã đề xuất cấu trúc điều khiển cho hệ thống như hình 4 a. Cấu trúc điều khiển được đề xuất bao gồm, ba bộ điều khiển cho phần di chuyển theo δ, γ và x. Mỗi bộ điều khiển bao gồm ba mạch vòng: Mạch vòng dòng điện; Mạch vòng vận tốc; Mạch vòng vị trí. Mạch vòng dòng điện có chức năng điều chỉnh lực đẩy theo phương ngang, chuyển động dọc trục và chuyển động quay quanh tâm của phần di chuyển. Để nâng cao chất lượng điều khiển, trong cấu trúc còn thực hiện việc khử ảnh hưởng của các tương tác chéo và tính chất phi tuyến của hệ thống bằng các biểu thức ước lượng. Các giá trị ước lượng \hat{C}_{FN} được xác định theo (3).



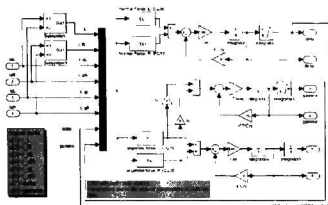
a) Cấu trúc điều khiển

b) Mô hình cấu trúc hệ thống

Hình 4. Mô hình hệ thống và cấu trúc điều khiển

3. MÔ HÌNH HÓA VÀ MÔ PHÒNG HỆ THỐNG BẰNG MATLAB SIMULINK

Từ mô hình cấu trúc hệ thống phân tích và xây dựng ở mục II, mô hình mô phỏng trên Matlab simulink được xây dựng như hình 5. Kết hợp với cấu trúc điều khiển được đề xuất, mô hình mô phỏng toàn bộ hệ thống và cấu trúc điều khiển được xây dựng trên Matlab simulink như trên hình 8.



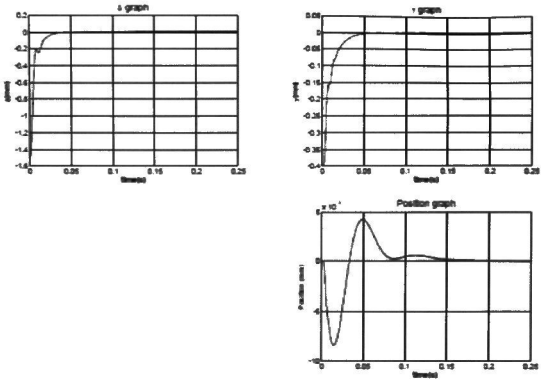
Hình 5. Mô hình hóa cấu trúc hệ thống bằng Matlab Simulink

Thực hiện mô phỏng hệ thống với các tham số cụ thể như trên Bảng 1. Kết quả mô phỏng được thể hiện trên hình 6 và hình 7. Trong đó, hệ thống được mô phỏng khởi động từ trạng thái nặng nề khi phần di chuyển bị hút sang một bên stator với $\delta = -1,6\text{mm}$; $\gamma = 0,4\text{ rad}$.

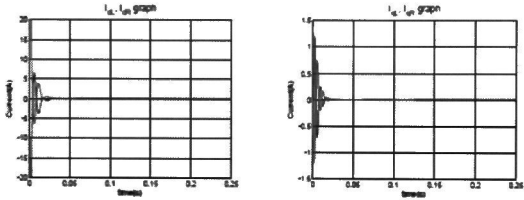
Kết quả mô phỏng cho thấy, hệ thống có khả năng điều khiển phần di chuyển về vị trí cân bằng $\delta = 0\text{mm}$, $\gamma = 0\text{rad}$ sau khoảng thời gian $0,05\text{s}$. Điều này có nghĩa là phần di chuyển song song với đường dẫn và nằm ở đúng trên trục giữa của đường dẫn. Vị trí dịch chuyển theo trục x cũng bị ảnh hưởng và trở về ổn định sau $0,15\text{s}$. Trên hình 7, biểu diễn đáp ứng về dòng điện điều khiển của hệ thống thể hiện trên hệ trục tọa độ d, q.

Bảng 1. Tham số chính của động cơ tuyến tính:

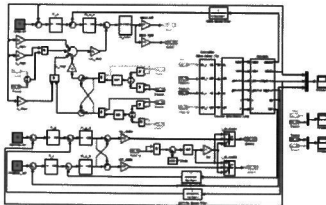
Phần sơ cấp		
Kích thước $l_p \times h_p \times w_p$		504x65x42 mm
Chiều dài cực	τ	36 mm
Bước răng	τ_z	12 mm
Chiều rộng rãnh	b_s	6 mm
Số rãnh trên một stator	N_s	42
Phần thứ cấp		
Kích thước $l_s \times h_s \times w_s$		168x60x12 mm
Kích thước nam châm $h_m \times w_m$		30x34 mm
Chiều dày nam châm	d_m	5 mm
Số nam châm trên một mặt	N_m	4
Dữ liệu chung		
Khe hở không khí khi $\delta = 0$	y_0	1.2 mm
Dòng điện định mức	I_n	2.9 A rms
Dòng điện cực đại	I_{max}	21.3 A rms
Lực đẩy định mức	F_r	210 N
Khối lượng phần di chuyển	m	5.7 Kg



Hình 6. Đáp ứng điều khiển vị trí và góc lệch (δ , γ và x) của hệ thống và cấu trúc điều khiển được đề xuất



Hình 7. Đáp ứng dòng điện d-q của động cơ tuyến tính kép



Hình 8. Mô hình mô phỏng hệ thống với cấu trúc điều khiển

4. KẾT LUẬN

Bằng việc phân tích tính toán lý thuyết, bài báo đã xây dựng được cấu trúc của hệ thống động cơ tuyến tính kép. Từ cấu trúc xây dựng được tác giả cũng đã đề xuất được cấu trúc cho hệ thống điều khiển. Dựa vào kết quả mô phỏng hệ thống với cấu trúc điều khiển trên Matlab simulink cho thấy:

+ Cấu trúc của hệ thống là một hệ điều khiển phi tuyến và đa biến;

+ Bằng biện pháp bù phi tuyến thì bộ điều khiển được đề xuất cho hệ thống có thể điều khiển và ổn định cho hệ thống.

Kết quả mô phỏng và tính toán của bài báo có thể sử dụng để thực hiện tính toán và triển khai trên hệ thống thực. ❖

Ngày nhận bài: 07/02/2016

Ngày phản biện: 17/3/2016

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Phong C. Khong: "*Magnetic guidance for linear drives*", Tuint - TU Darmstadt, Darmstadt 2011.
- [2]. Lê Văn Doanh, Đặng Chí Dũng, Trương Minh Tấn: "*Động cơ truyền thẳng, lịch sử và ứng dụng*", www.hiendaihoa.com.
- [3]. Baumüller. LSE Synchronous Linear Motors Documentation. Jul. 2002.
- [4]. Khổng Cao Phong, Nguyễn Đức Khoát: "*Phân tích xác định lực hút và lực tiếp tuyến của động cơ đồng bộ tuyến tính*", Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 04/2012.
- [5]. P. Mutschler: "*Comparison of topologies for linear drives in industrial material handling and processing applications*" 7th International Conference on Power Electronics, 2007. ICPE '07., pp. 1027-1032.
- [6]. Khong, P.C.; Leidhold, R.; Mutschler, P.: "*Active magnetic guidance for material handling systems based on linear motors*", LDIA 2009, Incheon, Korea September 2009.
- [7]. <http://www.magnemotion.com>.