

MỘT PHƯƠNG PHÁP MỚI NÂNG CAO CHẤT ĐIỀU KHIỂN CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG KHÔNG TIẾP XÚC SỬ DỤNG BỘ TREO TỪ TÍNH

Nguyễn Như Hiền, Trần Thị Thanh Nga*

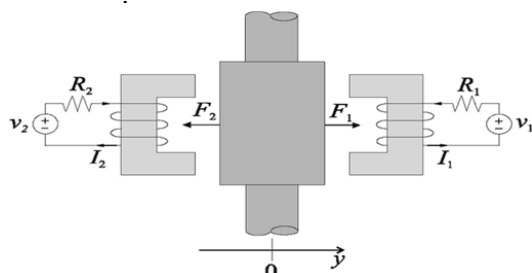
Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - Đại học Thái Nguyên

TÓM TẮT

Các hệ truyền động không tiếp xúc sử dụng bộ treo từ tính có ứng dụng quan trọng và hiệu quả trong các thiết bị máy quay với tốc độ cao, đòi hỏi độ chính xác cao, làm việc trong các môi trường không dùng được chất bôi trơn do không có sự tiếp xúc trực tiếp giữa phần chuyển động và phần tĩnh. Hiện nay các bộ điều khiển cho các hệ truyền động không tiếp xúc sử dụng bộ treo từ tính có chất lượng thấp như không thích nghi, không bền vững, tín hiệu điều khiển không bị chặn. Thực tế này là do động lực học của các hệ truyền động không tiếp xúc sử dụng bộ treo từ tính có tính phi tuyến cao, và các phương pháp thiết kế các bộ điều khiển cho các hệ phi tuyến - hệ truyền động không tiếp xúc sử dụng bộ treo từ tính chịu tác dụng của nhiễu ngoài và chứa các tham số thay đổi theo thời gian chưa được nghiên cứu và phát triển hoàn thiện. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế các bộ điều khiển chất lượng cao cho một số hệ phi tuyến bao gồm các bộ treo.

Từ khoá: Bộ treo từ tính, magnetic bearings.

GIỚI THIỆU CHUNG



Hình 1. Cấu trúc một bộ treo từ tính

Việc sử dụng ổ đỡ từ trong hệ truyền động không tiếp xúc như một bộ treo từ tính là bước tiến quan trọng của ngành cơ khí, cho phép giảm tổn hao và tăng độ chính xác (nhờ loại trừ được bào mòn do ma sát,...) tăng vận tốc quay của trục chính. Hình 1 là sơ đồ tượng trưng của một ổ từ không tiếp xúc (bộ treo từ tính). Về nguyên lý, ổ đỡ bao gồm 2 phần chính: phần chuyển động có thể là chuyển động quay hoặc tịnh tiến (rotor) và phần tĩnh (stator). Ở trên phần tĩnh có lắp đặt một số mạch từ để tạo ra lực từ tác dụng lên phần chuyển động của ổ. Các lực từ tác dụng lên phần chuyển động của ổ từ được điều khiển bởi hiệu điện thế hoặc cường độ dòng điện đặt vào các cuộn dây của mạch từ. Dưới tác dụng của lực ngoại sinh lên phần chuyển

động của hệ truyền động không tiếp xúc sử dụng bộ treo từ tính, lực từ được tạo lên bởi các mạch từ tác dụng lên phần chuyển động này cần phải thay đổi một cách phù hợp để đảm bảo khe hở xác định giữa phần chuyển động và phần tĩnh của ổ đỡ. [1]

Thông thường, trong thực tế việc xác định trước cả về định lượng và quy luật thay đổi của các lực ngoại sinh là rất khó, hoặc không thể được. Hơn nữa, điều kiện làm việc của các hệ truyền động không tiếp xúc sử dụng bộ treo từ tính thay đổi dẫn đến việc xác định trước các thông số của ổ là khó khăn.

Ngoài ra, động lực học của hệ truyền động không tiếp xúc sử dụng bộ treo từ tính là phi tuyến cả về cơ và điện, nghĩa là quan hệ động giữa hiệu điện thế hoặc cường độ dòng điện đặt vào các cuộn dây từ và lực từ tác dụng lên phần chuyển động, được mô tả bằng hệ phương trình vi phân phi tuyến. Vì vậy, thiết kế các bộ điều khiển đạt chất lượng cao là khó khăn và cần thiết trong các ứng dụng thực tế có sử dụng các hệ truyền động không tiếp xúc sử dụng bộ treo từ tính.

MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA BỘ TREO TỪ TÍNH

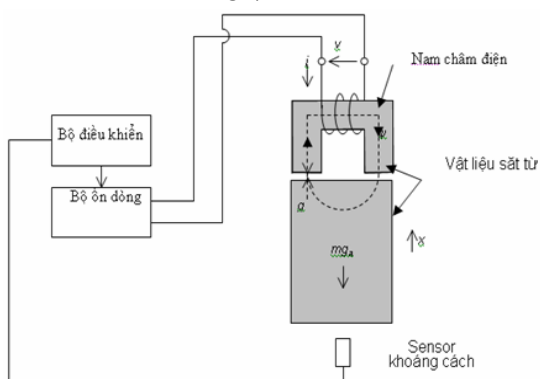
Nguyên tắc làm việc của ổ đỡ từ tương tự như một nam châm điện. Nghĩa là, có thể tạo nên

* Tel: 0912481660

chuyển dịch cơ học theo một phương nào đó bằng các lực (hút hoặc đẩy) điện từ. Do vậy có thể chọn các biến độc lập trong hệ thống ở từ là dòng điện (i) chạy trong dây quấn và chuyển vị (x) của vật thể.

Hình 2 trình bày về một cấu trúc cơ bản của một nam châm điện với một bộ điều khiển phản hồi ngược cho một hệ thống treo theo một phương sử dụng năng lượng từ.

Cuộn dây được cấp điện gây ra một lực từ làm treo vật thể bằng sắt hình chữ nhật. Vật thể chỉ tự do theo phương đứng. Dòng điện i sinh ra một từ thông ψ .



Hình 2. Hệ thống từ treo

Đường sức từ được biểu diễn bằng những đường nét đứt và đi qua khe hở không khí hai lần theo phương đứng. Lực hút giữa vật thể bị treo và lõi từ hình chữ C là một hàm của dòng điện I , lực này tỉ lệ với bình phương của dòng điện i nếu như lõi từ không bị bão hoà. Dưới những trạng thái ổn định, lực hút sinh ra được điều chỉnh đúng bằng tích số mga nhằm thỏa mãn điều kiện cân bằng lực với:

+ m là khối lượng vật thể

+ ga là gia tốc trọng trường

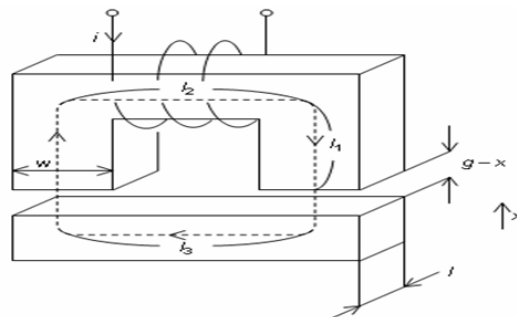
Sensor khoảng cách xác định vị trí theo phương đứng của vật thể bị treo. Điện áp đầu ra của sensor chính là đầu vào của bộ điều khiển. Lực từ cần thiết được tạo ra để treo đối tượng một cách cân bằng. Lực cần thiết bằng tổng của lực lò xo và lực cản.

+ Lực cản tỉ lệ với vận tốc của vật thể treo.

+ Lực lò xo tỉ lệ với độ dịch chuyển của vật thể treo.

Những đại lượng điều khiển này có chiều ngược lại so với chiều của vận tốc và chuyển

vị cho phản hồi âm. Từ đó bộ điều khiển sinh ra một điều khiển dòng sao cho lực sinh ra phù hợp với yêu cầu.



Hình 3. Sơ đồ mạch điện tương đương

Bộ ổn dòng sẽ điều chỉnh dòng điện bằng cách đặt một điện áp lên các đầu cực điện. Dòng điện i kích thích vào một cuộn dây mắc nối tiếp.

Theo [4], lực hướng tâm cho ổ đỡ chịu tải hướng tâm là một hàm của đồng thời dòng điện i_b và chuyển vị hướng trục x của roto là:

$$F_x = k_{ib} i_b x + k_{xx} x$$

Trong đó:

+ Với $i_b x$ là dòng điện điều khiển lực theo phương x ;

+ F_x : Lực hướng tâm của ổ đỡ chịu tải hướng tâm;

+ k_i : Hệ số lực – dòng điện;

+ k_x : Hệ số lực - chuyển vị.

Từ định luật 2 Newton có:

$$\begin{aligned} F_x &= k_i i_{bx} + k_x x = ma \\ &= m \frac{d^2 x}{dt^2} \end{aligned} \quad (1)$$

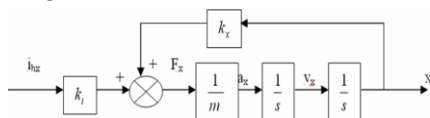
Sử dụng toán tử s thì (1) được viết lại là:

$$\begin{aligned} k_i i_{bx} &= (ms^2 - k_x)x \\ W_{otu}(s) &= \frac{x}{i_{bx}} = \frac{k_i}{ms^2 - k_x} \end{aligned} \quad (2)$$

Lực hướng tâm được chia cho khối lượng m , bởi vậy đầu ra của khối là gia tốc ax mà gia tốc này cũng chính là đầu vào của một khối tích phân. s là toán tử Laplace, do đó một khối $1/s$ chính là tích phân của đầu vào. Tích phân của gia tốc là vận tốc hướng tâm của rotor vx . Tích phân của vận tốc là chuyển vị hướng tâm x . Khối lượng m là khối lượng của

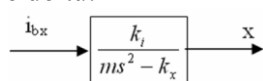
vật thể được treo. Có thể thấy rằng k_x tạo ra một chu kỳ phản hồi dương cũng là nguyên nhân tạo ra hàm truyền không ổn định.

Sơ đồ cấu trúc của một hệ thống treo sử dụng năng lượng từ theo một phương được xây dựng:



Hình 4. Sơ đồ cấu trúc ô từ

Biểu diễn một sơ đồ cấu trúc hàm số truyền rút gọn của ô từ từ.



Hình 5. Sơ đồ cấu trúc rút gọn của bộ treo từ tính

Phương trình đặc tính: $ms^2 - k_x = 0$

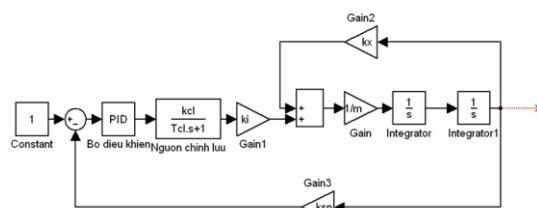
Nghiệm của phương trình đặc tính là:

$$s_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{k_x}{m}}$$

Có thể thấy rằng hàm truyền có bản chất là một hàm không ổn định vì có một nghiệm ở nửa phải của mặt phẳng phức, bởi vậy thiết kế bộ điều khiển là một vấn đề quan trọng.

Để ô từ làm việc ổn định thì phải sử dụng các biện pháp ổn định hóa bằng các khâu phản hồi âm hoặc các khâu hiệu chỉnh.

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN PID



Hình 6. Hệ thống treo từ tính theo phương trình x_{ksn} : là Độ KD của sensor dịch chuyển;
 m : là khối lượng vật thể; PID: Bộ điều khiển; k_x : hệ số lực - chuyển vị; k_i là hệ số lực - dòng điện.

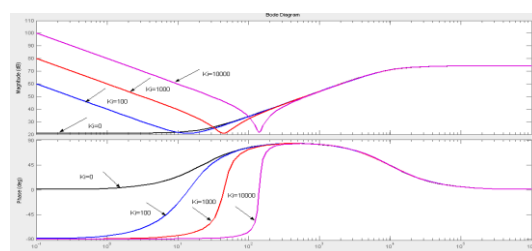
Ký hiệu	Tên tham số	Giá trị tham số
m	Khối lượng vật thể	3.14kg
k_{sn}	Độ khuếch đại của sensor dịch chuyển	10000V/m;
k_i	Hệ số lực - dòng điện	1N/A
k_x	Hệ số lực - chuyển vị	15800N/m
K_p	Hệ số khuếch đại tỷ lệ	5, 10, 20
K_{sn}	Hệ số tích phân	0, 100, 1000, 10000
T_d	Hệ số khuếch đại đạo hàm	0.25; 0.5; 1

Tính toán và khảo sát hệ thống bằng phần mềm Matlab- Simulink để lựa chọn các hệ số của bộ PID mô phỏng hệ thống.

Các hệ số tỷ lệ (K_p) và vi phân (K_d) có thể được biểu thị như sau:

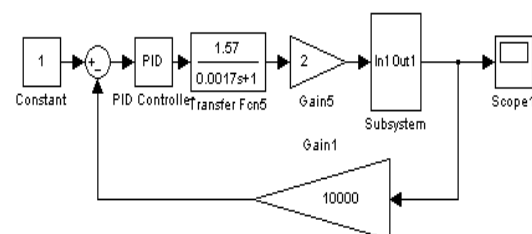
$$K_d = \frac{2m\omega_n \zeta}{k_i k_{sn}} \quad K_p = \frac{m\omega_n^2 + k_x}{k_i k_{sn}}$$

Nhận xét: Để được một đáp ứng nhanh, tần số góc riêng ω_n phải cao. Để tăng ω_n , hệ số tỷ lệ phải tăng tỉ lệ với bình phương của ω_n . Hệ số vi phân phải tăng tỷ lệ bậc nhất với ω_n và hệ số giảm chấn $\zeta = 0.9$



Hình 7. Các đặc tính tần số của một bộ điều khiển PID

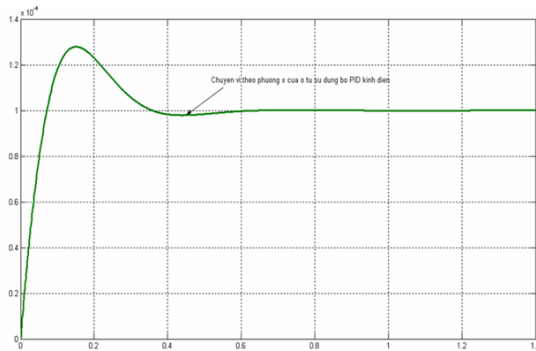
Từ tính toán thiết kế bộ điều khiển PID theo tiêu chuẩn modul tối ưu, đối chiếu với các tiêu chuẩn chất lượng ta chọn được các thông số của bộ điều khiển PID như sau: $K_p = 10$, $K_i = 100$, $K_d = 0.5$. Với bộ thông số này ta thấy hệ thống có đáp ứng khá nhanh, thời gian xác lập ngắn và không có sai lệch tĩnh. Sơ đồ mô phỏng:



Hình 8. Sơ đồ cấu trúc (trong Sybsystem là hình 4)

Sử dụng bộ nguồn chỉnh lưu hình cầu 3 pha có TCL = 0.0017, kCL= 1.57

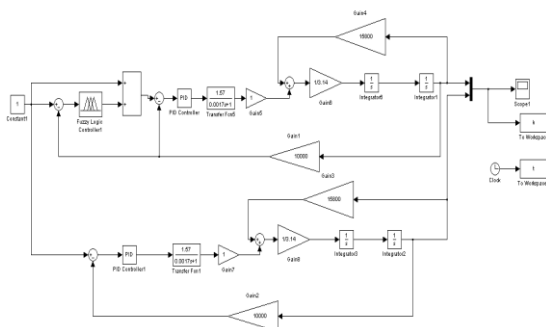
Kết quả mô phỏng như trên hình 9, độ quá điều chỉnh còn cao (gần 30%) và thời gian quá độ còn lớn. Để có thể nâng cao chất lượng động cho hệ thống điều khiển bộ treo từ tính này có thể sử dụng các phương pháp điều khiển hiện đại áp dụng cho bộ điều khiển.



Hình 9. Kết quả mô phỏng chuyển vị theo phương x của ổ từ có sử dụng bộ PID kinh điển

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ LAI F-PID

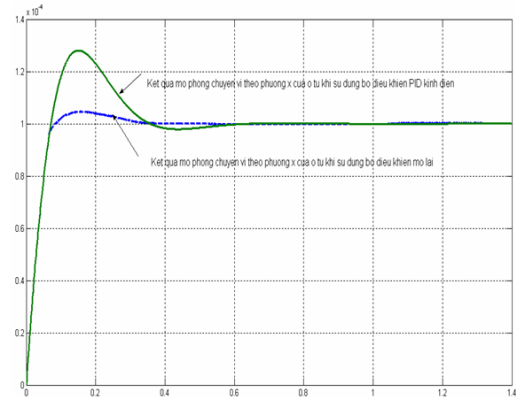
Đường cong từ hoá phụ thuộc nhiều vào khe hở không khí giữa stator và rotor của ổ đỡ từ (thường chỉ đo bằng mm hay μm). Do vậy, đường cong đặc tính từ hoá được xác định chủ yếu bởi những đặc tính phi tuyến của lõi thép. Ngoài ra, trong hệ thống cũng có thể xuất hiện nhiều nguyên nhân có thể gây lệch tâm ổ từ như: có tồn thất sắt trong lõi sắt chấp hành, bão hoà điện áp trong bộ điều khiển dòng điện, đáp ứng tần số sensor bị giới hạn, hoặc do dòng điện Phuoco gây ra một độ trễ dẫn đến sai lệch hướng đối với lực hướng tâm được sinh ra Khi đó, phương của lực hướng tâm sinh ra có một sai lệch vị trí góc dẫn đến giao thoa lực hướng tâm theo phương x và y. Giao thoa giữa các lực hướng tâm theo phương x và y có thể gây ảnh hưởng đến chất lượng của hệ thống.



Hình 10. Sơ đồ mô phỏng hệ có sử dụng bộ PID kinh điển và hệ điều khiển mờ lai F-PID

Vì vậy, để nâng cao chất lượng động của điều khiển chuyển dịch theo phương x của bộ treo từ tính, tiếp theo đây sẽ trình bày một bộ điều khiển mờ lai, được tính toán toán với số liệu như đối với PID. Sơ đồ mô phỏng như hình

10. Đáp ứng đầu ra là chuyển dịch theo phương x của hai bộ điều khiển PID và F-PID được thể hiện trên hình 11 (đường nét liền là PID và đường nét đứt là F-PID).



Hình 11. Kết quả mô phỏng chuyển vị theo phương x có sử dụng bộ điều khiển PID kinh điển và hệ điều khiển mờ lai F-PID

KẾT LUẬN

Qua kết quả mô phỏng ở trên, ta thấy hệ điều khiển chuyển dịch theo phương x của bộ treo từ tính có kết quả tốt, chất lượng hệ thống thỏa mãn yêu cầu đặt ra. Hệ thống trên có tính khả thi.

Kết quả này có thể áp dụng cho khảo sát chuyển dịch theo phương y của bộ treo từ tính. Vấn đề còn tiếp tục nghiên cứu là: Khảo sát hệ với chuyển dịch đồng thời và đầy đủ theo cả hai phương x và y, sự ảnh hưởng của nhiễu phụ tải và tác động xuyên chéo hai phương lẫn nhau.

Với một đối tượng phi tuyến mạnh như bộ treo từ tính này thì việc sử dụng các bộ điều khiển theo phương pháp phi tuyến là điều không tránh khỏi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Thị Thanh Bình, 2009, "Tổng quan về ổ đỡ từ", *Tạp chí Khoa học công nghệ Đại học Thái Nguyên*, số tháng 4, 2009.
- [2]. Nguyễn Phùng Quang (2006), *Matlab & Simulink*, nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [3]. Hoàng Minh Sơn (2006), *Điều khiển quá trình*, nhà xuất bản Bách khoa- Hà Nội.
- [4]. Akira Chiba, Tadashi Fukao, Osamu Ichikawa, Masahide Oshima, atsugu Takemoto and David G. Dorrell, *Magnetic Bearings and Bearingless Drives*.
- [5]. C. Colin Roberts, *The multiple attractions of magnetic bearings*, World pumps December 2006, 0262 1762/06.

SUMMARY

THE NEW METHOL TO ADVANCE QUALITY CONTROL FOR CONTACTLESS TRANSMISSION SYSTEM USING THE MAGNETIC SUSPENSIONS**Nguyen Nhu Hien*, Tran Thi Thanh Nga***University of Technology – Thai Nguyen University*

Contactless transmission systems using the magnetic suspension has important applications and efficiency in devices with high-speed rotary machine which requires high precision, working in environmental quality are not applied slippery due to no direct contact between the moving and static parts. Current controllers for contactless transmission using the magnetic suspension has the low quality as not appropriate, no sustainable, control signal is not blocked. This fact is due to the dynamics of the contactless transmission using the magnetic suspension is high nonlinear, and the method of designing controllers for nonlinear systems, contactless transmission using the magnetic suspension subject to the effects of interference of outer and contains the parameters change with time has been studied and developed complete. This article presented the result of research design controllers for a high quality system including the nonlinear magnetic suspension.

Keywords: *magnetic suspension, magnetic bearings.*

* Tel: 0912481660