

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

TRẦN PHƯƠNG LẬP

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ ĐỂ ĐIỀU KHIỂN
ĐỘNG CƠ TÍCH HỢP Ồ ĐỖ TỪ

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa

THÁI NGUYÊN, 2017

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

TRẦN PHƯƠNG LẬP

**THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ ĐỂ ĐIỀU KHIỂN
ĐỘNG CƠ TÍCH HỢP Ô ĐỒ TỬ**

**Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa
Mã số: 60.52.02.16**

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

**KHOA CHUYÊN MÔN
TRƯỞNG KHOA**

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

PGS.TS.TRẦN XUÂN MINH

PHÒNG ĐÀO TẠO

THÁI NGUYÊN, 2017

MỞ ĐẦU

1. Mục tiêu của luận văn

Điều khiển động cơ tích hợp ổ đỡ từ cần giải quyết 2 bài toán điều khiển:

- Điều khiển động cơ bằng các phương pháp điều khiển như đối với động cơ không có tích hợp ổ đỡ từ.
- Điều khiển ổ đỡ từ nhằm giữ trục động cơ ở chính giữa tâm của 2 ổ đỡ từ.

Mục tiêu của luận văn là điều khiển trục động cơ ổn định ở chính giữa tâm của 2 ổ đỡ từ ở 2 đầu trục động cơ nên phạm vi nghiên cứu của đề tài luận văn là tập trung nghiên cứu phương pháp điều khiển ổ đỡ từ nhằm đạt chất lượng điều khiển như mong muốn. Ổ đỡ từ được sử dụng trong động cơ điện hiện đang được xếp loại sản phẩm công nghệ cao chứa đựng nhiều hàm lượng chất xám và đồng thời cũng là sản phẩm công nghệ xanh mới. Hạn chế trong việc ứng dụng rộng rãi ổ đỡ từ hiện nay là do kích thước lớn và giá thành cao. Nhưng trong tương lai gần, khi các nghiên cứu thành công trong việc thu gọn kích thước và giảm giá thành của ổ đỡ từ thì sự thay thế vòng bi cơ khí để làm việc ở các lĩnh vực công nghệ sạch, thiết bị y tế, thiết bị quốc phòng và công nghiệp vũ trụ,... sẽ là điều tất yếu.

Phần quan trọng của các ổ đỡ từ là bộ điều khiển. Hiện nay các bộ điều khiển cho các ổ đỡ từ có chất lượng thấp như không thích nghi, không bền vững, tín hiệu điều khiển không bị chặn... Thực tế này là do phần động lực học của các ổ đỡ từ có tính phi tuyến cao, mà thiết kế các bộ điều khiển cho các hệ phi tuyến (bao gồm các ổ đỡ từ) chịu tác dụng của nhiễu và chứa các tham số thay đổi trong quá trình hoạt động chưa được nghiên cứu và phát triển hoàn thiện để có thể ứng dụng vào việc thiết kế bộ điều khiển đảm bảo cho các ổ đỡ từ có khả năng hoạt động tốt trong mọi chế độ làm việc.

Mặt khác, hiện tại có nhiều phương pháp điều khiển ổ đỡ từ, nhưng trong giới hạn đề tài này tôi lựa chọn nghiên cứu "**Thiết kế bộ điều khiển mờ để điều khiển động cơ tích hợp ổ đỡ từ**".

2. Mục tiêu nghiên cứu

- Tìm hiểu về mô tả toán học cho ổ đỡ từ.

- Thiết kế bộ điều khiển mờ chỉnh định tham số bộ điều khiển PID để điều khiển động cơ tích hợp ổ đĩa từ (với phạm vi nghiên cứu là điều khiển ổ đĩa từ).

3. Nội dung của luận văn

Với mục tiêu đặt ra, nội dung luận văn bao gồm các chương sau:

Chương 1: Tổng quan về động cơ tích hợp ổ đĩa từ

Chương 2: Mô tả toán học ổ đĩa từ tích cực trong điều khiển động cơ tích hợp ổ đĩa từ

Chương 3: Thiết kế bộ điều khiển mờ cho ổ đĩa từ trong động cơ tích hợp ổ đĩa từ

Kết luận và kiến nghị

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ ĐỘNG CƠ TÍCH HỢP Ồ ĐỖ TỪ

1.1 Giới thiệu chung

Thực tế cho thấy các hệ thống truyền động sử dụng động cơ với trục chuyển động được giữ bởi các vòng bi cơ khí, ổ đỡ chất lỏng có nhiều nhược điểm về độ bền, ma sát, hạn chế tốc độ.... Trong khi đó các vòng bi dạng ổ đỡ từ sử dụng các lực từ để hỗ trợ cho chuyển động của máy mà không cần có tiếp xúc cơ học. Do đặc điểm treo nhờ lực từ không tiếp xúc, công nghệ ổ đỡ từ có một số ưu điểm nổi bật so với các loại ổ đỡ thông thường. Những ưu điểm này bao gồm loại bỏ được các hệ thống bôi trơn ổ đỡ, hệ số ma sát thấp, tốc độ rotor cao và các đặc tính động có thể điều chỉnh được. Các vòng bi dạng ổ đỡ từ có khả năng đáp ứng khả năng chịu tải lớn bằng cách tối ưu hóa hệ thống và các thông số của vật liệu, bao gồm khe hở không khí của ổ đỡ, từ thông bão hòa của vật liệu từ, diện tích bề mặt của ổ đỡ, số lượng vòng dây trên các cực từ và công suất bộ khuếch đại. Các vòng bi dạng ổ đỡ từ có thể cho phép làm việc trong các môi trường khắc nghiệt như: nhiệt độ rất cao, nhiệt độ rất thấp và chân không. Một hệ thống đo lường hiện đại tích hợp trong hệ thống treo từ tính không chỉ giám sát tức thời các thông số của hệ như vị trí rotor, độ lắc ngang, độ rung động hướng trục, dòng điện, nhiệt độ và tốc độ quay mà hệ thống đo lường này còn có thể phân tích được sự mất cân bằng bằng cách tính toán được vị trí và biên độ của nó. Bộ điều khiển có thể thay đổi các thuộc tính tắt dần và độ cứng của ổ đỡ. Điều này cho phép bộ điều khiển điều chỉnh được đặc tính động ảnh hưởng lên các tần số cộng hưởng của hệ thống và làm giảm rung động lan truyền [6].

Ứng dụng của công nghệ ổ đỡ từ đã trải qua một sự phát triển rõ rệt trong những năm gần đây. Đã có nhiều các nghiên cứu quan trọng được tiến hành bao trùm lên tất cả các lĩnh vực liên quan đến ổ đỡ từ. Ta có thể kể ra ở đây bao gồm công nghệ cảm biến và điều khiển, mô hình hóa và nhận dạng, công nghệ vật liệu và các thành phần... Cho đến nay, các ứng dụng quan trọng của các vòng bi dạng ổ đỡ từ gồm có máy gia tốc, máy ly tâm, máy chân không, các thiết bị y tế công nghệ cao, các ứng dụng cho môi trường sạch tuyệt đối, công nghệ robot, truyền động tốc độ cao, các thiết bị làm

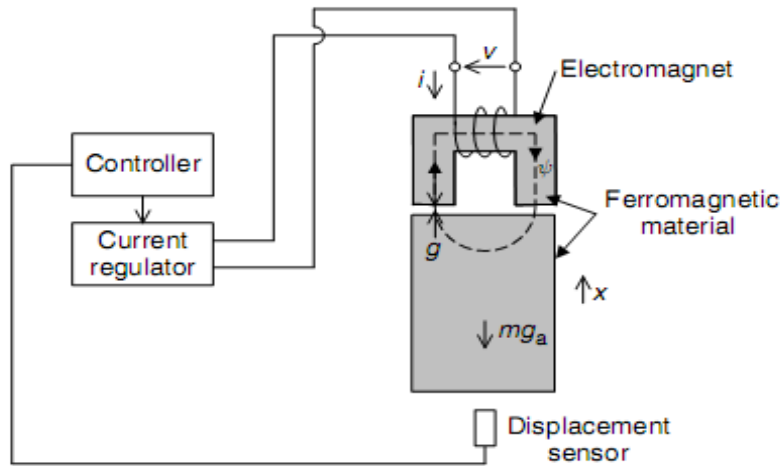
việc ngoài không gian, các hệ thống bánh đà tích trữ năng lượng và các bộ cách ly rung động [6].

1.2. Nguyên lý làm việc cơ bản và phân loại của các ổ đỡ từ

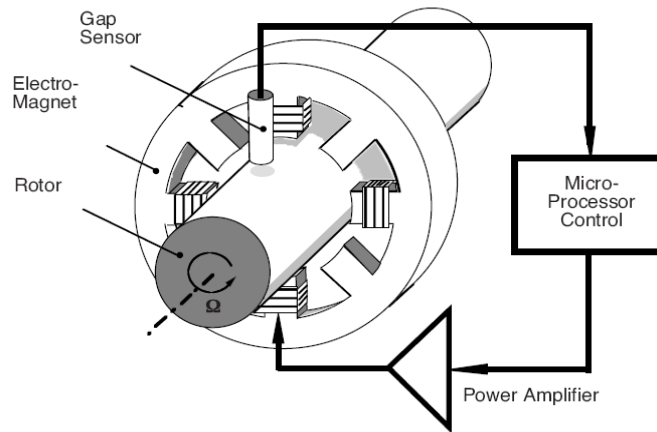
1.2.1 Nguyên lý làm việc cơ bản

Cấu trúc điện - từ cơ bản và một bộ điều khiển phản hồi cho một hệ thống treo từ tính một trục được thể hiện như trong hình vẽ 1.1. Kích thích của cuộn dây sẽ tạo ra lực từ để treo đối tượng kim loại hình chữ nhật. Khi đó đối tượng sẽ được giữ tự do theo phương thẳng đứng. Dòng điện i sẽ tạo ra từ thông ψ . Đường đi của từ thông được thể hiện bằng đường nét đứt và đi qua khe hở không khí hai lần theo chiều thẳng đứng. Lực hấp dẫn giữa vật thể treo và lõi sắt từ là một hàm số của dòng điện i , và tỷ lệ thuận với bình phương với dòng điện i khi lõi sắt từ chưa bão hòa. Trong các điều kiện xác lập, lực hấp dẫn này được điều chỉnh để bằng với tích của trọng lượng vật treo m và gia tốc trọng trường g_a nhằm thỏa mãn cân bằng lực.

Sensor chuyển vị sẽ đo mức độ dịch chuyển của vật thể treo theo chiều thẳng đứng so với vị trí chuẩn của nó. Điện áp ra của sensor sẽ là tín hiệu đầu vào cho bộ điều khiển. Một bộ vi xử lý đóng vai trò như là một bộ điều khiển tạo ra tín hiệu điều khiển từ thông tin đo lường, một bộ khuếch đại công suất chuyển tín hiệu điều khiển này thành dòng điện điều khiển, và dòng điện này sẽ sinh ra từ trường trong mạch từ, như vậy các lực từ sẽ được tạo ra. Bằng cách đó, vật thể sẽ được treo ở vị trí lơ lửng của nó. Một lượng đặt của lực từ được tạo ra để treo ổn định vật thể. Lượng đặt của lực này bằng tổng đại lượng của lực tắt dần và lực đàn hồi. Lượng điều khiển của lực đàn hồi tỷ lệ thuận với độ chuyển vị của vật thể treo. Còn đối với lực tắt dần thì lực này tỷ lệ thuận với tốc độ dịch chuyển của vật thể treo. Các đại lượng này có chiều ngược với chuyển vị và tốc độ đối với phản hồi âm. Bộ điều khiển tạo ra lượng dòng điện điều khiển để nhằm tạo ra lực từ bám sát với lượng lực từ đặt. Bộ điều chỉnh dòng điện sẽ điều khiển dòng điện bằng cách đặt một điện áp lên các đầu cuộn dây.



Hình 1.1: Cấu trúc cơ bản của một hệ thống treo nhờ lực từ trường (treo từ tính)



Hình 1.2: Chức năng cơ bản của một ổ đỡ từ chủ động:
Treo rotor theo phương thẳng đứng

Dòng điện i chạy trong một cuộn dây, và nếu ta giả thiết rằng cuộn dây có số vòng dây là N thì khi đó một lực từ động (MMF) được sinh ra và bằng Ni . Với các vật liệu sắt từ có độ thẩm từ cao thì từ thông sẽ đi theo đường như trong hình vẽ và đi qua khe hở hai lần. Độ tập trung từ thông cực đại trong khe hở không khí sẽ quyết định độ lớn của lực trong phần điện từ. Độ tập trung từ thông lớn sẽ tạo ra lực từ lớn. Tuy nhiên, độ tập trung từ thông cực đại được giới hạn trong kháng từ $(1.7 \div 2)$ T đối với thép silic thông thường. Một lưu ý quan trọng nữa đó là chiều dài khe hở không khí phải được giữ càng nhỏ càng tốt để giảm dòng điện và các tổn thất.

Bằng cách chủ động điều khiển động lực học của phần điện từ để tạo ra các lực điện từ chính là nguyên lý cơ bản mà trên thực tế được sử dụng trong hầu hết các ổ đỡ

từ. Trên hình 1.2 giới thiệu các thành phần chính và diễn giải chức năng của một ổ đỡ từ đơn giản để nâng rotor theo một hướng.

Luật điều khiển ở đây thực hiện nhiệm vụ duy trì sự ổn định của trạng thái treo cũng như độ cứng và độ tắt dần của quá trình treo đó. Độ cứng và độ tắt dần có thể được thay đổi rộng trong giới hạn vật lý của hệ thống, và có thể được điều chỉnh theo yêu cầu công nghệ. Đồng thời chúng có thể được thay đổi trong suốt quá trình làm việc theo yêu cầu của bài toán điều khiển đặt ra.

1.2.2 Phân loại các kiểu treo từ tính

Có rất nhiều các kiểu thiết kế khác nhau để tạo ra các lực từ nhằm hỗ trợ hoặc treo một vật thể mà không chịu bất kỳ một tiếp xúc nào. Thậm chí vật thể đó không thể treo ở trạng thái ổn định và tự do thì ít nhất việc treo này cũng có thể đạt được trong một vài bậc tự do.

Phân loại này mang tính hệ thống bao trùm lên các kiểu treo từ tính đã biết. Theo cách mà các lực từ được tính toán và biểu diễn thì ta có thể chia ra làm hai nhóm chính, đó là lực từ trở và lực Lorentz.

Đối với trường hợp thứ nhất, lực từ trở được sinh ra từ năng lượng tích trữ trong từ trường và có thể chuyển đổi sang dạng cơ năng. Do vậy, lực từ trở thu được từ công thức sau:

$$f = \frac{\partial W}{\partial s} \quad (1.1)$$

Trong đó: W là năng lượng từ trường.

s là độ dịch chuyển của vật thể treo.

Lực từ xét trong trường hợp này này luôn gia tăng tại bề mặt giữa các độ từ thẩm tương đối khác nhau μ_r , ví dụ như giữa thép và không khí. Hướng của lực vuông góc với bề mặt của các lớp vật liệu khác nhau. Sai lệch tương đối của độ từ thẩm càng lớn thì lực từ f càng lớn. Với các vật liệu sắt từ có $\mu_r \gg 1$ thì các lực từ này có thể rất lớn, do vậy mà nó có thể đáp ứng được những yêu cầu trong các ứng dụng kỹ thuật. Trong các tài liệu về máy điện, độ cản từ được gọi là từ trở. Giá trị này tỷ lệ nghịch với độ thẩm từ μ_r . Lực tác động theo cách này thường có xu hướng làm giảm độ từ trở. Các động cơ điện khai thác thuộc tính này được gọi là động cơ từ trở.

Một điều kiện tiên quyết nữa đó là các lực từ tác động lên vật thể phải giữ cho vật thể ở trong trạng thái treo ổn định. Trong các ứng dụng công nghiệp, thông thường một mạch vòng điều khiển là cần thiết để thích ứng liên tục từ trường đối với chuyển động của vật thể treo. Yêu cầu này dẫn đến khái niệm các vòng bi dạng ổ đỡ từ dạng ổ đỡ từ tích cực.

Nằm trong nhóm phân loại này gồm có các bộ treo từ loại 1 đến loại 4. Loại 1 được gọi là các bộ treo lực từ trở tích cực. Kiểu này thậm chí còn có thể phân biệt theo nhiều dạng khác nhau, chẳng hạn như theo cách điều khiển tích cực, theo từ trường, từ thông, khoảng cách giữa stator và rotor được điều khiển. Loại 2 là các bộ treo dùng mạch LC. Mạch LC được cấu trúc bởi điện cảm của cuộn dây treo điện từ và một tụ điện. Độ chuyển dịch của rotor làm thay đổi điện cảm của mạch điện từ. Mạch LC làm việc tại vùng gần cộng hưởng và được điều chỉnh sao cho tiếp cận vùng cộng hưởng khi rotor dịch chuyển ra xa khỏi phần điện từ. Điều này tạo ra một dòng điện gia tăng từ nguồn điện áp xoay chiều và do đó sẽ kéo rotor trở lại vị trí danh định của nó. Lực và độ cứng không lớn nhưng đủ để đáp ứng cho một số các ứng dụng của các dụng cụ đo. Do kiểu này ổn định mà không cần mạch vòng điều khiển nên được gọi là thụ động. Nhược điểm chính của kiểu này đó là không thể tắt dần. Loại 3 là loại từ trường vĩnh cửu ($\mu_r \gg 1$) có cấu trúc tĩnh và không thể ổn định hóa vị trí của vật thể treo. Những kiểu treo như này yêu cầu có thêm các lực hồi chuyển như trong trường hợp của Levitron, hoặc vật liệu nghịch từ ($\mu_r < 1$) để đạt được trạng thái treo ổn định với các lực nhỏ, hoặc các chất siêu dẫn ($\mu_r = 0$). Tuy vậy, việc ứng dụng từ trường vĩnh cửu là rất hữu ích để hỗ trợ cho vật thể hoặc làm giảm tải của nó theo một phương đối với ổ đỡ thông thường. Các thiết bị theo loại 4 dựa vào thuộc tính rất đặc biệt của vật liệu, $\mu_r = 0$. Chỉ có những vật liệu có thuộc tính như vậy mới được gọi là vật liệu siêu dẫn. Đặc tính nổi trội của loại này đó là tại nhiệt độ rất thấp, vật liệu sẽ trở thành siêu dẫn, không còn điện trở. Dòng điện trong cuộn dây siêu dẫn sẽ vẫn tiếp tục duy trì thậm chí ngay cả khi không còn duy trì điện áp trên nó. Mặc dù chứa đựng nhiều đặc tính kỹ thuật thú vị nhưng kiểu này vẫn còn đang trong giai đoạn nghiên cứu tại phòng thí nghiệm và các ứng dụng công nghiệp của nó sẽ phát triển mạnh trong thời gian không xa.

Trường hợp thứ hai trong phân loại các kiểu treo từ tính được gọi là lực điện từ (hay là lực Lorentz). Lực này do trường điện từ tác động lên các hạt mang điện tích gây nên.

$$\underline{\mathbf{f}} = Q(\underline{\mathbf{E}} + \underline{\mathbf{v}} \times \underline{\mathbf{B}}) \quad (1.2)$$

với, $\underline{\mathbf{E}}$ là vector cường độ điện trường tại vị trí của hạt mang điện; Q là điện tích của hạt mang điện; $\underline{\mathbf{v}}$ là vector vận tốc chuyển động của hạt mang điện và $\underline{\mathbf{B}}$ là cường độ từ cảm. Khi không quan tâm đến khái niệm tĩnh điện, ta bỏ qua $\underline{\mathbf{E}}$ tại (1.2) và $(Q \cdot \underline{\mathbf{v}})$ được thay thế bằng dòng điện $\underline{\mathbf{i}}$. Từ đây dẫn đến biểu thức tích chéo 2 véc tơ sau:

$$\underline{\mathbf{f}} = \underline{\mathbf{i}} \times \underline{\mathbf{B}} \quad (1.3)$$

Lực tạo ra vuông góc với các đường từ thông, độc lập với khe hở không khí và phụ thuộc tuyến tính với dòng điện (ta giả thiết ở đây là từ thông cũng không phụ thuộc vào dòng điện). Dựa trên lực Lorentz, các kiểu treo từ tính lại được chia ra làm 4 loại khác nhau dựa trên dòng điện $\underline{\mathbf{i}}$. Đối với dòng điện cảm ứng thì ta có hai cơ chế có thể xảy ra: hoặc là có sự tương tác giữa một từ trường vĩnh cửu với một vật dẫn chuyển động, hoặc là sự tương tác xảy ra, khi không có chuyển động tương đối, giữa một vật dẫn và điện từ biến thiên (nguồn xoay chiều). Trường hợp còn lại, dòng điện có thể được điều khiển tích cực và tương tác với một từ trường. Với loại này lại có 2 khả năng xảy ra: hoặc là từ trường được tạo ra bởi một từ trường vĩnh cửu, hoặc là có sự tương tác giữa dòng điện điều khiển và dòng điện cảm ứng. Cả bốn kiểu này được mô tả tuần tự trên hình vẽ từ loại 5 đến loại 8 [6].