

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

HOÀNG THÚY LINH

**KHẢO SÁT VÀ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG ĐIỀU KHIỂN Ô
ĐỒ TỪ HAI BẬC TỰ DO BẰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ LAI**

**Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa
Mã số: 60520216**

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

PGS.TS Nguyễn Như Hiền

Thái Nguyên - 2014

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Khác với các loại ổ trục cơ khí, ổ đỡ từ không có sự tiếp xúc giữa phần tĩnh và phần động. Do đó, ổ đỡ từ sử dụng trong các hệ truyền động điện đang được coi là một ngành công nghệ tiên tiến và thân thiện với môi trường. Chúng góp phần mạnh mẽ trong việc nâng cao tốc độ quay cho động cơ và giúp động cơ có thể được ứng dụng trong những môi trường đặc biệt mà động cơ sử dụng vòng bi thông dụng không thể làm việc hoặc làm việc với chi phí bảo dưỡng cao. Những nghiên cứu về ổ đỡ từ thường tập trung chủ yếu tại các nước phát triển như Nhật, Mỹ, Pháp, Đức và Thụy Sĩ, hiện nay trước khả năng ứng dụng mạnh mẽ của động cơ điện dùng ổ đỡ từ trong nhiều lĩnh vực, việc nghiên cứu về chế tạo động cơ điện dùng ổ đỡ từ và các ứng dụng cũng đang được đẩy mạnh tại các nước đang phát triển như Trung Quốc, Hàn Quốc, Brazil,...

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.

Chính từ những ưu điểm vượt trội của ổ đỡ từ và xuất phát từ yêu cầu thực tiễn của công ty nơi em đang làm việc em phải thường xuyên làm việc với ổ đỡ từ trong động cơ. Vì vậy em đã lựa chọn đề tài nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển hiện đại (mờ lai) nhằm nâng cao chất lượng của ổ đỡ từ, đảm bảo cho các ổ đỡ từ có khả năng hoạt động tốt trong mọi chế độ làm việc. Vì vậy nghiên cứu thiết kế các bộ điều khiển nhằm nâng cao chất lượng cho ổ đỡ từ là cấp thiết.

2. Mục tiêu của luận văn

Trên cơ sở nghiên cứu khảo sát và đánh giá chất lượng điều khiển ổ đỡ từ 2 bậc tự do bằng bộ điều khiển PID, qua khảo sát bằng mô phỏng và thực nghiệm chỉ ra được các hạn chế của phương pháp điều khiển này.

Để khắc phục các nhược điểm của bộ điều khiển kinh điển, dựa trên cơ sở logic mờ, luận văn đề xuất thiết kế bộ điều khiển thông minh sử dụng bộ điều khiển mờ lai. Bước đầu tiến hành kiểm nghiệm bộ điều khiển mới bằng phần mềm mô phỏng trên Matlab - Simulink.

3. Kết quả thực nghiệm của luận văn

Nghiên cứu khảo sát và đánh giá chất lượng điều khiển ở đỡ từ 2 bậc tự do bằng lý thuyết và kiểm nghiệm bằng mô phỏng trong miền thời gian ảo là công việc trước đây của một luận văn cao học. Ngày nay, yêu cầu học đi đôi với hành, lý luận gắn với thực tiễn, luận văn cao học cần được kiểm chứng bằng thực nghiệm trong miền thời gian thực. Đây là một yêu cầu mới về nâng cao chất lượng đào tạo của Nhà trường. Việc áp dụng sáng tạo các mô hình thí nghiệm sẵn có của Nhà trường vào công việc thực nghiệm của luận văn đã đạt kết quả tốt. Kết quả thí nghiệm đã chứng tỏ rằng nghiên cứu khảo sát và đánh giá chất lượng điều khiển ở đỡ từ 2 bậc tự do của đề tài này bằng lý thuyết và mô phỏng còn có khoảng cách so với thực tế và nhờ có thí nghiệm nên có cơ sở vững chắc để điều chỉnh lại thông số bộ điều khiển đáp ứng yêu cầu của hệ thống và làm nền tảng cho thiết kế nâng cao chất lượng cho hệ thống.

4. Nội dung luận văn:

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

Chương 1: Tổng quan về ổ đỡ từ.

Chương 2: Mô tả toán học.

Chương 3: Thiết kế các bộ điều khiển cho ổ đỡ từ 2 bậc tự do

Chương 4: Đề xuất nâng cao chất lượng điều khiển ổ đỡ từ 2 bậc tự do bằng bộ điều khiển mờ lai.

Kết luận và kiến nghị

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ Ổ ĐỖ TỪ

1.1. Giới thiệu về ổ đỡ từ

Trong lĩnh vực cơ khí để truyền chuyển động người ta thường dùng ổ bi, ổ trượt tuy nhiên khi sử dụng ổ đỡ cơ khí do có lực ma sát nên tốc độ quay của động cơ và độ chính xác làm việc không cao đồng thời người ta phải thường xuyên bảo dưỡng sửa chữa, công việc bảo dưỡng này trở thành một bài toán nan giải khi các động cơ làm việc trong một số lĩnh vực ứng dụng đặc biệt có môi trường khắc nghiệt như: nhiệt độ cao hoặc rất thấp, hóa chất độc hại, phóng xạ hay thậm chí ngoài không gian.

Để giải quyết vấn đề này các nhà khoa học đã tìm ra một loại ổ đỡ đó là ổ đỡ từ nghĩa là dùng lực nâng của từ trường để nâng trục động cơ mà không có sự tiếp xúc giữa phần động và phần tĩnh.

Do đặc điểm không tiếp xúc, công nghệ ổ đỡ mới này đưa ra một số các ưu điểm nổi bật so với các loại ổ đỡ thông thường, như ổ đỡ vòng bi hay ổ đỡ chất lỏng. 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 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 từ có thể cho phép làm việc trong các môi trường khắc nghiệt như: nhiệt độ cao, nhiệt độ thấp và chân không.

Ngày nay, những nhận thức trọng tâm trong thiết kế các vòng bi từ đã có những bước tiến rõ rệt và việc ứng dụng các vòng bi từ vào các ứng dụng thực tiễn đã vượt ra ngoài những mong muốn ban đầu. Các ứng dụng quan trọng của các vòng bi 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

1.2. Lịch sử phát triển

Khoảng giữa những năm 1842 người ta đã đưa ra ý tưởng dùng từ trường để treo một đối tượng. Một số nghiên cứu sau đó sử dụng lực nâng bằng từ trường trong hoạt động sản xuất công nghiệp tại pháp. Từ những năm 70 của thế kỷ XX đến nay, khi kỹ thuật truyền động điện xoay chiều được phát triển và ứng dụng rộng

rãi, chúng ngày càng thể hiện được những ưu thế vượt trội so với truyền động điện một chiều. Sự lớn mạnh của truyền động điện xoay chiều là không thể phủ nhận được, chúng đã được ứng dụng rộng rãi trong mọi lĩnh vực từ công nghiệp cho đến các sản phẩm dân dụng. Tuy nhiên, trong một số ứng dụng nhất định, loại hình này đã bộc lộ một số nhược điểm đáng kể. Do cấu tạo về cơ khí, các máy điện loại này vẫn sử dụng các ổ đỡ cổ điển như máy điện một chiều. Các loại ổ đỡ thông thường nhất thiết phải được bảo dưỡng định kỳ công việc bảo dưỡng tốn thời gian tiền bạc đặc biệt là rất khó khăn với những môi trường độc hại. Xuất phát từ vấn đề thực tế này, rất nhiều các nghiên cứu hướng đến mục tiêu thay thế các ổ đỡ truyền thống bằng các biện pháp mới mà không đòi hỏi nhu cầu bảo trì và bảo dưỡng, trong đó sử dụng các vòng bi từ là một trong những hướng nghiên cứu thành công.

Sau 20 năm phát triển, những đánh giá khái quát về triển vọng phát triển trong tương lai của các vòng bi từ nói chung và của AMB nói riêng đã được nhận định. H. Bleuler chỉ ra rằng xu hướng tích hợp hệ thống sẽ không còn phát triển nhanh chóng như một số năm trước đây nữa, thay vào đó là sự phát triển các ứng dụng. Hướng phát triển mới cho các vòng bi từ thụ động đang hé mở ra những ứng dụng mới và hứa hẹn sẽ phát triển nhanh chóng. Ngoài ra, các loại ổ đỡ tự cảm biến đã và đang nhận được rất nhiều sự quan tâm từ các nhà nghiên cứu để nỗ lực chuyển thể thành công thành những ứng dụng công nghiệp. Các vòng bi từ sẽ tiếp tục là mối quan tâm lớn của các nhà nghiên cứu và các nhà kỹ thuật. Các ứng dụng sẽ còn phát triển mạnh trong nhiều các lĩnh vực khác trong vòng 20 năm tới

Bảng 1.1 Các đóng góp tiêu biểu [16].

| Năm | Công trình nghiên cứu | Tác giả | Quốc gia |
|------------|---|----------------|-----------------|
| 1991 | Động cơ không ổ đỡ kích thích vĩnh cửu với động cơ 6 cực và ổ đỡ 4 cực. | Bischel | Thụy Sĩ |
| | Động cơ từ cảm không ổ đỡ | Chiba | Nhật Bản |
| 1994 | Phân tích động cơ AC không ổ đỡ | Chiba | Nhật Bản |
| | Điều khiển vector cho động cơ cảm ứng không ổ đỡ | Schoeb | Thụy Sĩ |
| 1995 | So sánh giữa các vòng bi từ kiểu kích thích vĩnh cửu và kiểu cảm ứng | Okada | Nhật Bản |
| 1996 | Động cơ trượt không ổ đỡ | Schoeb | Thụy Sĩ |
| | Động cơ treo từ tính hướng trục | Okada | Nhật Bản |

| Năm | Công trình nghiên cứu | Tác giả | Quốc gia |
|------|--|----------|----------|
| 1997 | Động cơ treo từ tính cho các thiết bị bơm máu | Okada | Nhật Bản |
| 1998 | Động cơ không ồ đờ kiểu AMB lai | Okada | Nhật Bản |
| | Động cơ trượt không ồ đờ cho bơm máu ly tâm | Ueno | Nhật Bản |
| 1999 | Động cơ không ồ đờ kiểu đơn cực | Ichikawa | Nhật Bản |
| 2000 | Động cơ không ồ đờ kiểu lực Lorentz | Okada | Nhật Bản |
| | Động cơ - Ổ đờ kết hợp kiểu khe hở hướng trục hai chiều | Ueno | Nhật Bản |
| 2003 | Bơm tim nhân tạo dùng động cơ không ồ đờ hướng trục | Okada | Nhật Bản |
| 2005 | Không cảm biến chuyển vị cho động cơ không ồ đờ | Okada | Nhật Bản |
| 2006 | Động cơ không ồ đờ kiểu segment | Gruber | Áo |
| | Nhận biết lực hướng kính và tốc độ cho các động cơ không ồ đờ | Chiba | Nhật Bản |
| 2007 | Động cơ không ồ đờ kiểu từ trở đồng bộ | Takemoto | Nhật Bản |
| 2009 | Động cơ không ồ đờ dạng đĩa cho tim nhân tạo | Asama | Nhật Bản |
| 2010 | Điều khiển phản hồi phi tuyến cho động cơ DC không chổi than, không ồ đờ | Grabner | Áo |

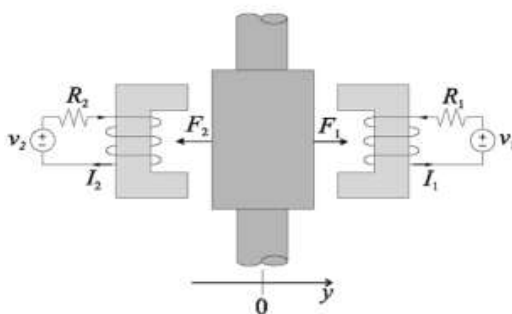
Tuy nhiên đến những năm 60 thì những thí nghiệm và ứng dụng thực tế về ồ đờ từ mới trở thành hiện thực. Vấn đề đặt ra là giá thành và độ phức tạp của nó đã cản trở việc ứng dụng và phát triển công nghệ. Những năm gần đây do sự phát triển của công nghiệp điều khiển cả về phần cứng lẫn phần mềm đã tạo cơ hội cho việc sử dụng ồ đờ từ trong công nghiệp giải quyết được bài toán về kích cỡ, độ phức tạp cũng như giá thành. Ổ đờ từ được xếp vào loại sản phẩm công nghệ cao chứa nhiều hàm lượng chất xám. Ổ đờ từ là một loại ổ trục có khả năng nâng không tiếp xúc các trục chuyển động nhờ vào lực từ trường. Do giữa trục quay và phần tĩnh không

tiếp xúc với nhau nên ổ đỡ từ đang được coi là ngành công nghệ trọng điểm, có thể đem lại những bước đột phá cao trong ngành công nghiệp chế tạo và sản xuất nhờ những ưu điểm nổi bật mà ổ đỡ cơ không có được.

Những ưu điểm của ổ đỡ từ:

- Không có hao mòn khi vận hành.
- Tăng hiệu suất của động cơ nhờ chuyển động không có ma sát.
- Thân thiện với môi trường: Không có bộ phận bôi trơn.
- Khả năng làm việc với tốc độ cao;
- Khả năng loại bỏ các rung động khi chuyển động;
- Khả năng làm việc trong các môi trường khắc nghiệt.

Việc sử dụng hệ truyền động không tiếp xúc sử dụng bộ treo từ tính là một trong những 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) gia công đối với các trục chính cao tốc. Tuy nhiên, các lợi thế này buộc chúng ta phải có khả năng áp dụng, cài đặt và thiết kế các phương pháp điều khiển ổ đỡ phù hợp



Hình 1.1: Sơ đồ tượng trưng của một hệ truyền động sử dụng ổ đỡ từ

Hình 1.1 Là sơ đồ tượng trưng của một hệ truyền động không tiếp xúc sử dụng 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 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 tác động 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. 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 cho các hệ truyền động không tiếp xúc sử dụng bộ treo từ tính 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.

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

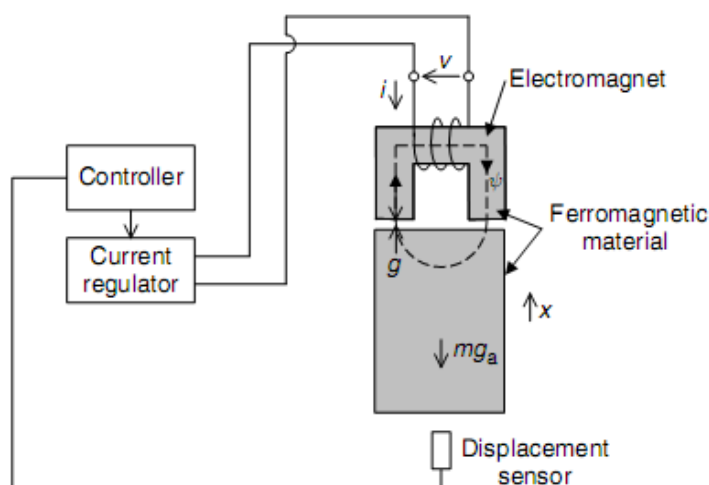
1.3.1. Nguyên lý làm việc cơ bản

Hình 1.2 là nguyên lý cơ bản của ổ đỡ từ là treo một vật bằng từ trường. 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.

Ngoài ra Sensor chuyển vị sẽ đo mức độ dịch chuyển của vật thể treo theo chiều thẳng đứng so với vị trí chuẩn của nó. 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. Vật thể sẽ được treo ổn định nhờ một lượng đặt của lực từ. 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

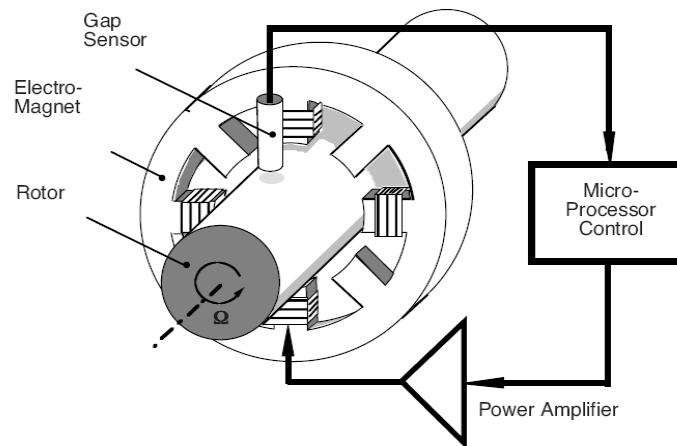
Bộ điều khiển tạo ra lượng dòng điện điều khiển để nhằm tạo ra lực từ bám sát với lượng lực từ đặt. Bộ điều chỉnh dòng điện sẽ điều khiển dòng điện bằng cách đặt một điện áp lên các đầu cuộn dây.



Hình 1.2: Cấu trúc cơ bản của một hệ thống treo từ tính

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 khoảng từ 1.7 – 2T 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 vòng bi từ.



Hình 1.3: Chức năng cơ bản của một vòng bi từ chủ động:
Treo rotor theo phương thẳng đứng

Hình vẽ 1.3 giới thiệu các thành phần chính và diễn giải chức năng của một vòng bi từ đơn giản để nâng rotor lên trên một hướng.

Luật điều khiển phản hồi chịu trách nhiệm duy trì sự ổn định của trạng thái treo cũng như là độ cứng và độ tắt dần của quá trình treo này. 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.

1.3.2. Phân loại các kiểu treo từ tính

Các nhà nghiên cứu đã tìm ra nhiều cách để treo một vật bằng lực từ 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.

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

Lực từ trở có 4 loại:

- Loại 1 được gọi là các bộ treo lực từ trở tích cực.
- Loại 2 là các bộ treo dùng mạch LC.
- 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.
- 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.