

LIM ĐỐI TƯỢNG TẠO CHUYỂN ĐỘNG THẲNG TRỰC TIẾP TRONG CÔNG NGHIỆP

Nguyễn Như Hiền, Nguyễn Hồng Quang

Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên.

Email: nguyennhuhiendhktcn@gmail.com, nhquang.tnut@gmail.com.

Abstract: Objects which make direct straight movements in industry and convert electric energy to mechanic energy are linear motors. In this paper, LIM's applications used in industry are analyzed and some problems that need to be researched in order to improve control quality are discussed.

Key words: *Linear motor, end effect, flat linear machine, tubular linear machine.*

Tóm tắt

Đối tượng tạo ra chuyển động thẳng trực tiếp được sử dụng hiện nay trong công nghiệp sử dụng trực tiếp điện năng biến đổi thành cơ năng chính là động cơ tuyến tính (LIM). Trong bài viết này sẽ phân tích những ứng dụng của LIM đã được ứng dụng trong thực tiễn công nghiệp và những vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu để nâng cao chất lượng điều khiển của đối tượng.

Chữ viết tắt

SISO	single input – single output
MISO	multi input – single output
MIMO	multi input – multi output
LIM	Linear Motor
RFO	Rotor Flux Orientation
SFO	Stator Flux Orientation

1. Mở đầu.

Theo [1-4] nguyên lý cơ bản của động cơ tuyến tính được đưa ra vào khoảng năm 1840 bởi Charles Wheatstone là một nhà khoa học người Anh. Năm 1989 hai nhà khoa học người Mỹ là Schuyler S. Wheeler và Charles S. Bradley đã xin cấp bằng sáng chế về việc ứng dụng nguyên lý của động cơ tuyến tính đồng bộ và dị bộ vào hệ thống tàu điện. Bằng sáng chế tại Mỹ đầu tiên được cấp cho nhà sáng chế người Đức là Alfred Zehden vào năm 1902 và 1907 là về việc sử

dụng động cơ tuyến tính trên hệ thống đường sắt. Một loạt các bằng sáng chế tại Đức cho tàu đệm từ được cấp cho Hermann Kemper từ năm 1935 đến 1941. Đến cuối những năm 1940 giáo sư Eric Laithwaite tại viện nghiên cứu Hoàng gia Anh đã đưa ra được động cơ mô hình thực tế làm việc được và nó được ứng dụng trong hệ thống máy dệt công nghiệp. Với việc chế tạo thành công động cơ tuyến tính đầu tiên này đã dành được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học và nó được coi là Máy điện của tương lai.

2. Nguyên lý làm việc của động cơ tuyến tính .

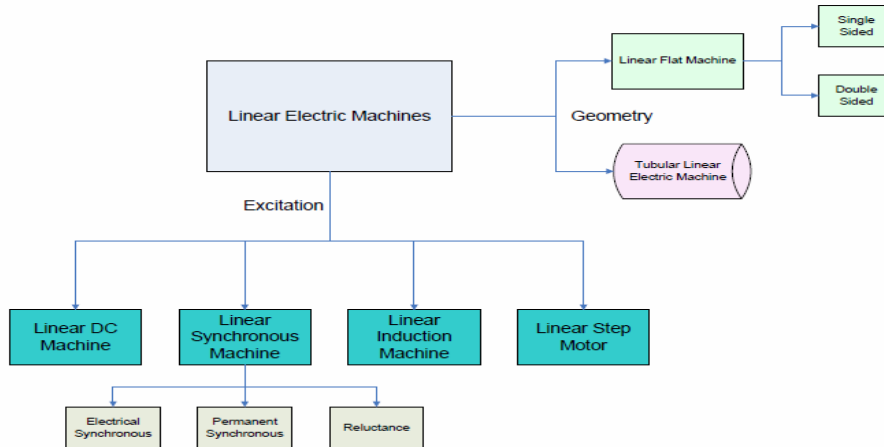
2.1 Cấu tạo của động cơ tuyến tính

Để hiểu rõ hơn về động cơ tuyến tính chúng ta có thể hình dung ra một động cơ quay tròn bất kỳ nào khi tăng bán kính của động cơ đến vô cùng ta sẽ thu được hình ảnh Rotor và Stator song song với nhau. Với quan điểm như vậy động cơ tuyến tính sẽ gồm hai thành phần: Thành phần thứ nhất nhận dòng năng lượng điện đi tới (phần sơ cấp), thành phần thứ hai là dòng năng lượng đưa ra dưới dạng cơ năng (phía thứ cấp). Từ quan điểm trên ta có thể thấy với động cơ tuyến tính phân tạo chuyển động thẳng có thể là phần Stator hay phần Rotor của máy điện quay truyền thống, từ đó tạo ra những động cơ tuyến tính tương ứng.



Hình 1. Nguyên lý chuyển đổi từ động cơ quay sang động cơ tuyến tính.

Từ nguyên lý cơ bản trên động cơ tuyến tính được phát triển với cấu tạo khác nhau tương ứng dựa vào mục đích sử dụng.



Hình 2. Phân loại động cơ tuyến tính theo nguyên lý làm việc và kết cấu hình học.

2.2 Những đặc điểm khác biệt của LIM so với các động cơ quay tròn truyền thống.

Như đã phân tích trong các phần trên động cơ tuyến tính có những nét tương đồng so với những động cơ quay tương ứng phát triển nên nó nhưng trong đó còn những điểm khác biệt do cấu tạo khác biệt của hai loại quay và động cơ tạo chuyển động thẳng. Một khác biệt cơ bản ở đây chính là hiệu ứng đầu cuối ở động cơ tuyến tính (hiệu ứng end effect) mà động cơ quay không có.

Hiệu ứng đầu cuối trong động cơ tuyến tính có thể được hiểu như sau: đó là sự phân biệt giữa các khu vực đầu và cuối với các điểm nằm giữa về diễn biến điện từ gây ảnh hưởng đến từ thông và lực do động cơ tuyến tính sinh ra (do tính chất mạch từ hở của động cơ tuyến tính). Điều này làm thay đổi quan điểm về giả thiết về sức từ động hình sin trong động cơ quay truyền thống. Có ba khía cạnh cần đặc biệt lưu tâm về hiệu ứng đầu cuối:

Thứ 1: Với động cơ tuyến tính dạng không đồng bộ ngoài hiệu ứng đầu cuối (điểm đầu và điểm cuối phần kích thích) còn

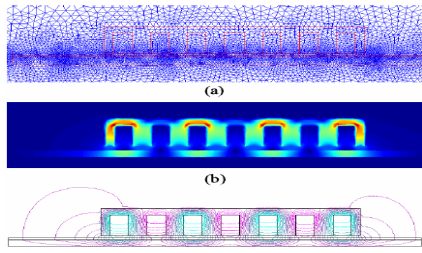
Việc lựa chọn động cơ tuyến tính phụ thuộc vào thuộc tính và nguyên tắc hoạt động của chúng.

Tổng hợp lại ta có cách phân loại động cơ tuyến tính theo nguyên lý cấu tạo và kết cấu hình học như sau

có sự ảnh hưởng về từ trường ở hai biên. Còn ở động cơ tuyến tính dạng đồng bộ chỉ chịu tác động của hiệu ứng đầu cuối. Vì vậy với động cơ tuyến tính dạng không đồng bộ chịu tác động của hiệu ứng đầu cuối mạnh hơn.

Thứ 2: Tại điểm đầu và điểm cuối của phần kích thích từ thông sinh ra bị ảnh hưởng bởi dòng xoáy phía thứ cấp (ĐCTTKĐB) làm ảnh hưởng đến từ trường khe hở không khí phân bố tại điểm đầu và điểm cuối của phần kích thích. Với động cơ đồng bộ kích thích vĩnh cửu thì là sự phân bố từ trường tại hai đầu của phần kích thích bị suy giảm (do kết cấu đặc trưng của ĐCTT). Diễn biến này khác nhau phụ thuộc vào tốc độ của động cơ (độ lớn của dòng phía bên kích thích)

Thứ 3: Sự xuất hiện hay kết thúc đột ngột của dòng xoáy phía cảm ứng (tương ứng với sự xuất hiện hay kết thúc của dòng phía kích thích). Gây ra phản ứng dọc trục gây ra sự thay đổi tốc độ của động cơ (nhấp nhô về tốc độ). Đây cũng là một điểm rất đáng chú ý trong động cơ tuyến tính.



Hình 3. Sự phân bố từ thông bên trong động cơ tuyến tính dạng Sator ngăn làm việc theo nguyên lý cảm ứng

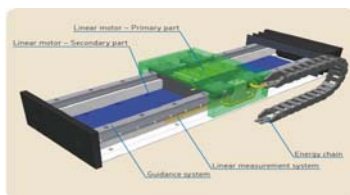
Hiệu ứng đầu cuối là một điểm đặc trưng của động cơ tuyến tính khác so với các loại động cơ khác. Trong bài toán điều khiển tốc độ động cơ tuyến tính thì hiệu ứng đầu cuối (end effect) phải được quan tâm và giải quyết triệt để.

2.3 Những ưu thế của LIM so với phương pháp tạo chuyển động thẳng truyền thống

Truyền động tuyến tính được hiểu là tạo ra một truyền động thẳng cho các đối tượng công nghệ. Để tạo ra truyền động thẳng có hai phương pháp là phương pháp gián tiếp và phương pháp trực tiếp.



Hình 4. Tạo chuyển động thẳng gián tiếp sử dụng đai truyền, trục vít



Hình 5. Tạo chuyển động thẳng sử dụng động cơ tuyến tính

Từ các hình ảnh sử dụng các phương pháp để tạo ra chuyển động tuyến tính trên ta có một số nhận xét như sau:

Phương pháp tạo ra chuyển động tuyến tính gián tiếp: Nguồn động lực được sử dụng ở đây là các động cơ quay tròn. Để tạo ra chuyển động thẳng đưa tới cơ cấu sản

xuất thông qua các phần tử cơ khí trung gian như (đai truyền, hộp số, trục vít,...) do vậy nó tồn tại những nhược điểm đáng kể: Kết cấu cơ khí phức tạp do tồn tại các phần tử trung gian, độ chính xác của hệ thống thấp do sai số của các phần tử có trong hệ thống. Hiệu suất của hệ thống thấp. Khả năng động học của hệ thống thấp do còn tồn tại những dao động riêng của các phần tử trung gian.

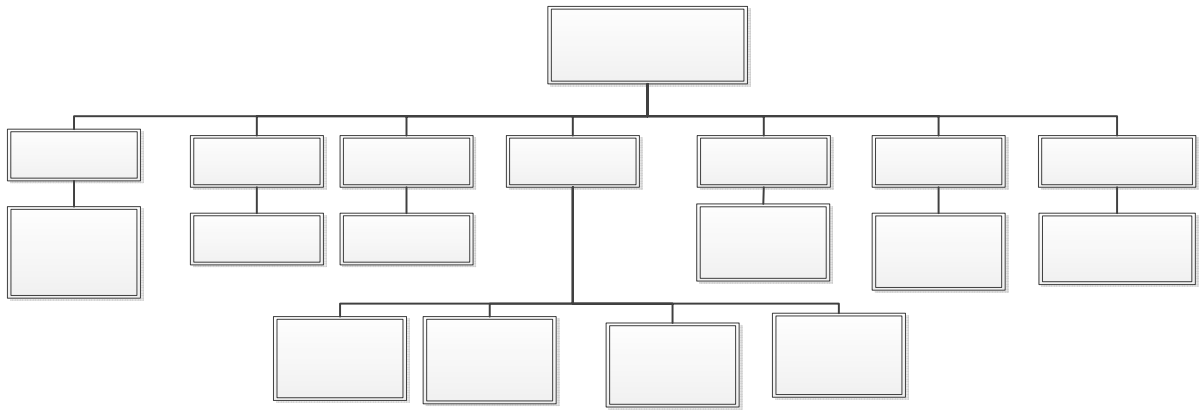
Phương pháp tạo ra chuyển động tuyến tính trực tiếp: Ở phương pháp này động cơ tuyến tính được sử dụng để tạo ra chuyển động thẳng trực tiếp. Khi sử dụng động cơ tuyến tính hệ thống sẽ khắc phục được những nhược điểm của phương pháp tạo chuyển động tuyến tính gián tiếp. Được thể hiện trong những mặt sau: Đơn giản về mặt kết cấu cơ khí do loại bỏ được các phần tử trung gian do đó giảm được chi phí bảo dưỡng vận hành. Hiệu suất của hệ thống được nâng cao do vậy độ chính xác của hệ cũng nâng lên. Đặc tính động học của hệ được nâng cao, loại được các dao động riêng của các phần tử trung gian. Tăng được giới hạn trên về lực đẩy và gia tốc.

Tuy nhiên với hệ thống sử dụng động cơ tuyến tính vẫn còn tồn tại một số nhược điểm như sau: Giải pháp làm mát phức tạp. Khó chuẩn hóa (thường được sử dụng trong các máy chuyên dụng) nên hệ thống có giá thành cao.

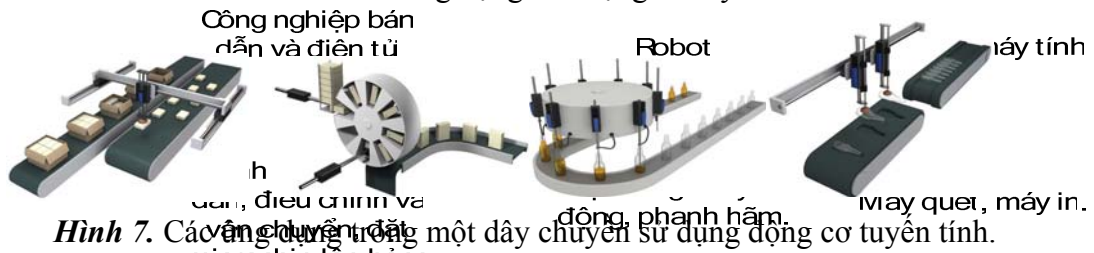
2.4 Những ứng dụng của LIM trong công nghiệp

Động cơ tuyến tính hiện đã được ứng dụng trong thực tiễn trong mọi dải công suất. Theo (hình 6) cho ta biết những ứng dụng đã được đưa vào thực tiễn sản xuất trong công nghiệp hiện nay.

Các động cơ tuyến tính khi được kết hợp vào modul, chúng được kết hợp một cách nhanh chóng để tạo thành một hệ thống chuyển động đa trục. Việc can thiệp vào dây chuyền cũng như tùy chỉnh quá trình công nghệ sẽ trở nên đơn giản hơn khi các động cơ được kết nối với hệ thống điều khiển trung tâm.



Hình 6. Các ứng dụng của động cơ tuyến tính.



Hình 7. Các ứng dụng đặt một dây chuyền sử dụng động cơ tuyến tính.

3. Yêu cầu đặt ra với bài toán điều khiển truyền động tuyến tính và tình hình nghiên cứu đã được quan tâm .

Những tiềm năng cũng như vận dụng của động cơ tuyến tính trong công nghiệp ngày càng phát triển vì những ưu điểm vượt trội về chất lượng động học cũng như khả năng tự động hóa cao trong các dây chuyền sản xuất. Một yếu tố rất được quan tâm ở đây chính là độ chính xác về vị trí của các hệ thống khi sử dụng động cơ tuyến tính, đây là bài toán liên quan đến vận tốc, gia tốc, thời gian đáp ứng, khả năng dừng chính xác. Để giải toán này chính là yêu cầu đặt ra với việc thiết kế bộ điều khiển cho đối tượng động cơ tuyến tính. Chính vì vậy song hành với các thiết bị phần cứng thì nhiệm vụ thiết kế bộ điều khiển cho động cơ tuyến tính chính là một yêu cầu cấp thiết được đặt ra.

Trong giai đoạn vừa qua, các phương pháp đã được tập trung nghiên cứu về điều khiển cho hệ truyền động tuyến tính phần lớn đều công nhận một kết luận gần đúng là tham số đầu vào không thay đổi trong một chu kỳ trích mẫu và tuyến tính hóa trong một chu kỳ gián đoạn. Vì vậy các phương pháp vận dụng chủ yếu các phương pháp đã áp dụng thành công trong điều khiển động cơ quay sang mô hình tương ứng này. Các

nhóm vấn đề đã được quan tâm nghiên cứu có thể kể ra đây:

Nhóm vấn đề thứ nhất: các phương pháp điều khiển đã được ứng dụng thành công cho nhóm động cơ vận tốc cao, xe điện, Metro, hệ thống vận chuyển linh hoạt.

Ứng dụng luật điều khiển $U/f=const$ mục đích để tạo ra Momen tới hạn không đổi. Tuy nhiên phương pháp này còn tồn tại nhược điểm khi trường hợp quá tải xảy ra làm suy giảm từ thông khe hở không khí, khó khăn trong việc điều chỉnh tron tốc độ.

+, Nguyên tắc điều khiển Vector:
 Trong nhóm phương pháp này được chia làm hai nhánh là RFO và SFO tài liệu [1,2,3]. Nguyên tắc RFO là phương án được ứng dụng thành công và rộng rãi nhất trên các thiết bị thương mại đã được phát triển trên thị trường. Với phương pháp SFO được đề xuất vẫn còn những tồn tại những vấn đề không tương minh trong việc lựa chọn băng đóng cắt, nghịch lưu yêu cầu tần số đóng cắt van lớn,...Trong sản phẩm thương mại được ứng dụng nguyên tắc SFO đã được đưa vào thương mại hóa có biến tần ACS600 của ABB tuy nhiên với thiết bị này thuật toán điều khiển vẫn chưa được triệt để ở vùng tốc độ thấp vẫn phải sử dụng lý luận RFO.

Với phương pháp RFO cho phép phân tích thành phần dòng điện phía Stator thành hai thành phần tạo từ thông và momen (với động cơ quay tròn), thành phần tạo từ thông và thành phần tạo lực đẩy (với động cơ tuyến tính). Để phân tích thành phần dòng điện này thành hai thành phần riêng biệt thì điều cần thiết phải thực hiện được chính là xác định được vị trí từ thông trục Rotor (với động cơ quay), với động cơ tuyến tính chính là xác định được vị trí của đỉnh cực từ.

Nhóm vấn đề thứ hai: Phương pháp xác định cực của trục tạo từ thông Rotor.

Theo tài liệu [1] đã chỉ ra để áp dụng phương pháp điều khiển Vector thì việc xác định chính xác trục của từ thông phía Rotor đóng vai trò quyết định đến chất lượng điều khiển. Với nhóm động cơ làm việc theo nguyên lý không đồng bộ thì trục của từ thông không trùng với trục của Rotor do từ thông của trục Rotor khi chưa làm việc chưa hình thành nó chỉ hình thành khi động cơ đã làm việc. Với động cơ làm việc theo nguyên tắc đồng bộ kích thích vĩnh cửu thì trục của từ thông trùng với trục Rotor. Từ yêu cầu đặc điểm trên việc nhận dạng từ thông cực của động cơ làm việc theo nguyên lý đồng bộ kích thích vĩnh cửu thuận lợi hơn so với động cơ làm việc theo nguyên lý không đồng bộ.

Theo tài liệu [10] sử dụng cơ cấu đo là cảm biến Hall để xác định từ thông trục Rotor của động cơ đồng bộ kích thích vĩnh cửu tại một thời điểm bất kỳ. Việc sử dụng cảm biến đem lại kết quả rất khả quan khi xác định được chính xác được vị trí đỉnh cực tại thời điểm bất kỳ nhưng một trong những khó khăn của phương pháp này chính là việc ghép nối cơ cấu cơ khí, làm tăng khoảng cách của khe hở không khí ảnh hưởng đến từ trường khe hở.

Phương pháp không sử dụng thiết bị đo được trình bày trong tài liệu [12,23] sử dụng chuỗi xung lực rời rạc tuần hoàn đủ lớn cung cấp cho vào bộ điều khiển lực đẩy khi đó giá trị đỉnh cực ước lượng sẽ hội tụ về giá trị đỉnh cực thực.

Nhóm vấn đề thứ ba: Mô hình hóa động cơ.

Việc mô hình hóa động cơ được thực hiện với động cơ tuyến tính tương ứng được thực hiện tương tự như các động cơ quay truyền thống với khác biệt góc tọa độ trên phần chuyển động sẽ tịnh tiến theo trục chuyển động và bổ xung thêm mô hình hiệu ứng đầu cuối cho động cơ tuyến tính. Trong tài liệu [17,20] cũng chỉ ra rằng với các động cơ làm việc với nguyên lý giống nhau nhưng cấu tạo khác nhau cũng ảnh hưởng đến mô hình mô tả các động cơ này.

Nhóm vấn đề thứ tư: Lựa chọn nguồn cung cấp phù hợp cho động cơ tuyến tính.

Trong hệ truyền động điện sử dụng động cơ tuyến tính thì quá trình đảo chiều là thường xuyên xảy ra vì vậy xu hướng lựa chọn nguồn nuôi phù hợp thường đề cập đến việc lựa chọn các bộ biến tần có thể truyền công suất theo 2 chiều (biến tần 4Q).

Nhóm vấn đề thứ năm: Nâng cao chất lượng điều khiển.

Với động cơ tuyến tính luôn tồn tại hiệu ứng đầu cuối nên để nâng cao chất lượng điều khiển thì vấn đề này cần phải được ưu tiên xét đến. Có rất nhiều các công trình được công bố tập trung vào vấn đề này.

- Loại bỏ cơ cấu đo về tốc độ và vị trí (sensorless): Việc loại bỏ cơ cấu đo đóng vai trò hết sức quan trọng trong việc giảm giá thành hệ thống. Các công trình [17,18] đề xuất đến phương pháp loại bỏ cơ cấu đo bằng cách xây dựng thuật toán nhận dạng cực từ và đưa mô hình đầu cuối vào cấu trúc điều khiển động cơ.

- Theo các tài liệu [4,5,8,11,13,15,16] hiệu ứng đầu cuối trong động cơ tuyến tính được tiếp cận với góc độ mô hình mạch từ tương đương. Tài liệu [8,15] đề xuất phương pháp mô hình hóa hiệu ứng đầu cuối dựa vào cấu trúc động cơ để đưa ra sơ đồ thay thế.

- Theo các tài liệu [6,7,14,19,20,21,22] sử dụng phương pháp phân tử hữu hạn để mô hình hóa hiệu ứng đầu cuối xảy ra trong động cơ tuyến tính. Trong [6,7] ngoài việc

mô hình hóa hiệu ứng đầu cuối còn đề xuất đến việc mô hình hóa lực cogging xảy ra trong động cơ (lực gây ra sự nhấp nhô momen không phụ thuộc vào thành phần dòng tạo ra lực đẩy mà chỉ phụ thuộc vào từ thông phân bố tại khe hở không khí). Trong [14] xây dựng mối quan hệ giữa hiệu ứng đầu cuối và khoảng cách khe hở không khí sử dụng FEM. Còn trong [19,22] đưa ra phương pháp mô hình hóa hiệu ứng đầu cuối và so sánh mô hình hiệu ứng đầu cuối khi mô hình hóa bằng mạch từ tương đương và FEM.

Nhóm vấn đề thứ sáu: Trong tài liệu [9] đề xuất đến một phương pháp không cần nhận dạng hiệu ứng đầu cuối sử dụng bộ điều khiển bền vững thích nghi bù bất định hiệu ứng đầu cuối, tuy nhiên trong mô hình vẫn tồn tại cảm biến đo vị trí.

4. Những hướng tiếp cận nghiên cứu LIM cần tiếp tục phát triển nhằm mục đích nâng cao chất lượng điều khiển.

Từ những phân tích ở trên ta nhận thấy rằng việc nâng cao chất lượng của LIM luôn đón nhận được những quan tâm của những người nghiên cứu về lĩnh vực điều khiển. Với mục đích nâng cao chất lượng điều khiển giảm giá thành hệ thống thì những lĩnh vực sau đây sẽ là luôn là vấn đề cần tiếp tục phát triển của các nhà khoa học làm việc về lĩnh vực điều khiển.

- **Mô hình hóa:** Lim là đối tượng phi tuyến mạnh có thể kể ra ở đây là tính phi

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Quang N. P., Dittrich A: *Vector Control of Three – Phase AC Machine*. Springer,2008.
 [2] Jacek F. Gieras , Zbigniew J. Piech, Bronislaw Tomczuk *Linear Synchronous Motors Transportation and Automation Systems* 2nd Edition. CRC press, 2011.
 [3] I. Boldea, Syed A. Nasar, *Linear Electric actuator and generators* , Cambridge university press, 1997.
 [4] Brahim bessaihl, Abdelkrim Boucheta, Speed Control of Linear Induction Motor considering End-Effect Compensation using Rotor time constant estimation, 2012- 9th

tuyến cấu trúc, phi tuyến tham số và phi tuyến rác. Sau khi tìm được mô hình toán cần tiếp tục chuyển sang mô hình rời rạc nhằm phục vụ cho bài toán điều khiển thời gian thực phù hợp với việc cài đặt cho vi điều khiển.

- **Hiệu ứng đầu cuối:** Nhận dạng trực tiếp được đặc tính đầu cuối từ cấu tạo của động cơ để từ đó bổ xung vào cấu trúc điều khiển cài đặt trên vi điều khiển để loại bỏ cơ cấu đo sensorless.

- **Nhóm các phương pháp điều khiển:** Đề xuất phương pháp điều khiển phi tuyến cho cấu trúc điều khiển tách kênh trực tiếp có xét đến hiệu ứng đầu cuối không sử dụng cảm biến đo vị trí.

5. Kết luận:

Từ những phân tích trên ta thấy rằng khi sử dụng động cơ tuyến tính mặc dù có nhiều ưu điểm nhưng vẫn còn tồn tại những nhược điểm cố hữu của nó. Đặc biệt là về giá thành của một hệ thống động cơ tuyến tính khi ứng dụng vào các hệ thống. Điều này sẽ được giải quyết nếu như số lượng của động cơ tuyến tính được sản xuất hàng loạt tại các nhà máy sản xuất động cơ tuyến tính. Chính vì vậy trong thời gian gần đây các nghiên cứu để đưa động cơ tuyến tính vào các dây chuyền sản xuất tự động đang được sự quan tâm đặc biệt và tiềm năng tham gia của động cơ tuyến tính đã bắt đầu được khai thác và phát triển mạnh mẽ.

International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices.

[5] M. Ali Usta , Omur Akyazi, A. Sefa Akpinar, Simulation of Direct Thrust Control for Linear Induction Motor Including End-Effect.

[6] Min-Jae Kim*, Jaewon Lim*, Woo-Gyong Yim* and Hyun-Kyo Jung, Phase Current Magnitude Variation Method to Reduce End-Effect

Force of PM Linear Synchronous Motor, *Journal of Electrical Engineering & Technology Vol. 6, No. 6, pp. 793~798, 2011.*

[7] Hyung-Woo Lee†, Chan-Bae Park* and Byung-Song Lee*, Phase Current

- Magnitude Variation Method to Reduce End-Effect Force of PM Linear Synchronous Motor, *Journal of Electrical Engineering & Technology Vol. 6, No. 1, pp. 81-85, 2011.*
- [8] Y. Nozaki, T. Yamaguchi, and T. Koseki, Practical Equivalent Circuit Model of Linear Induction Motors for Urban Transportation System Depending on Secondary Speed Based on Electromagnetic Analysis.
- [9] Kuang-Yow Lian, Member, IEEE, Cheng-Yao Hung, Chian-Song Chiu, Member, IEEE, and Li-Chen Fu, Fellow, IEEE, *Robust Adaptive Control of Linear Induction Motors With Unknown End-Effect and Secondary Resistance*, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 23, NO. 2, JUNE 2008
- [10] Jae -Uk Kim, Sung Yoon Jung, PMSM Angel Detection Based on the Edge Field Measurement by Hall sensor.
- [11] Jeong-hyoun Sung and Kwanghee Nam, A New Approach to Vector Control for a Linear Induction Motor Considering End Effects, 1999 IEEE.
- [12] J.W.Choi. W.E Yun, H.G Kim, Initial pole – position estimation off linear motor, IEEE 2005m Vol.152 .
- [13] S. Vaez-Zadeh, M. R. Satvati, Vector Control of Linear Induction Motors with End Effect Compensation.
- [14] A. H. Selçuk and Hasan Kürüm, Investigation of End Effects in Linear Induction Motors by Using the Finite-Element Method, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 44, NO. 7, JULY 2008
- [15] Jia Zhao, Zhongping Yang , Jianqiang Liu, and Trillion Q. Zheng, A Novel Performance Study for Linear InductionMotors Considering End Effects, 978-1-4244-1668-4/08 2008 IEEE.
- [16] A. Boucheta, I. K. Bousserhane, A. Hazzab, B. Mazariand M. K. Fellah, Linear Induction Motor Control Using Sliding Mode Considering the End Effects, 2009 6th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices.
- [17] P. Giangrande, F. Cupertino, G. Pellegrino Politecnico di Bari Politecnico di Torino, Modelling of linear motor end-effects for saliency based sensorless control, 978-1-4244-5287-3/10/ ©2010 IEEE.
- [18] Chin-I Huang 1 * and Li-Chen, Fu , Adaptive Control Approach for Speed Motion-Sensorless of Linear Induction Motor Unknown Resistance and Payload, Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control Seoul, Korea, July 6-11, 2008
- [19] Manpreet Singh Manna, S. Marwaha and Navpreet Kaur, Air Gap Field Analysis of Single Sided Linear Induction Motor with Time Harmonic Finite Element Method, Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference 2010 India.
- [20] Hamed hazezbahmani, *modeling and simulating of single side short stator linear induction motor with the end effect*, Journal of electrical engineering, vol. 62, NO. 5, 2011, 302-308
- [21] Ismail Khalil BOUSSERHANE, Abdelkrim BOUCHETA, Abdeldjebbar HAZZAB, Benyounes MAZARI, Mustepha RAHLI, Mohammed Karim FELLAH, ADAPTIVE BACKSTEPPING CONTROLLER DESIGN FOR LINEAR INDUCTION MOTOR POSITION CONTROL, U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 71, Iss. 3, 2009.
- [22] A. Zare Bazghaleh, M. R. Naghashan, H. Mahmoudimanesh, M. R. Meshkatoddini, Effective Design Parameters on the End Effect in Single-Sided Linear Induction Motors, World Academy of Science, Engineering and Technology 40 2010.
- [23] Đào Phương Nam, Nâng cao chất lượng các hệ chuyển động thẳng bằng cách sử dụng hệ truyền động động cơ tuyến tính, Luận án Tiến sỹ, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2012.